

УДК 581.526.325.2 (282.256.34)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИКА ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.Ю. Зарубина, М.И. Соколова

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,*

*E-mail: zeur11@mail.ru, smi1181@mail.ru*

*Приведены результаты оценки современного состояния и многолетней динамики (2001–2006 и 2023 гг.) высшей водной растительности литорали Телецкого озера – уникального глубоководного олиготрофного водоема. Инвентаризация выявила 88 видов макрофитов. Сравнительный анализ на заповедных (Камгинский, Кыгинский заливы) и рекреационных (устья рек Колдор, Тевенек, с. Артыбаш) участках показал разнонаправленные изменения. На заповедных участках значимых изменений не зафиксировано ( $p > 0.05$ ). В зонах рекреации отмечена деградация фитоценозов: исчезновение чувствительных видов (*Potamogeton alpinus*, *P. crispus*), снижение плотности и биомассы погруженных гидрофитов в 3.5–5.6 раза (с. Артыбаш,  $p < 0.001$ ; устье р. Тевенек,  $p < 0.05$ ). В устье р. Колдор отмечен рост биомассы, коррелирующий с повышенными значениями БПК<sub>5</sub> ( $r_s = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ), что указывает на локальное эвтрофирование. Методом главных компонент подтверждено обособление трех групп участков: стабильные заповедные, зона эвтрофирования и зоны рекреационной деградации. Установлено, что ключевым фактором трансформации растительности является рост рекреационной нагрузки, что требует организации мониторинга и регулирования туристической деятельности.*

*Ключевые слова:* макрофиты; олиготрофное озеро; Телецкое озеро; рекреационная нагрузка; динамика растительности; антропогенное воздействие; эвтрофирование; PCA; корреляционный анализ.

*DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18005*

*Дата поступления: 25.12.2025. Принята к печати: 20.02.2026*

Телецкое озеро – уникальный глубоководный (до 323.3 м) олиготрофный водоем, занимающий 39-е место среди глубочайших озер мира [Selegei et al., 2001]. Его экосистема характеризуется невысокой температурой воды в летний период, низкими концентрациями биогенов и низким уровнем развития биоценозов, что типично для холодноводных олиготрофных озер. И только на отдельных участках литорали со-

став гидробионтов изменяется до мезотрофного уровня [Селегей, Селегей, 1978; Телецкое озеро, 2012]. В последние десятилетия интенсивное развитие туризма в Республике Алтай обусловило рост антропогенной нагрузки на озеро, особенно на его северо-западный мелководный участок [Кудерина и др., 2019]. По данным [Коробенко и др., 2023; Кудерина и др., 2019] в 2023 г. на прибрежной территории озера насчиты-

валось 162 базы отдыха, а годовое количество туристов достигало 150 тыс. человек, что в 70 раз превышает суммарное число местных жителей четырех прибрежных поселений [Архипова и др., 2021]. Увеличение антропогенной нагрузки, по данным дистанционного зондирования [Андреева и др., 2022], с 1993 по 2021 гг. привело к сокращению площади растительного покрова на участках северо-западного побережья оз. Телецкое от с. Артыбаш до р. Тевенек и в истоке р. Бия в 2–4 раза.

Экосистемы холодноводных олиготрофных озер очень уязвимы к внешним воздействиям [Румянцев и др., 2011; Нигаматзянова, Федорова, 2015; Терентьев и др., 2017; Захаров, 2020; Поздняков, Кондратьев, 2022]. Ключевую роль в их защите играет литораль, выполняющая функцию экологического барьера. Основным компонентом этого барьера является высшая водная растительность, реализующая средообразующую и барьерную функции.

Целью работы было исследование современного состояния растительности ключевых участков Телецкого озера и оценка степени ее трансформации за 20-летний период.

#### *Материалы и методы*

Исследования проводились в период максимальной вегетации (начало-середина августа) 2001, 2002, 2004–2006 и 2023 гг. на ключевых участках:

- заповедная территория – Кыгинский и Камгинский заливы;
- зона с рекреационной нагрузкой – устья рек Чулышман, Колдор и Тевенек, район с. Артыбаш (рис. 1.).

Исследования выполнялись с применением стандартных методов сбора, гербаризации, описания и картирования высшей водной растительности [Катанская, 1981; Папченков, 2003]. Продуктивность определяли по биомассе на укосных площадках 0.25 м<sup>2</sup> в 2–4-х кратной повторности с последующим досушиванием до абсолютно сухого веса (АБС) при T = 85°C по методике [Распопов, 2006]. Идентификация сосудистых растений проводилась по определителям [Флора Сибири, 1988–1997; Лисицына, Папченков, 2000] и монографиям [Taylor, 1989; Wiegand, Kaplan, 1998]. Используемая в работе номенклатура таксонов по сосудистым растениям приведена по IPNI [International..., 2025].

Инвентаризация водной и прибрежно-водной флоры Телецкого озера проводилась на основе собственных данных [Зарубина, 1996; Зарубина, Зятев, 2003; Зарубина, Ковешникова, 2006а, б; Зарубина, Соколова, 2007, 2008, 2025], а также данных других исследователей [Киприянова и др., 2024; Киприянова, Золотухин, 2025].

Для характеристики условий обитания растительных сообществ определяли: глубину произрастания видов, прозрачность и температуру поверхностного слоя воды, концентрацию растворенного в воде кислорода (O<sub>2</sub>, мг/л), водородный показатель (pH), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>, мгO<sub>2</sub>/л) с использованием портативных анализаторов воды Анион 7051 и МАРК 302Э. Приборы перед началом измерений калибровали.

Статистическая обработка материала проведена с использованием пакетов программ MS Excel-2016, Statistica 6.0 и PAST

(PALeontological Statistics) Version 5.3. Достоверность различий средних значений биомассы между периодами (2001–2006 и 2023 гг.) оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна–Уитни (Mann–Whitney U test) в связи с небольшим объемом выборок. Для выявления связи гидрохимических показателей с продукционными характеристиками растительности использовали корреляционный анализ по Спирмену (Spearman's rank correlation). Для многомерного анализа различий между участками по структуре растительных сообществ применяли метод главных ком-

понент (PCA) на стандартизованных данных (Z-scores). Различия считали статистически значимыми при  $p < 0.05$ .

### Результаты

*Гидрохимические характеристики.* Исследования на литоральных участках проводили на глубине от 0.1 до 6.0 м, в среднем – 1.3 м (табл. 1). Наибольшая глубина произрастания макрофитов отмечена в Кыгинском заливе. На всех исследованных участках литорали, как в зарослях макрофитов, так и в открытой воде, прозрачность воды была до дна и соответствовала глубине отбора проб.

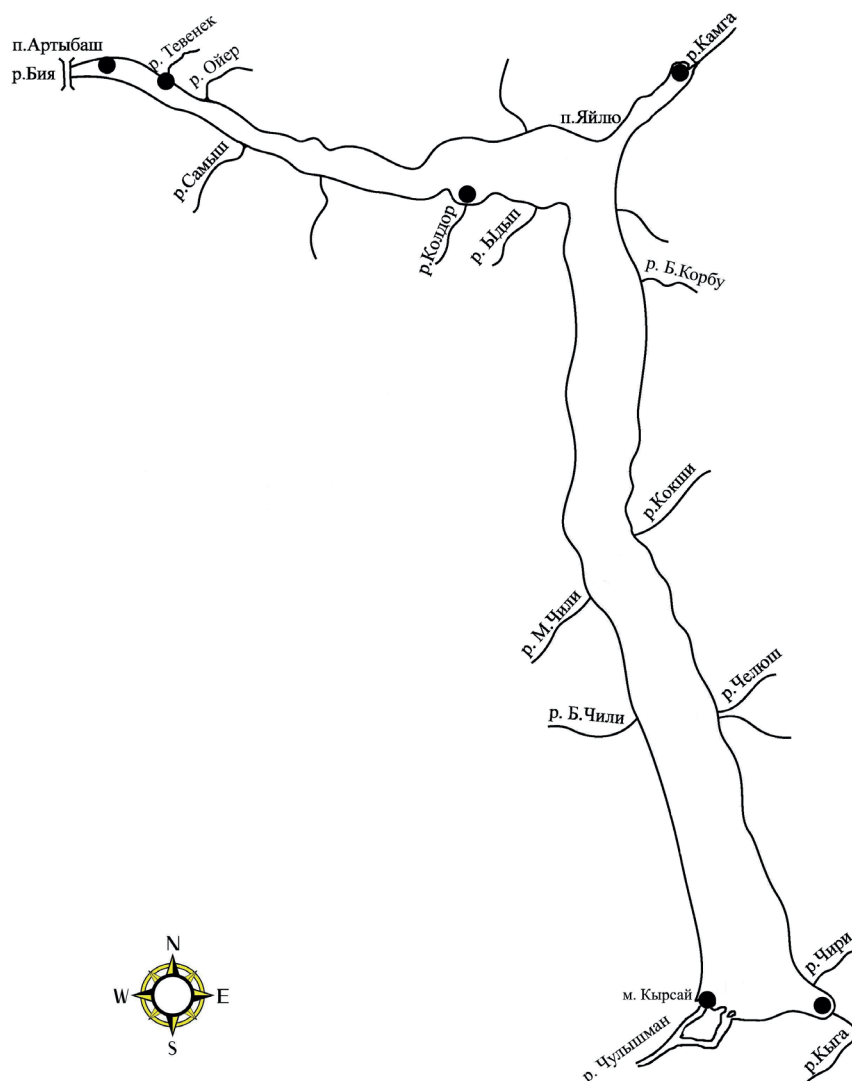


Рис. 1. Карта-схема Телецкого озера (точками отмечены участки исследования макрофитов)  
Fig. 1. Map of Lake Teletskoye (the dots mark the study sites of macrophytes)

Таблица 1

Гидрологические и гидрохимические показатели исследованных участков литорали Телецкого озера (30.07–02.08.2023 г.)

Table 1

Hydrological and hydrochemical parameters of the studied littoral sites in Lake Teletskoye (30.07–02.08.2023)

Пункты наблюдений	H, м	S, м	T, °C	pH	O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	NaCl, мг/л	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Примечание
устье р. Чулышман	0.4	0.4	19.3	9.1	9.7	52.9	2.9	заросли мф
	1.0	1.0	18.5	9.0	10.9	56.2	–	край зарослей
	0.5	0.5	18.8	8.2	8.6	50.6	2.4	открытая вода
Кыгинский залив	2.4	2.4	16.9	8.4	8.1	53.6	2.3	заросли мф
	3.1	3.1	16.9	8.4	8.4	51.8	–	край зарослей
	6.0	6.0	17.0	8.4	8.5	51.9	2.7	открытая вода
Камгинский залив	0.4	0.4	26.6	9.0	10.2	49.6	2.0	заросли мф
	0.45	0.45	26.8	8.5	8.0	41.6	–	край зарослей
	1.35	1.35	26.5	8.0	7.8	42.3	0.2	открытая вода
устье р. Колдор	0.35	0.35	21.8	7.3	7.5	63.4	2.9	заросли мф
	0.3	0.3	21.0	7.6	7.4	60.1	–	край зарослей
	0.45	0.45	20.7	7.8	8.4	55.2	1.0	открытая вода
устье р. Тевенек	0.3	0.3	19.5	8.95	8.4	53.7	1.5	заросли мф
	1.25	0.5	17.3	8.6	8.1	47.9	0.8	край зарослей
	1.5	0.5	16.5	8.4	7.6	47.5	0.6	открытая вода
с. Артыбаш	1.65	1.65	14.9	8.2	8.5	43.1	2.9	заросли мф
	1.0	1.0	15.1	8.3	8.06	44.6	0.6	открытая вода

Примечания: H – глубина; S – прозрачность, NaCl – минерализация, мф – макрофиты.

Температура воды в период исследований в литорали была значительно выше, чем в пелагиали и колебалась в пределах от 14.9 до 26.8°C (в среднем 19.7°C) с максимальными значениями в устье р. Чулышман и Камгинском заливе. Водородный показатель (pH) в среднем соответствовал слабощелочным водам – 8.4±0.1, при этом наибольшие значения pH отмечены в зарослях макрофитов на всех исследованных участках, за исключением устья р. Колдор. По минерализации воды – литоральные участки озера, как и пелагиаль, относятся к олигогалинным водам. По насыщению воды кислородом, согласно классификации О.П. Оксийук с соавт. [1993], к олиго-

сапробным мезотрофным чистым водам (в среднем 94.9±3.4%). Однако на отдельных участках – в районе с. Артыбаш и устьях р. Тевенек и Колдор в не зарастающей литорали качество воды (по насыщению кислородом) соответствовало β-мезосапробным эвтрофным слабозагрязненным водам, в то время как на этих же участках в зарослях макрофитов – мезотрофным достаточно чистым водам. По величине БПК<sub>5</sub> – вода в среднем (1.75±0.28 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), как и по насыщению кислородом, соответствовала классу β-мезосапробных эвтрофных слабозагрязненных вод. При этом, в зарастающей литорали в районе с. Артыбаш, в устьях рек Чулышман, Колдор и в не за-

растающей литорали в Кыгинском заливе –  $\alpha$ -мезосапробным эвполитрофным умеренно загрязненным водам (по БПК<sub>5</sub>).

Корреляционный анализ по Спирмену показал достоверную связь ( $p < 0.05$ ) биомассы гелофитов с глубиной ( $r_s = 0.83$ ), гидрофитов – с температурой воды ( $r_s = 0.79$ ). Также выявлена положительная корреляция между биомассой макрофитов и величиной БПК<sub>5</sub> ( $r_s = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ), что указывает на стимулирующее влияние органического загрязнения на продуктивность растительности в зонах локального эвтрофирования (устье р. Колдор).

**Таксономическая структура флоры.** В результате инвентаризации гербарных сборов и анализа литературных источников [Киприянова и др., 2024; Зарубина, Соколова, 2025; Киприянова, Золотухин, 2025] во флоре Телецкого озера зарегистрировано 88 видов водных, прибрежно-водных и околоводных растений, относящихся к 51 роду, 28 семействам и 3 отделам. Подавляющее большинство видов (94%) представлено покрытосеменными (Magnoliophyta).

В спектре покрытосеменных двудольные (Magnoliopsida) составляют 51% от об-

щего числа видов и 73% от числа семейств, что свидетельствует о высокой доле мало-видовых семейств в этой группе по сравнению с однодольными (Liliopsida). Данная таксономическая структура характерна для водных флор Голарктики, где доминируют гидрофильные линии однодольных.

Наибольшим видовым богатством во флоре озера отличаются семейства Potamogetonaceae и Cyperaceae (по 11 видов), Ranunculaceae (10 видов), Juncaceae (6 видов), Poaceae и Typhaceae (по 4 вида). Большинство родов представлены одним–двумя видами; исключение составляют *Potamogeton* и *Ranunculus* (по 9 видов каждый), а также *Juncus* и *Carex* (по 5 видов).

В составе «водного ядра» флоры, включающего исключительно водные и прибрежно-водные растения, зафиксировано 60 видов из 32 родов, 21 семейства и 3 отделов. Помимо уже указанных ведущих семейств Potamogetonaceae (11 видов), Cyperaceae (9), Ranunculaceae (8), Typhaceae (4) и Poaceae (3), в число доминантов входят также Alismataceae и Characeae, содержащие по 3 вида каждое (рис. 2).

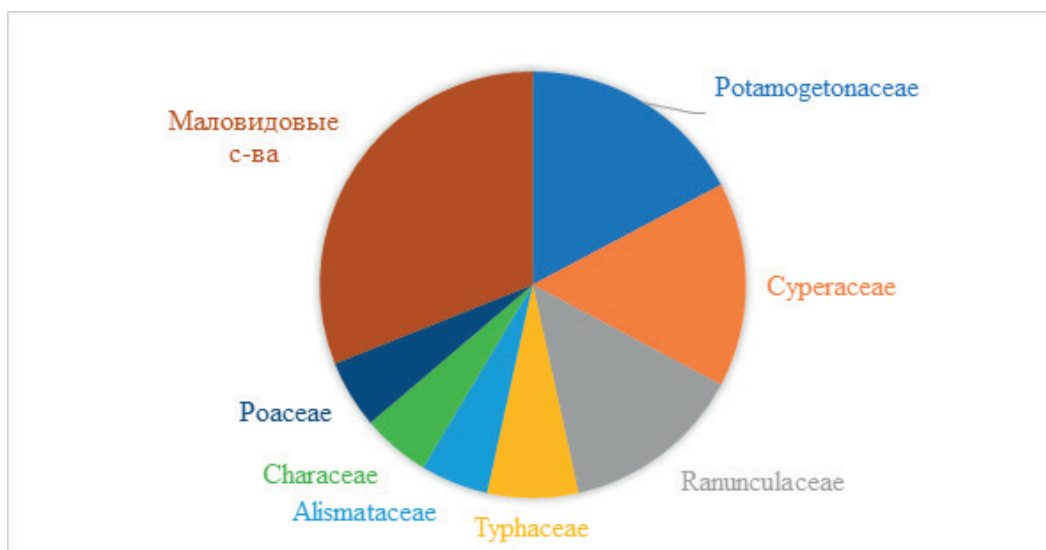


Рис. 2. Таксономический спектр «водного ядра» флоры Телецкого озера  
Fig. 2. Taxonomic spectrum of the «aquatic core» of the Lake Teletskoye flora

В экологическом спектре флоры преобладают гидрофиты (29 видов), гелофиты и гигрогелофиты (по 16 в.), которые формируют собственно водную флору («водное ядро») озера (69% видового состава). Гигрофиты и менее требовательные к водным условиям гигромезофиты (всего 28 видов) составляют 31% видового состава и входят как сопутствующие виды в состав прибрежно-водных сообществ.

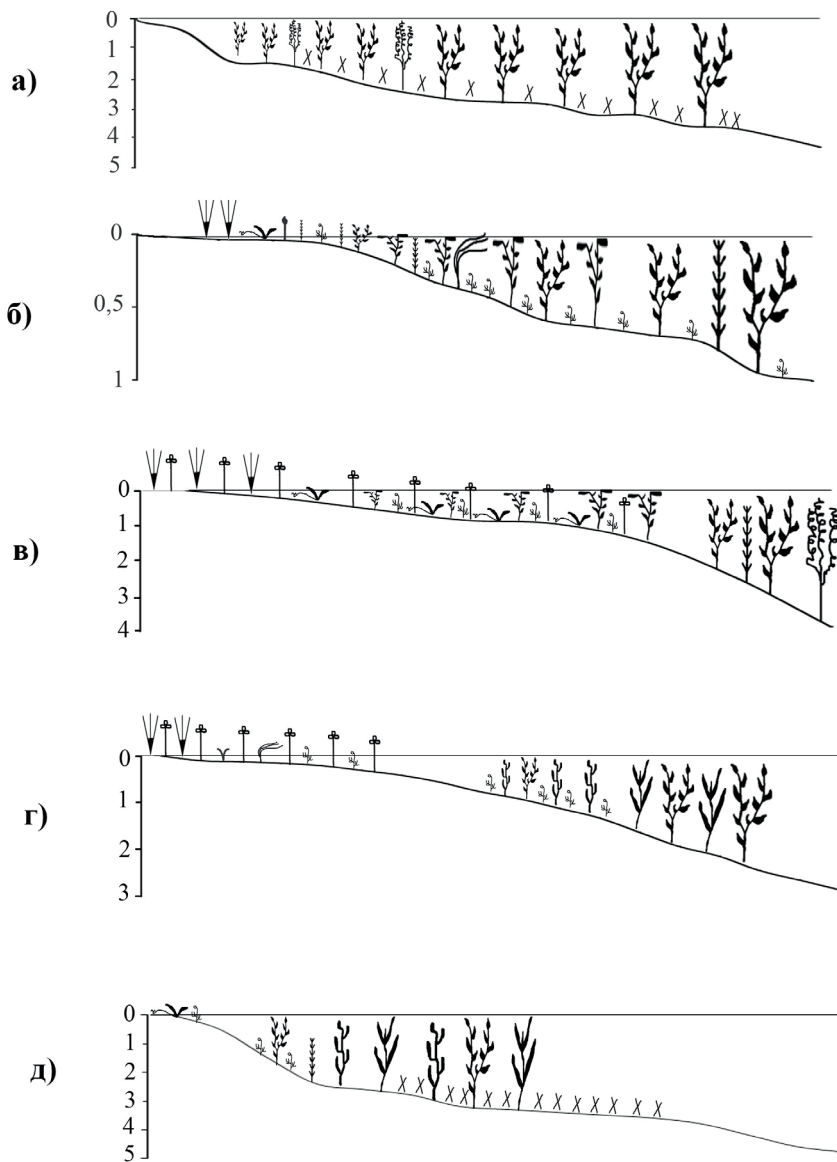
*Пространственное распределение растительных сообществ.* Природные особенности разных участков озера обуславливают своеобразие их растительного покрова.

В относительно глубоководном *Кыгинском заливе* высшая водная растительность представлена, преимущественно, сообществами погруженных видов и только в устье р. Кыги встречаются отдельные группировки прибрежно-водных растений (*Equisetum fluviatile*, *Petasites radiatus* (JFGmel) Toman, *Carex acuta* и др.). Заросли погруженных гидрофитов располагаются в северной части залива в виде узкой полосы на расстоянии 5–10 м от уреза воды на глубине от 2 до 6 м. Это рдестовые сообщества с доминированием *Potamogeton perfoliatus* L., а в отдельные годы – *Potamogeton crispus* L., в нижнем ярусе – сплошной ковер образует *Chara globularis* Tuiller. Проективное покрытие в таких сообществах в верхнем ярусе – 50–70%, в нижнем – до 70–90%. Несмотря на относительно высокое проективное покрытие, количественных характеристики в ценозах низкие: численность рдестов около 24 экз./м<sup>2</sup>, биомасса (в АСВ) – около 24.0 г/м<sup>2</sup> (рис. 3а, табл. 2).

Наибольшее видовое разнообразие на-

блюдается в верховьях *Камгинского залива*, где небольшая глубина, почти полное отсутствие ветроволнового воздействия и илистые грунты создают благоприятные условия для роста и развития водной растительности. Здесь в равной степени развиваются как погруженные, так и полупогруженные растения и хорошо выражена поясность в распространении растительности. Вдоль берегов на мелководье на топких илистых грунтах доминируют гигрогелофиты, представленные осоковыми сообществами. За поясом гигрогелофитов по направлению к открытой воде идет пояс гелофитов, которые совместно с гидрофитами образуют многоярусные сообщества. В верхнем ярусе доминируют *Carex acuta* L., *Equisetum fluviatile* L. или *Eleocharis palustris* (L.) Roem. et Schult., в нижнем ярусе довольно часто встречаются *Potamogeton gramineus* L., *Ranunculus reptans* L. и *R. trichophyllus* Chaux. Продуктивность этих сообществ в значительной степени определяется доминантами верхнего яруса и колеблется от 158.0±18.0 г/м<sup>2</sup> в год в сообществах болотницы болотной, до 488.0±88.0 г/м<sup>2</sup> в год – в сообществах осоки острой. На больших глубинах доминируют рдесты *Potamogeton perfoliatus* L. и *P. alpinus* Balb. subsp. *tenuifolius* (Raf.) Hult., уреть *Myriophyllum sibiricum* Kom. (рис. 3б).

Устье р. *Колдор* представляет собой заболоченную дельту, обильно заросшую гидрофильным разнотравьем. На берегах и мелководье доминируют высокопродуктивные сообщества *Carex acuta*, общее проективное покрытие в которых составляет 70–80% при численности более 200 экз./м<sup>2</sup> и продукции около 500 г/м<sup>2</sup> в год.



Условные обозначения:

- 1; - 2; - 3; - 4; - 5; - 6; - 7;  
 - 8; - 9; - 10; - 11; - 12; - 13; - 14.

Рис. 3. Профили зарастания исследованных заливов Телецкого озера, август 2023 г.  
 Условные обозначения: а) Кыгинский залив, б) Камгинский залив, в) устье р. Колдор, г) устье р. Тевенек,

д) в районе п. Артыбаш; 1 – *Potamogeton perfoliatus*, 2 – *P. praelongus*, 3 – *P. gramineus*,  
 4 – *P. crispus*, 5 – *Stuckenia vaginata*, 6 – *Ranunculus trichophyllus*, 7 – *Myriophyllum sibiricum*,  
 8 – *Equisetum fluviatile*, 9 – *Butomus umbellatus*, 10 – *Carex acuta*, 11 – *Eleocharis palustris*,  
 12 – *Ranunculus reptans*, 13 – *Chara*, 14 – *Subularia aquatica*

Fig. 3. Vegetation profiles of the studied bays of Lake Teletskoye, August 2023.

Designations: а) Kyga Bay, б) Kamga Bay, в) Koldor River estuary, д) Tevenek River estuary, е) Artybash  
 settlement area; 1 – *Potamogeton perfoliatus*, 2 – *P. praelongus*, 3 – *P. gramineus*, 4 – *P. crispus*,  
 5 – *Stuckenia vaginata*, 6 – *Ranunculus trichophyllus*, 7 – *Myriophyllum sibiricum*,  
 8 – *Equisetum fluviatile*, 9 – *Butomus umbellatus*, 10 – *Carex acuta*, 11 – *Eleocharis palustris*,  
 12 – *Ranunculus reptans*, 13 – *Chara*, 14 – *Subularia aquatica*

Таблица 2

Количественные показатели водной и прибрежно-водной растительности  
Телецкого озера, август 2023 г.

Table 2

Quantitative parameters of aquatic and coastal-aquatic vegetation  
in Lake Teletskoye, August 2023

Место отбора	Н, м	Доминант	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Высота, см	АСВ, г/м <sup>2</sup>	Продукция, г/м <sup>2</sup> *год
устье р. Чулышман	0.5–1.0	<i>P. perfoliatus</i>	222.0 ± 66.0	60.1 ± 6.7	52.0 ± 4.0	130.0 ± 10.0
Кыгинский залив	2.4	<i>P. perfoliatus</i>	24.0 ± 4.0	132.2 ± 15.0	24.0 ± 4.0	70.0 ± 10.0
Камгинский залив	0.4	<i>P. gramineus</i>	196.0 ± 4.0	60.2 ± 3.6	72.0 ± 16.0	158.0 ± 18.0
		<i>R. trichophyllus</i>	134.0 ± 50.0	14.8 ± 1.0		
		<i>P. perfoliatus</i>	18.0 ± 10.0	36.6 ± 8.2		
		<i>Eleocharis palustris</i>	96.0 ± 64.0	58.9 ± 6.9		
	0.2	<i>C. acuta</i>	258.0 ± 30.0	88.2 ± 5.0	244.0 ± 44.0	488.0 ± 88.0
		<i>E. fluviatile</i>	10.0 ± 2.0	72.4 ± 5.8		
<i>P. gramineus</i>		46.0 ± 30.0	26.1 ± 3.2			
устье р. Колдор	0.4–0.5	<i>E. fluviatile</i>	369.0 ± 155.4	65.2 ± 1.9	192.0 ± 65.0	249.6 ± 84.5
		<i>P. gramineus</i>	206.0 ± 65.7	20.2 ± 0.8		
	0.1–0.2	<i>C. acuta</i>	234.0 ± 18.0	69.5 ± 2.9	260.0 ± 36.0	520.0 ± 72.0
устье р. Тевенек	1.6	<i>P. praelongus</i>	58.0 ± 30.0	28.7 ± 2.3	28.0 ± 12.0	70.0 ± 30.0
		<i>P. perfoliatus</i>	8.0 ± 4.0	15.4 ± 3.6		
		<i>R. trichophyllus</i>	228.0 ± 172.0	10.8 ± 0.7		
	0.1–0.4	<i>R. trichophyllus</i>	78.0 ± 1.0	19.6 ± 1.1	68.0 ± 4.0	113.6 ± 30.4
		<i>E. fluviatile</i>	158.0 ± 78.0	49.3 ± 2.4		
	0.1	<i>C. acuta</i>	396.0 ± 44.0	69.4 ± 2.9	320.0 ± 64.0	640.0 ± 128.0
<i>R. repens</i>		20.0 ± 12.0	66.8 ± 4.9			
<i>E. fluviatile</i>		268.0 ± 12.0	68.1 ± 3.8			
с. Артыбаш	1.5–2	<i>P. perfoliatus</i>	55.0 ± 14.1	49.8 ± 2.8	20.0 ± 2.3	50.0 ± 5.8
		<i>Nitella flexilis</i>	24.0 ± 4.0	5.0 ± 0.4		
	2.5	<i>St. vaginata</i>	6.0 ± 2.0	127.7 ± 2.3	16.0 ± 4.6	40.0 ± 11.5
		<i>P. perfoliatus</i>	9.0 ± 1.0	49.7 ± 8.4		
		<i>P. praelongus</i>	8.0 ± 4.0	91.7 ± 7.6		
	2.5	<i>P. maackianus</i>	242.0 ± 134.0	90.5 ± 3.7	20.0 ± 4.0	50.0 ± 10.0

В приуезровой полосе осоковые сообщества сменяют сообщества *Equisetum fluviatile*, для которых характерно наличие двух четко выраженных ярусов: верхнего яруса хвоща речного с проективным покрытием 60–70% и нижнего яруса, представленного *Potamogeton gramineus* и *Ranunculus trichophyllus* (проективное

покрытие около 50%). Численность в сообществах составляет  $369.0 \pm 155.4$  экз./м<sup>2</sup> хвоща и  $206.0 \pm 65.7$  экз./м<sup>2</sup> рдеста, продуктивность – около 250 г/м<sup>2</sup> в год.

Прибойная каменистая литораль неблагоприятна для произрастания макрофитов, поэтому высшая водная растительность здесь отсутствует. С увеличением глубины и расстояния от берега количество мелкозернистого субстрата увеличивается, а сила прибоя снижается. На глубине от 2 до 4 м здесь развиваются разреженные ценозы *Myriophyllum sibiricum* и рдестов *Potamogeton perfoliatus* и *P. crispus* (рис. 3в).

В устье р. Тевенек на сырых берегах и мелководье доминируют осоково-злаковые сообщества с проективным покрытием от 35 до 70%. На мелководье *Equisetum fluviatile* образует многоярусные разреженные ценозы, для которых характерно наличие в нижнем ярусе *Ranunculus trichophyllus* и *Subularia aquatica* L. На глубине до 1 м часто встречается *Butomus umbellatus* L., ранее на этом участке отмечавшийся единично. Пояс погруженной растительности начинается с глубины около 1 м и представлен ценозами *Potamogeton perfoliatus*, в нижнем ярусе также довольно обычен *Ranunculus trichophyllus*. На глубине свыше 2 м разреженные заросли образует рдест *P. praelongus*, довольно часто встречается *Stuckenia vaginata* (Magnin) Holub, которая раньше на этом участке встречалась лишь единично. Продуктивность сообществ гидрофитов очень низкая ( $70.0 \pm 30.0$  г/м<sup>2</sup> в год), при численности верхнего яруса от  $8.0 \pm 4.0$  до  $58.0 \pm 30.0$  экз./м<sup>2</sup> (*Potamogeton perfoliatus* и *P. praelongus*,

соответственно), от  $78.0 \pm 1.0$  до  $228 \pm 172.0$  экз./м<sup>2</sup> (*R. trichophyllus*) в нижнем ярусе (рис. 3г).

На исследуемом участке вблизи с. Артыбаш водная и прибрежно-водная растительность характеризуется ограниченным распространением и низкой степенью проективного покрытия. В зоне мелководья единично отмечаются разреженные ценопопуляции *Ranunculus reptans* и *R. trichophyllus*.

На глубинах от 1.5 до 4.5 м локально, в виде фрагментированных пятен, представлены сообщества рдестовых (*Potamogeton perfoliatus*, *P. praelongus*, *Stuckenia vaginata*) с проективным покрытием, не превышающим 10–15%, и плотностью травостоя 6.0–9.0 экз./м<sup>2</sup>. В нижнем ярусе в этих сообществах и на глубине до 5.0–6.0 м встречаются изолированные скопления харовых водорослей *Nitella flexilis* (L.) C. Agardh, что свидетельствует о сохранении участков с низкой турбулентностью и стабильным гидрохимическим режимом.

Особый интерес представляет находка на участках с умеренным антропогенным воздействием впервые зарегистрированного вида *Potamogeton maackianus* A. Benn., формирующего относительно сомкнутые ценозы с проективным покрытием до 40% и плотностью 55.0–242.0 экз./м<sup>2</sup>. Однако, несмотря на высокие количественные показатели, продуктивность данных сообществ остаётся низкой ( $40\text{--}60$  г/м<sup>2</sup> в год), что может указывать на лимитирующее влияние абиотических факторов либо специфику адаптационной стратегии вида.

Статистический анализ с применением U-критерия Манна–Уитни выявил разнонаправленную динамику растительности на

исследованных участках. На заповедных территориях (Кыгинский и Камгинский заливы) различия в биомассе макрофитов между периодами 2001–2006 и 2023 гг. статистически недостоверны ( $p > 0.05$ ), что свидетельствует о стабильности растительных сообществ в условиях охраняемого режима (табл. 3).

В зонах с высокой рекреационной нагрузкой зафиксированы статистически значимые изменения. В районе с. Артыбаш отмечено высоко значимое снижение биомассы погруженных макрофитов ( $p < 0.001$ ), что подтверждает деградацию растительного покрова под влиянием антропогенного пресса. В устье р. Тевенек также зафиксировано значимое сокращение биомассы гидрофитов ( $p < 0.05$ ).

В устье р. Колдор, несмотря на тенденцию к увеличению биомассы как водных, так и прибрежно-водных растений, различия статистически не значимы ( $p > 0.05$ ), что может быть связано с высокой вариабельностью данных и локальным характером эвтрофирования.

Для анализа различий между участками по динамике биомассы макрофитов применен метод главных компонент (PCA) (рис. 4). Первые две компоненты объясняют 98.8% общей дисперсии (PC1 – 78.3%, PC2 – 20.5%). Вдоль оси PC1, интерпретируемой как «общая продуктивность», максимальные положительные значения характерны для устья р. Колдор, где отмечен рост биомассы в 2023 г. Отрицательные значения PC1 соответствуют участкам с низкой продуктивностью (Кыгинский залив, с. Артыбаш). Ось PC2 разделяет участки по типу изменений: отрицательные значения связаны с резким падением продуктивности гидрофитов (устье р. Тевенек), положительные – с участками стабильного развития гелофитов (Камгинский залив). На ординационной диаграмме отчетливо обособляются три группы: (1) заповедные участки со стабильными показателями, (2) зона активного эвтрофирования (устье р. Колдор), (3) зоны деградации растительности под влиянием рекреации (с. Артыбаш, устье р. Тевенек).

Таблица 3

Результаты статистического анализа динамики биомассы макрофитов (2001–2006 и 2023 гг.) с применением U-критерия Манна–Уитни

Table 3

Results of statistical analysis of macrophyte biomass dynamics (2001–2006 and 2023) using the Mann–Whitney U-test

Участок	Тип растительности	p-value	Значимость
Кыгинский залив	Водные	0.196	ns
Камгинский залив	Водные	0.154	ns
Камгинский залив	Прибрежно-водные	0.762	ns
устье р. Колдор	Водные	0.827	ns
устье р. Колдор	Прибрежно-водные	0.381	ns
устье р. Тевенек	Водные	0.036	*
с. Артыбаш	Водные	0.0005	***

Примечания: ns – не значимо, \* –  $p < 0.05$ , \*\*\* –  $p < 0.001$

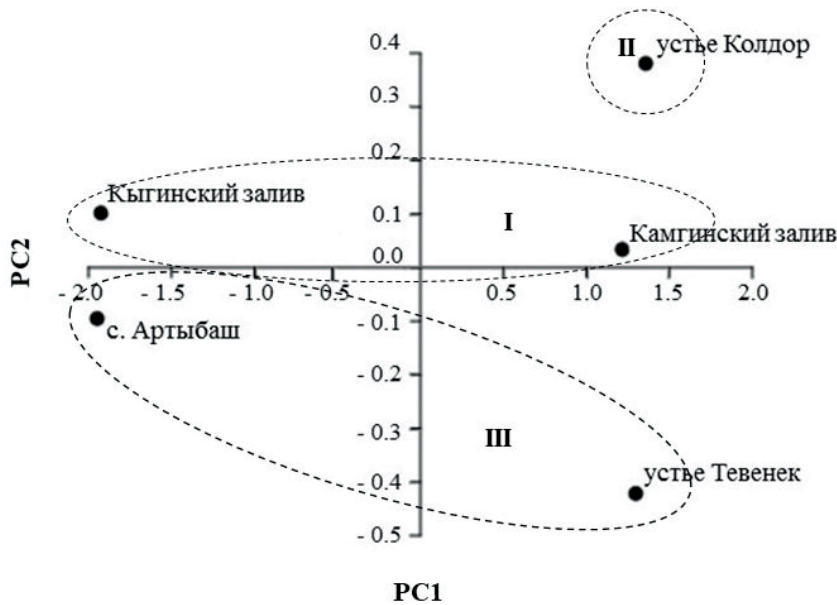


Рис. 4. Диаграмма рассеяния главных компонент (Scores plot), построенная по методу главных компонент (PCA)

Fig. 4. PCA scores scatter plot

Результаты анализа данных по методу главных компонент (PCA) подтверждают обособление трех групп участков: заповедные акватории со стабильной продуктивностью (Кыгинский, Камгинский заливы); зона локального эвтрофирования (устье р. Колдор), характеризующаяся ростом биомассы; зоны рекреационной деградации (с. Артыбаш, устье р. Тевенек), где зафиксировано резкое снижение показателей. Совокупность полученных данных свидетельствует о ведущей роли антропогенного фактора в трансформации растительного покрова литорали Телецкого озера.

#### Обсуждение

Большая глубина, незначительная площадь литорали, низкие летние температуры воды, высокая ветро-волновая активность, преобладание валунно-галечниковых и песчано-галечниковых грунтов в береговой зоне, а также низкие концентрации биоген-

ных элементов обуславливают ограниченную пригодность Телецкого озера для развития высшей водной и прибрежно-водной растительности. Вследствие этого видовое разнообразие гидрофильной флоры озера невелико и сопоставимо с таковым других крупных олиготрофных водоёмов Голарктики: озера Байкал (86 видов [Азовский, Чепинога, 2007]), Онежского озера (80 видов [Калинкина и др., 2017]) и озера Имандра (59 видов [Разумовская, Петрова, 2017]).

Наиболее благоприятными для развития макрофитов являются мелководные участки Кыгинского и Камгинского заливов, приустьевые участки крупных притоков, а также район северо-западного мелководья, где влияние лимитирующих факторов ослаблено. По ориентировочным оценкам, общая площадь зарослей полупогруженных и погруженных видов составляет около 30% площади литорали озера [Зарубина, Соколова, 2008].

Максимальное число видов (46) за весь период исследований зарегистрировано в мелководных и хорошо прогреваемых летом водоёмах дельты реки Чулышман, которые гидрологически связаны с озером лишь в период половодья, а в межень изолированы. Степень зарастания этих водоёмов в отдельные годы достигает 70%. На втором месте по видовому богатству (37 видов) находится Камгинский залив, где зарастание верхней мелководной части стабильно высоко и варьирует в пределах 50–70%. Около 30 видов отмечено в устье реки Самыш и в районе села Артыбаш.

Сравнение данных, полученных в 2023 г. с данными 2001–2006 гг. показало, что за более чем 20-летний период на отдельных участках озера произошла трансформация растительного покрова. Особенно значительные изменения произошли на участках с высокой рекреационной нагрузкой. Из состава доминантов растительных сообществ в районе устья реки Тевенек и посёлка Артыбаш исчезли такие виды, как *Potamogeton alpinus*, *P. crispus*, *Ranunculus kauffmanii*, *Callitriche palustris* и др. В то же время появились новые доминанты –

*Stuckenia vaginata* и *Butomus umbellatus*, ранее отмечавшиеся в устье реки Тевенек лишь единично. Особый интерес представляет находка *Potamogeton maackianus* в районе причала у посёлка Артыбаш на участке с умеренным антропогенным воздействием. Данный вид ранее не регистрировался в Телецком озере и в целом в Западной Сибири, но широко распространён в озере Байкал, где встречается на глубинах 2.0–2.5 м [Азовский, Чепинога, 2007].

Изменения затронули также степень зарастания, плотность ценозов, процент проективного покрытия и биомассу доминирующих видов (табл. 4). Средняя фитомасса погруженных растений (гидрофитов) в исследованных участках Телецкого озера в 2001–2006 гг. составляла  $85.1 \pm 7.7$  г/м<sup>2</sup>, полупогруженных (гелофитов) –  $180.3 \pm 20.6$  г/м<sup>2</sup> [Зарубина, Соколова, 2006]. К 2023 году биомасса гидрофитов снизилась в 1.6 раза (в среднем  $53.1 \pm 14.4$  г/м<sup>2</sup>), тогда как биомасса гелофитов значительно не изменилась ( $177.6 \pm 23.2$  г/м<sup>2</sup>). Отмеченные сдвиги характерны преимущественно для участков, подверженных интенсивной рекреации: устья рек Колдор и Тевенек, а также район села Артыбаш.

Таблица 4  
Биомасса водных и прибрежно-водных фитоценозов Телецкого озера в 2001–2006 и 2023 гг.  
Table 4  
Biomass of aquatic and coastal-aquatic phytocenoses in Lake Teletskoye in 2001–2006 and 2023

Место наблюдений	Биомасса, г/м <sup>2</sup>			
	Водные		Прибрежно-водные	
	2001–2006 гг.	2023 г.	2001–2006 гг.	2023 г.
	среднее	среднее	среднее	среднее
Кыгинский залив	$60.9 \pm 15.3$	$28.0 \pm 4.0$	–	–
Камгинский залив	$75.3 \pm 10.6$	$72.0 \pm 16.0$	$150.8 \pm 27.9$	$166.5 \pm 41.9$
устье р. Колдор	$94.2 \pm 33.9$	$167.3 \pm 23.7$	$146.8 \pm 10.4$	$226.0 \pm 34.0$
устье р. Тевенек	$102.3 \pm 20.0$	$28.0 \pm 12.0$	$242.6 \pm 42.4$	$164.5 \pm 40.1$
с. Артыбаш	$100.1 \pm 20.2$	$18.0 \pm 2.0$	–	–

В устье реки Колдор на фоне увеличения площади зарастания литорали отмечен рост биомассы как погруженных, так и воздушно-водных растений – в 1.8 и 1.5 раза соответственно. Вероятной причиной является эвтрофирование вследствие поступления биогенных элементов со сточными водами расположенных на берегу туристических баз и кемпингов. Это подтверждается гидрохимическими показателями, соответствующими водам  $\beta$ -мезосапробного эвтрофного –  $\alpha$ -мезосапробного политрофного типа с умеренным уровнем загрязнения.

Противоположная тенденция зафиксирована в районе села Артыбаш и устья реки Тевенек, где отмечено значительное сокращение степени зарастания литорали. Биомасса погруженных видов в устье реки Тевенек снизилась в 3.7 раза, полупогруженных – в 1.5 раза. В районе Артыбаша деградация водных фитоценозов была более интенсивной: плотность ценозов *Potamogeton perfoliatus* сократилась в 3.5

раза, а биомасса снизилась в 5.6 раз по сравнению с периодом 2001–2006 гг. (рис. 5).

В Камгинском и Кыгинском заливах, расположенных на заповедной территории, значимых изменений в видовом составе, степени зарастания и биомассе доминантных видов не отмечено.

Поскольку существенные трансформации в составе, структуре и продуктивности макрофитов за рассматриваемый период зафиксированы исключительно на участках, подверженных антропогенному воздействию, наиболее вероятной причиной изменения здесь характера растительного покрова является возросшая рекреационная нагрузка. Интенсификация использования маломерных судов, наблюдаемая в последнее десятилетие, приводит к механическому разрушению растительных сообществ, а активная застройка прибрежной полосы создаёт дополнительные негативные условия для формирования и функционирования водных фитоценозов.

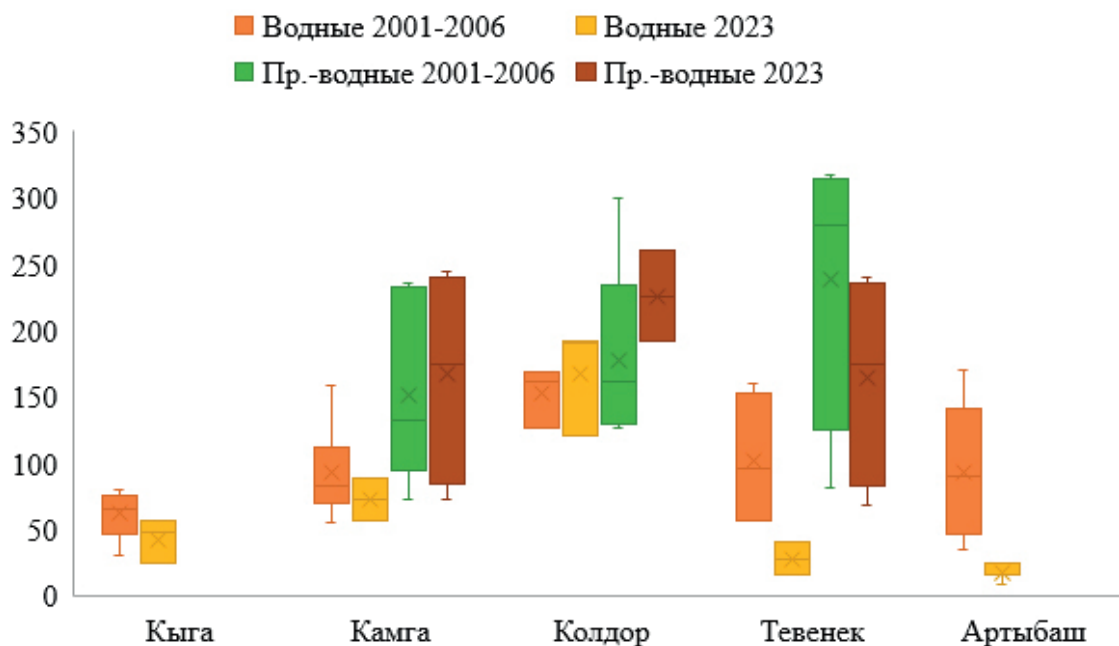


Рис. 5. Биомасса водных и прибрежно-водных растений в Телецком озере в 2001–2006 и 2023 гг.  
Fig. 5. Biomass of aquatic and coastal-aquatic plants in Lake Teletskoye in 2001–2006 and 2023

Учитывая ключевую роль высших водных растений в процессах самоочищения водоёма, а также их значение как среды обитания и кормовой базы для гидробионтов, сокращение площади распространения и продуктивности макрофитов на участках с высокой антропогенной нагрузкой может привести к долгосрочным негативным последствиям для экосистемы озера.

Сходные эффекты рекреационного воздействия на растительный покров отмечены в крупных северных озёрах: Ладожском и Онежском [Андронникова, Распопов, 2003; Распопов, 2011], а также в северных холодноводных озерах Имандра [Терентьева и др., 2017] и Тургояк [Захаров, 2020].

#### Заключение

На основании проведённого анализа состава, распределения и динамики водной растительности Телецкого озера можно сделать следующие выводы.

Флора макрофитов озера, насчитывающая 88 видов, характеризуется низким видовым разнообразием, что типично для крупных глубоководных олиготрофных водоёмов Голарктики и сопоставимо с флорой Байкала, Онежского озера и Имандры. Её структура отражает региональные закономерности: основу составляют покрытосеменные (94%) с преобладанием гидрофильной линии однодольных при высокой доле маловидовых семейств среди двудольных.

Распространение растительности в озере лимитируется комплексом абиотических факторов: большой глубиной, узкой литоралью, низкой летней температурой воды, высокой волновой активностью, каменистыми грунтами и низкой трофно-

стью. Наиболее благоприятные условия для развития макрофитов складываются в защищённых заливах (Камгинский, Кыгинский), приустьевых участках крупных притоков и на северо-западном мелководье, где зарастание литорали достигает 30%.

За период с 2001–2006 по 2023 гг. выявлена значительная трансформация растительного покрова, которая носит разнонаправленный характер в зависимости от типа антропогенного воздействия. В зонах прямого рекреационного пресса (устья рек Колдор, Тевенек, район с. Артыбаш) зафиксирована деградация фитоценозов: изменение состава доминантов (исчезновение *Potamogeton alpinus*, *P. crispus*), сокращение степени зарастания и плотности ценозов (в 3.5–5.6 раза для погруженных гидрофитов), а также снижение биомассы макрофитов в среднем в 1.6 раза. В то же время в районах локального поступления биогенов (устье р. Колдор) наблюдается процесс эвтрофирования, подтверждаемый положительной корреляцией между биомассой макрофитов и величиной БПК<sub>5</sub> ( $r_s = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ), что ведёт к локальному увеличению продуктивности.

Статистические закономерности, выявленные методом главных компонент, подтверждаются данными гидрохимического анализа и дистанционного зондирования [Андреева и др., 2022]. На участках с повышенной рекреационной нагрузкой они указывают на критическое состояние фитоценозов, тогда как отсутствие значимых изменений на заповедных территориях доказывает эффективность природоохранного режима для сохранения уязвимых олиготрофных экосистем. Полученные данные

соответствуют тенденциям, отмеченным и на других крупных озёрах (Ладожское, Онежское, Имандра), где также отмечено негативное влияние хозяйственной деятельности на прибрежные сообщества [Поздняков, Кондратьев, 2022; Нигаматзянова, Федорова, 2015].

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что ключевым фактором современных изменений растительного покрова Телецкого озера является антропогенный, прежде всего рекреационная нагрузка. Высшие водные растения, играющие важную роль в самоочищении водо-

ёма, выступают чувствительными индикаторами этого воздействия. Наблюдаемое сокращение их продуктивности и разнообразия на нарушенных участках в долгосрочной перспективе может привести к снижению устойчивости экосистемы озера в целом.

Таким образом, сохранение уникальной флоры Телецкого озера требует внедрения системы регулярного мониторинга состояния прибрежных фитоценозов и разработки мер по регулированию рекреационной деятельности в наиболее уязвимых участках.

*Конфликт интересов.* Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Conflict of interest.* The author declares no conflict of interests.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН с использованием оборудования ЦКП НИС ИВЭП СО РАН.*

#### *Список литературы*

Азовский М.Г., Чепинога В.В. Высшие водные растения озера Байкал. Иркутск: Изд-во Иркутский госуниверситет, 2007. 157 с.

Андреева И.В., Головин А.В., Рыбкина И.Д., Циликаина С.В. Оценочные исследования рекреационного комплекса озера Телецкое в целях совершенствования политики сохранения экосистемы водоёма // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4. С. 20–27.

Андронникова И.Н., Распопов И.М. Основные проблемы многолетнего мониторинга литоральной зоны больших озер // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. Санкт-Петербург: АССПИН. 2003. С. 295–299.

Архипова И.В., Андреева И.В., Циликаина С.В. Оценка водопотребления и рекреационной нагрузки водозависимых рекреационных практик на Телецком озере // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2021. Т. 62, №3. С. 5–19. doi: 10.24412/2410-1192-2021-16201

Зарубина Е.Ю. Высшая водная растительность оз. Телецкое (Конспект флоры) // Ботанические исследования Сибири и Казахстана: Сб. науч. тр. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 1996. Вып. 2. С. 61–70.

Зарубина Е.Ю., Зятев П.А. Пространственное распределение макрофитов по акватории Телецкого озера // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Мат. конф. (Барнаул, 21–22 августа 2003 г.). Барнаул, 2003. С. 35–37.

Зарубина Е.Ю., Ковешникова А.С. Гидрофильная флора Телецкого озера (конспект флоры) // Флора и растительность Алтая: Сб. науч. тр. Барнаул, 2006а. Т. 11. С. 80–85.

Зарубина Е.Ю., Ковешникова А.С. Флора и растительность Телецкого озера (Горный Алтай) // Гидрботаника 2005: VI Всерос. школа-конф., 11–16 октября 2005, Борок. Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2006б. С. 249–251.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Продукционные характеристики макрофитов Телецкого озера // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Матер. V Межд. Научно-практ. конф. (21–23 ноября 2006 г., Россия). Барнаул: Изд-во «АзБука», 2006. С. 90–91.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Высшая водная растительность северо-западного мелководья Телецкого озера и факторы ее формирования // Мир науки, культуры и образования. 2007. №3 (6). С. 28–31.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Флористическое и синтаксономическое разнообразие гидрофильной растительности Телецкого озера // О состоянии и перспективах развития сети ООПТ в Республике Алтай: Мат. Междунар. научно-практической конф., посвященной 75-летию юбилею Алтайского заповедника (20–23 сентября 2007 г., Россия). Горно-Алтайск: ПАНИ, 2008. С. 95–101.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Динамика водных фитоценозов глубокого олиготрофного водоема в условиях возросшей антропогенной нагрузки (Телецкое озеро, Республика Алтай) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы III Междунар. конф. (20–23 мая 2025 г., Россия). Казань: Издательство Академии наук РТ, 2025. С. 703–706.

Захаров С.Г. Динамика экологического состояния озера Тургояк // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152, № 1. С. 56–65.

Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сярки М.Т. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 4–18.

Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Ленинград: Наука, 1981. 188 с.

Киприянова Л.М., Вишняков В.С., Романов Р.Е., Гопоненко А.Ю. К разнообразию и экологии сообществ харовых водорослей озер Горного Алтая // Растительность России. 2024. № 49. С. 124–138.

Киприянова Л.М., Золотухин Н.И. Водная и прибрежно-водная флора Алтайского

заповедника и прилегающих территорий. Горно-Алтайск: ФГБУ «Алтайский государственный заповедник», 2025. 151 с.

Коробенко А.Н., Анопченко Л.Ю., Гарный В.Е. Антропогенная нагрузка в районе Телецкого озера // ИнтерэкспоГеоСибирь. 2023. Т. 4, №2. С. 59–64.

Кудерина Т.М., Сулова С.Б., Грабенко Е.А., Кухта А.Е., Медведев А.А. Экологическое состояние Телецкого озера при современных изменениях окружающей среды // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2019. № 1. С. 86–91.

Лисицына Л.И., Папченков В.Г. Флора водоемов России: Определитель сосудистых растений. М.: Наука, 2000. 237 с.

Нигаматзянова Г.Р., Федорова И.В. Оценка экологического состояния озер оазисов холмов Ларсеманн и Ширмахера (Восточная Антарктида) // Успехи современного естествознания. 2015. № 12. С. 140–144.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Папченков В.Г. Продукция макрофитов вод и методы ее изучения // Материалы Школы по гидробиологии «Гидробиология: методология и методы» (8–12 апреля 2003 г., Россия). Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003. С. 137–145.

Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А. Диффузная биогенная нагрузка – возможная причина антропогенного эвтрофирования водоемов // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4 (32). С. 36–43. doi: 10.24852/2411-7374.2022.4.36.43

Разумовская А.В., Петрова О.В. Сосудистые растения озера Имандра // Ботанический журнал. 2017. Т. 102, № 1. С. 62–78. doi: 10.1134/S0006813617010057

Распопов И.М. Основные понятия продукционной гидробиологии применительно к макрофитам // Мат. VI Всерос. школы-конференции по водным макрофитам «Гидробиология 2005» (11–16 октября 2005 г., Россия). Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2006. С. 153–158.

Распопов И.М. Высшая водная растительность Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История. 2011. С. 52–102.

Румянцев В.А., Дробкова В.Г., Измайлова А.В. Большие озера Европы: ресурсный потенциал и экологические проблемы // Известия Русского географического общества. 2011. Т. 143, № 2. С. 1–14.

Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро, Л., 1978, 142 с.

Телецкое озеро: научно-информационное издание. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 28 с.

Терентьева И.А., Кашулин Н.А., Денисов Д.Б. Оценка трофического статуса субарктического озера Имандра // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20, № 1–2. С. 197–204.

Флора Сибири. В 14 томах. Новосибирск: Наука, 1987–2003.

International Plant Names Index. Published on the Internet. URL: <http://www.ipni.org> (дата обращения: 23.11.2025).

Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A. Physical and geological environment of Lake Teletskoye // *Annales Sci., Geologiques*. 2001. Vol. 105. P. 1–310.

Taylor P. The genus *Utricularia* – a taxonomic monograph. Kew: Royal Botanic Gardens. Kew Bulletin Additional Series; XIV. 1989. 736 p.

Wiegleb G., Kaplan Z. An account of the species of *Potamogeton* L. (*Potamogetonaceae*) // *Folia Geobotanica* 1998. Vol. 33, no 3. P. 241–316. doi: 10.1007/BF03216205

### *References*

Azovskiy M.G., Chepinoga V.V. Vysshie vodnye rasteniya ozera Baikal [Higher aquatic plants of Lake Baikal]. Irkutsk: Izdatel'stvo Irkutskii gosuniversitet, 2007. 157 p. (in Russian).

Andreeva I.V., Golovin A.V., Rybkina I.D., Tsilikina S.V. Otsenochnye issledovaniya rekreacionnogo kompleksa ozera Teleckoe v celyah sovershenstvovaniya politiki sohraneniya ekosistemy vodoema [Evaluative studies of the recreational complex of Lake Teletskoye to improve the policy of preserving the reservoir ecosystem] // *Russ. zhurn. prikl. ekol.* [Russ. J. Appl. Ecol.]. 2022. No. 4. P. 20–27. (in Russian).

Andronnikova I.N., Raspopov I.M. Osnovnye problemy mnogoletnego monitoringa litoral'noi zony bol'shikh ozer [Main problems of long-term monitoring of the littoral zone of large lakes] // *Ohrana i racional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov Ladozhskogo ozera i drugikh bol'shikh ozer* [Protection and rational use of water resources of Lake Ladoga and other large lakes]. Saint Petersburg: ASaPIN, 2003. P. 295–299. (in Russian).

Arkhipova I.V., Andreeva I.V., Tsilikina S.V. Ocenka vodopotrebleniya i rekreacionnoi nagruzki vodozavisimykh rekreacionnykh praktik na Teleckom ozere [Assessment of water consumption and recreational load of water-dependent recreational practices at Lake Teletskoye] // *Izv. AO RGO* [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2021. no. 3. P. 5–19. (in Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2021-16201

Zarubina E.Yu. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' oz. Teleckoe (Konspekt flory) [Higher aquatic vegetation of Lake Teletskoye (Synopsis of the flora)] // *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazahstana: Sb. nauch. tr.* [Botanical research of Siberia and Kazakhstan: Coll. sci. works]. Barnaul: Izdatel'stvo Alt. un-ta, 1996. Is. 2. P. 61–70. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Zyatev P.A. Prostranstvennoe raspredelenie makrofitov po akvatorii Teleckogo ozera [Spatial distribution of macrophytes across the water area of Lake Teletskoye] // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii: Mater. konf., (21–22 augusta 2003 g.) [Problems of botany of South Siberia and Mongolia: Proc. conf., (Aug. 21–22, 2003)]. Barnaul, 2003. P. 35–37. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Koveshnikova A.S. Gidrofil'naya flora Teleckogo ozera (konspekt flory) [Hydrophilic flora of Lake Teletskoye (Synopsis of the flora)] // Flora i rastitel'nost' Altaya: Sb. nauch. tr. [Flora and vegetation of Altai: Coll. sci. works]. Barnaul, 2006a. Vol. 11. P. 80–85. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Koveshnikova A.S. Flora i rastitel'nost' Teleckogo ozera (Gornyi Altai) [Flora and vegetation of Lake Teletskoye (Mountain Altai)] // Gidrobotanika 2005: VI Vseros. shkola-konf. (11–16 okt. 2005 g.) [Hydrobotany 2005: VI All-Russian. school-conf (Okt. 11–16, 2005)]. Borok. Rybinsk: OAO «Rybinskii Dom pečati», 2006b. P. 249–251. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Produkcionnye harakteristiki makrofitov Teleckogo ozera [Production characteristics of macrophytes of Lake Teletskoye] // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii: Mater. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (21–23 nov. 2006 g.) [Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia: Mater. V. International Scientific and practical conference (Nov. 21–23, 2006)]. Barnaul. Barnaul: Izdatel'stvo «AzBuka», 2006. P. 90–91. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' severo-zapadnogo melkovod'ya Teleckogo ozera i faktory ee formirovaniya [Higher aquatic vegetation of the northwestern shallows of Lake Teletskoye and the factors of its formation] // Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya [World of Science, Culture and Education]. 2007. no. 3(6). P. 28–31. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Floristicheskoe i sintaksonomicheskoe raznoobrazie gidrofil'noi rastitel'nosti Teleckogo ozera [Floristic and syntaxonomic diversity of hydrophilic vegetation of Lake Teletskoye] // O sostoyanii i perspektivah razvitiya seti OOPT v Respublike Altai: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii, posvyashchennoi 75-letnemu yubileyu Altayskogo zapovednika. 20–23 sentyabrya 2007 g., pos. Yailyu [On the state and prospects of the development of the protected area network in the Altai Republic: Proc. int. sci.-pract. conf., dedicated to the 75th anniversary of the Altai Nature Reserve (Sept. 20–23, 2007)]. Gorno-Altaysk: PANI, 2008. P. 95–101. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Dinamika vodnykh fitocenzov glubokogo oligotrofnogo vodoema v usloviyah vozrosshei antropogennoi nagruzki (Teleckoe ozero, Respublika Altai) [Dynamics of aquatic phytocenoses of a deep oligotrophic water body under conditions of increased anthropogenic load (Lake Teletskoye, Altai Republic)] // Ozero Evrazii: problemy i

puti ih resheniya. Materialy III mezhdunarodnoi konferencii (20–23 maya 2025 g.) [Lakes of Eurasia: problems and solutions. Proc. III int. conf. (May 20–23, 2025)]. Kazan': Izdatel'stvo Akademii nauk RT, 2025. P. 703–706. (in Russian).

Zaharov S. G. Dinamika ekologicheskogo sostoyaniya ozera Turgoyak [Dynamics of the ecological state of Lake Turgoyak] // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2020. Vol. 152, no. 1. P. 56–65. (in Russian).

Kalinkina N.M., Tekanova E.V., Syarki M.T. Ekosistema Onezhskogo ozera: reakciya vodnykh soobshchestv na antropogennye faktory i klimaticheskie izmeneniya [Ecosystem of Lake Onega: response of aquatic communities to anthropogenic factors and climate change] // Vodnoe hozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water Manag. Russ.]. 2017. no. 1. P. 4–18. (in Russian).

Katanskaya V.M. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' kontinental'nykh vodoemov SSSR. Metody izucheniya [Higher aquatic vegetation of continental water bodies of the USSR. Methods of study]. Leningrad: Nauka, 1981. 188 p. (in Russian).

Kipriyanova L.M., Vishnyakov V.S., Romanov R.E., Goponenko A.Yu. K raznoobraziyu i ekologii soobshchestv harovykh vodoroslei ozer Gornogo Altaya [On the diversity and ecology of charophyte algae communities in lakes of the Mountain Altai] // Rastitel'nost' Rossii [Veget. Russ.]. 2024. No. 49. P. 124–138. (in Russian).

Kipriyanova L.M., Zolotuhin N.I. Vodnaya i pribrezhno-vodnaya flora Altayskogo zapovednika i privileyushchih territorii [Aquatic and coastal-aquatic flora of the Altai Nature Reserve and adjacent territories]. Gorno-Altaysk: FGBU «Altayskii gosudarstvennyi zapovednik», 2025. 151 p. (in Russian).

Korobenko A.N., Anopchenko L.Yu., Garnyi V.E. Antropogennaya nagruzka v raione Teleckogo ozera [Anthropogenic load in the area of Lake Teletskoye] // InterekspoGeoSibir' [Interexpo GEO-Siberia]. 2023. Vol. 4, no. 2. P. 59–64. (in Russian).

Kuderina T.M., Suslova S.B., Grabenko E.A., Kukhta A.E., Medvedev A.A. Ekologicheskoe sostoyanie Teleckogo ozera pri sovremennykh izmeneniyah okruzhayushchei sredy [Ecological state of Lake Teletskoye under modern environmental changes] // Polevye issledovaniya v Altaiskom biosfernom zapovednike [Field research in the Altai Biosphere Reserve]. 2019. No. 1. P. 86–91. (in Russian).

Lisitsyna L.I., Papchenkov V.G. Flora vodoemov Rossii: Opredelitel' sosudistyykh rastenii [Flora of water bodies of Russia: Key to vascular plants]. Moscow: Nauka, 2000. 237 p. (in Russian).

Nigamatyanova G.R., Fedorova I.V. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya ozer oazisov

holmov Larsemann i Shirmakhera (Vostochnaya Antarktida) [Assessment of the ecological state of lakes in the Larsemann and Schirmacher Hills oases (East Antarctica)] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Adv. Curr. Nat. Sci.]. 2015. no. 12. P. 140–144. (in Russian).

Oksiyuk O.P., Zhukinskii V.N., Braginskii L.P. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverhnostnykh vod sushi [Comprehensive ecological classification of surface water quality] // *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiol. J.]. 1993. Vol. 29, no. 4. P. 62–76. (in Russian).

Papchenkov V.G. Produktsiya makrofitov vod i metody ee izucheniya [Production of aquatic macrophytes and methods of its study] // *Materialy Shkoly po gidrobotanike «Gidrobotanika: metodologiya i metody»* (8–12 april 2003 g.) [Proc. School on Hydrobotany «Hydrobotany: methodology and methods» (April 8–12, 2003)]. Rybinsk: Rybinskii Dom pechati, 2003. P. 137–145. (in Russian).

Pozdnyakov Sh. R., Kondrat'ev S. A. Diffuznaya biogennaya nagruzka – vozmozhnaya prichina antropogennogo evtrofirovaniya vodoemov [Diffuse nutrient load as a possible cause of anthropogenic eutrophication of water bodies] // *Russ. zhurn. prikl. ekol.* [Russ. J. Appl. Ecol.]. 2022. no. 4 (32). P. 36–43. doi: 10.24852/2411-7374.2022.4.36.43. (in Russian).

Razumovskaya A.V., Petrova O.V. Sosudistye rasteniya ozera Imandra [Vascular plants of Lake Imandra] // *Botanicheskii zhurnal* [Bot. J.]. 2017. Vol. 102, no. 1. P. 62–78. (in Russian). doi: 10.1134/S0006813617010057

Raspopov I.M. Osnovnye ponyatiya produktsionnoi gidrobiologii primenitel'no k makrofitam [Basic concepts of production hydrobiology in relation to macrophytes] // *Materialy VI Vserossiiskoi shkoly-konferencii po vodnym makrofitam «Gidrobotanika 2005»* (11–16 oct. 2005 g.) [Proc. VI All-Russ. School-Conf. on Aquatic Macrophytes «Hydrobotany 2005» (October 11–16, 2005)]. Rybinsk: Rybinskii Dom pechati, 2006. P. 153–158. (in Russian).

Raspopov I.M. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' Ladozhskogo ozera [Higher aquatic vegetation of Lake Ladoga] // *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral zone of Lake Ladoga]. Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2011. P. 52–102. (in Russian).

Rumyantsev V.A., Drabkova V.G., Izmailova A.V. Bol'shie ozera Evropy: resursnyi potencial i ekologicheskie problemy [Large lakes of Europe: resource potential and environmental problems] // *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bull. Russ. Geogr. Soc.]. 2011. Vol. 143, no. 2. P. 1–14. (in Russian).

Selegei V.V., Selegei T.S. Teleckoe ozero [Lake Teletskoye]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 142 p. (in Russian).

Teleckoe ozero: nauchno-informacionnoe izdanie [Lake Teletskoye: scientific and information publication]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2012. 28 p. (in Russian).

Terent'eva I.A., Kashulin N.A., Denisov D.B. Ocenka troficheskogo statusa subarkticheskogo ozera Imandra [Assessment of the trophic status of the subarctic Lake Imandra] // Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bull. MSTU. Proc. Murmansk State Tech. Univ.]. 2017. Vol. 20, no. 1–2. P. 197–204. (in Russian).

Flora Sibiri [Flora of Siberia]. In 14 vols. Novosibirsk: Nauka, 1987–2003. (in Russian).

International Plant Names Index. Published on the Internet. URL: <http://www.ipni.org> (accessed: 23.11.2025).

Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A. Physical and geological environment of Lake Teletskoye // Annales Sci., Geologiques. 2001. Vol. 105. P. 1–310.

Taylor P. The genus *Utricularia* – a taxonomic monograph. Kew: Royal Botanic Gardens. Kew Bulletin Additional Series; XIV. 1989. 736 p.

Wiegand G., Kaplan Z. An account of the species of *Potamogeton* L. (Potamogetonaceae) // Folia Geobotanica 1998. Vol. 33, no 3. P. 241–316. doi: 10.1007/BF03216205

## CURRENT STATE AND DYNAMICS OF HIGHER AQUATIC VEGETATION IN LAKE TELETSKOYE UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT

E. Yu. Zarubina, M.I. Sokolova

*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,*

*E-mail: zeur11@mail.ru, smi1181@mail.ru*

*The results of assessing the current state and long-term dynamics (2001–2006 and 2023) of higher aquatic vegetation in the littoral zone of Lake Teletskoye, a unique deep oligotrophic water body, are presented. The inventory revealed 88 species of macrophytes. A comparative analysis in protected areas (Kamga and Kyga bays) and recreational zones (estuaries of the Koldor and Tevenek rivers, Artybash settlement) showed multidirectional changes. In the protected areas, no significant changes were recorded ( $p > 0.05$ ). In the recreational zones, degradation of phytocenoses was noted: the disappearance of sensitive species (*Potamogeton alpinus*, *P. crispus*), and a decrease in the density and biomass of submerged hydrophytes by 3.5–5.6 times (Artybash,  $p < 0.001$ ; Tevenek River estuary,  $p < 0.05$ ). In the Koldor River estuary, an increase in biomass was observed, correlating with elevated  $BOD_5$  values ( $r_s = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ), which indicates local eutrophication. Principal component analysis confirmed the separation of three site groups: stable protected areas, a eutrophication zone, and recreational degradation zones. It was established that the key factor in the transformation of the vegetation is the increase in recreational pressure, which necessitates the organization of monitoring and the regulation of tourist activities.*

*Keywords:* macrophytes; oligotrophic lake; Lake Teletskoye; recreational load; vegetation dynamics; anthropogenic impact; eutrophication; PCA; correlation analysis.

*Received:* December 25, 2025. *Accepted:* February 20, 2026

*Сведения об авторах*

*Зарубина Евгения Юрьевна* – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Новосибирского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-0006-3103. E-mail: [zeur11@mail.ru](mailto:zeur11@mail.ru).

*Соколова Мария Ивановна* – младший научный сотрудник Новосибирского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0009-0004-8156-8809. E-mail: [smi1181@mail.ru](mailto:smi1181@mail.ru).

*Information about the authors*

*Zarubina Evgeniya Yurievna* – PhD in Biology, leading research at the Novosibirsk Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-0006-3103. E-mail: [zeur11@mail.ru](mailto:zeur11@mail.ru).

*Sokolova Maria Ivanovna* – Junior research scientist at the Novosibirsk Branch of the Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0009-0004-8156-8809. E-mail: [smi1181@mail.ru](mailto:smi1181@mail.ru).