



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
“Карельский научный центр Российской академии наук”
Институт водных проблем Севера



Водные биоценозы района Кижских шхер Онежского озера

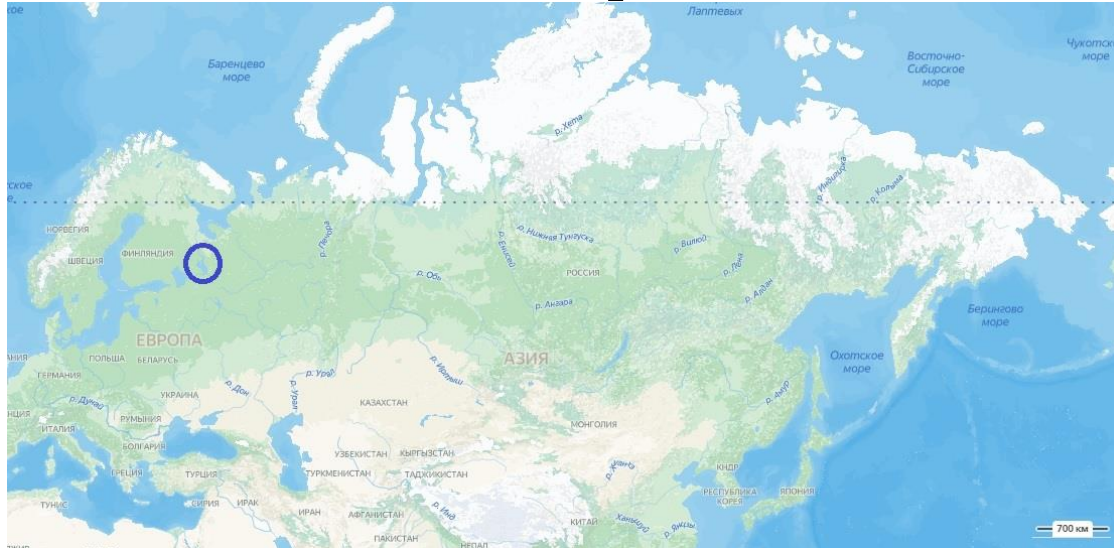
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 23-17-20018, <https://rscf.ru/project/23-17-20018/>»

*Макарова Е. М., Сидорова А.И., Смирнова В.С., Фомина Ю. Ю.,
Сластина Ю.Л., Сидоров С. М.*

VII Международная конференция молодых ученых
«Водные ресурсы: изучение и управление»
4-8 сентября 2023 г.
г. Петрозаводск

Физико-географические параметры Онежского озера

- Онежское озеро является вторым по величине после Ладожского озера пресноводным водоемом Европы.



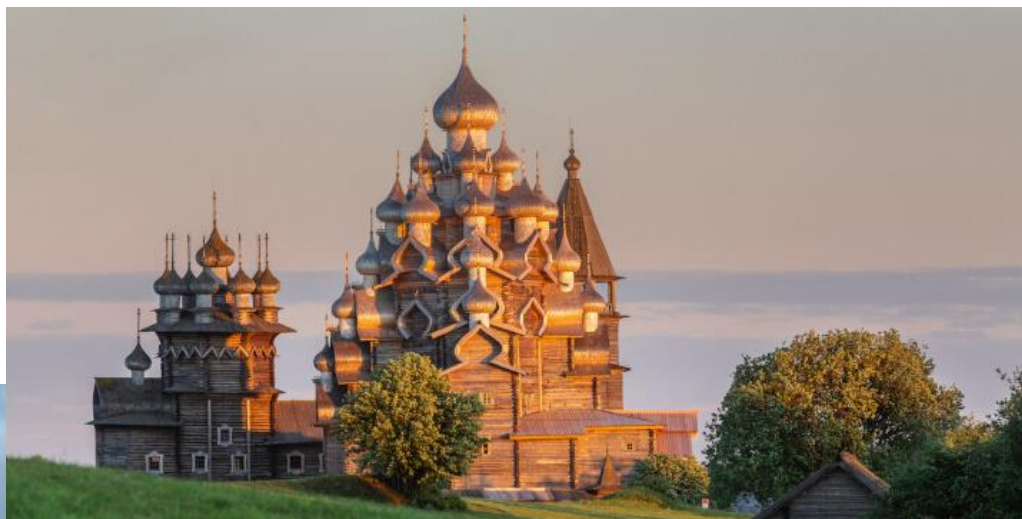
Площадь водосбора, км ²		53 100
Площадь зеркала, км ²		9 720
Глубина, м	средняя	30
	максимальная	120
Протяженность с запада на восток, км		96
Протяженность с севера на юг, км		248

Государственный природный заказник «Кижский» – это ООПТ федерального значения, площадь которой 50000 га (Гос. Доклад..., 2021)



Архитектурный ансамбль Кижского погоста был включен в
Список объектов всемирного культурного
наследия ЮНЕСКО в 1990 г.

Государственный историко-архитектурный и этнографический музей-заповедник «Кижский погост»
объединил на острове Кижский 68 памятников архитектуры.
Жемчужиной острова, несомненно, является ансамбль
Кижского погоста
(Онежское озеро..., 2010)



Антропогенное воздействие на акваторию в районе о. Киж



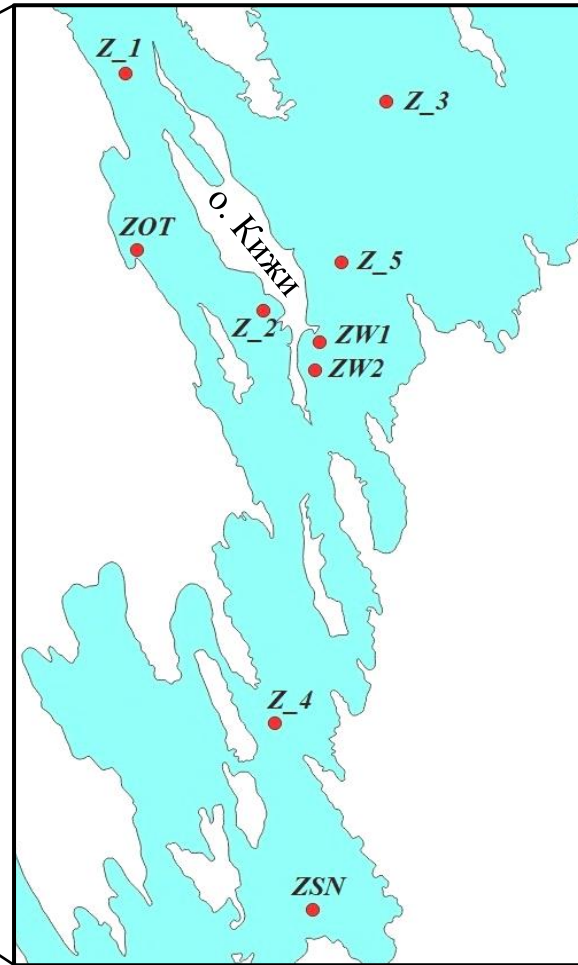
Ежегодно заповедник посещает более 200 тыс. туристов из России и зарубежья.

Акватория озера в районе Кижских шхер испытывает большую антропогенную нагрузку

Цель исследования

*оценить антропогенное
воздействие на водные биоценозы
в районе Кижских шхер
Онежского озера.*

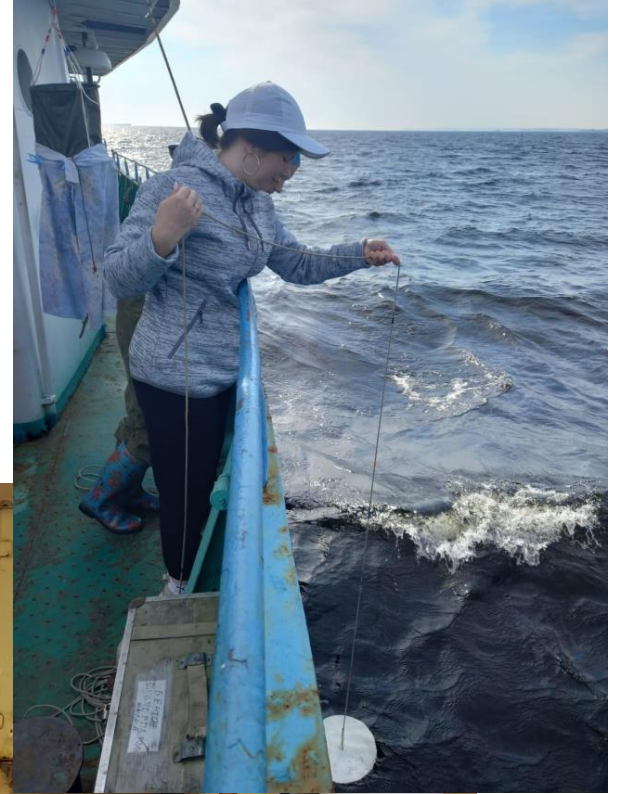
Карта-схема расположения мониторинговых станций в районе о. Кижы Онежского озера (1994-2023 гг.)



Методы исследования



Методы исследования



Микробиологические показатели

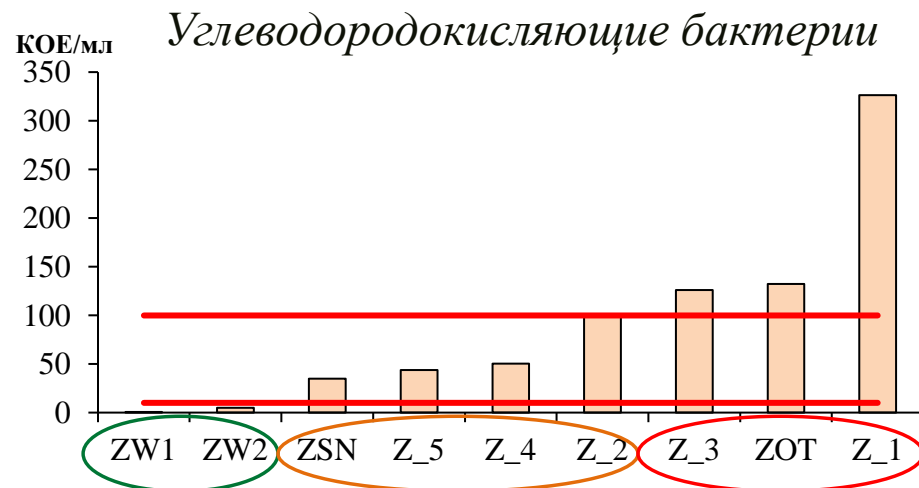
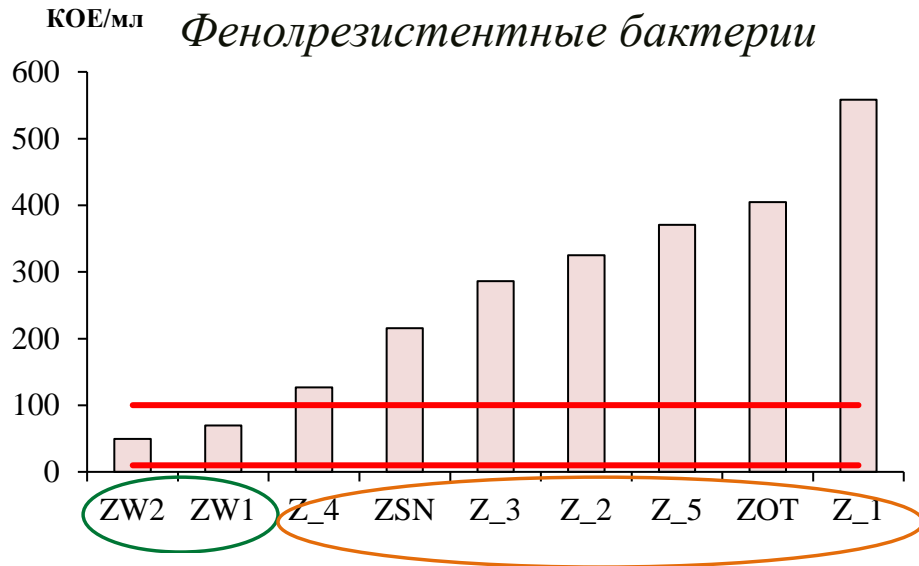
Численность эколого-трофических групп бактерий:

- *Сапрофитные бактерии (СБ)* - индикаторы присутствия в воде лабильного ОВ и основные деструкторы
- *Оликокарбофильные бактерии (ОКБ)* - индикаторы трудноминерализуемого ОВ
- *Фенолрезистентные бактерии (ФРБ)* - индикаторы наличия в воде фенольных соединений
- *Углевородокисляющие бактерии (УОБ)* - индикаторы загрязнения нефтяными углеводородами

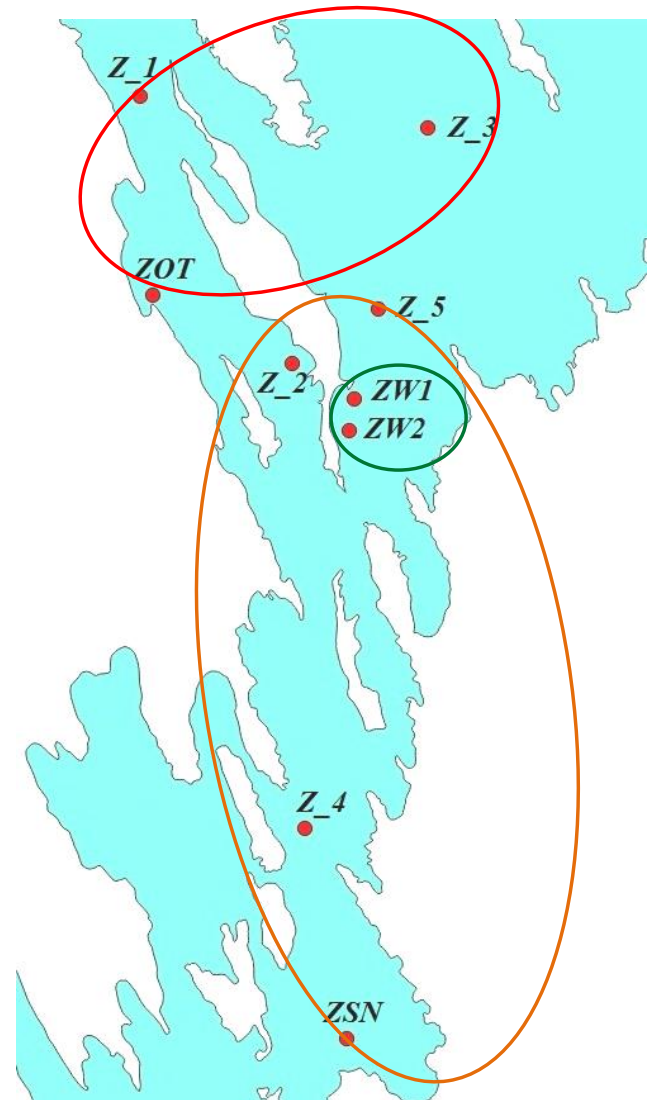
Показатели санитарного благополучия

- Общее микробное число (ОМЧ)
- Бактерии группы кишечной палочки (БГКП)

Оценка качества воды по микробиологическим показателям

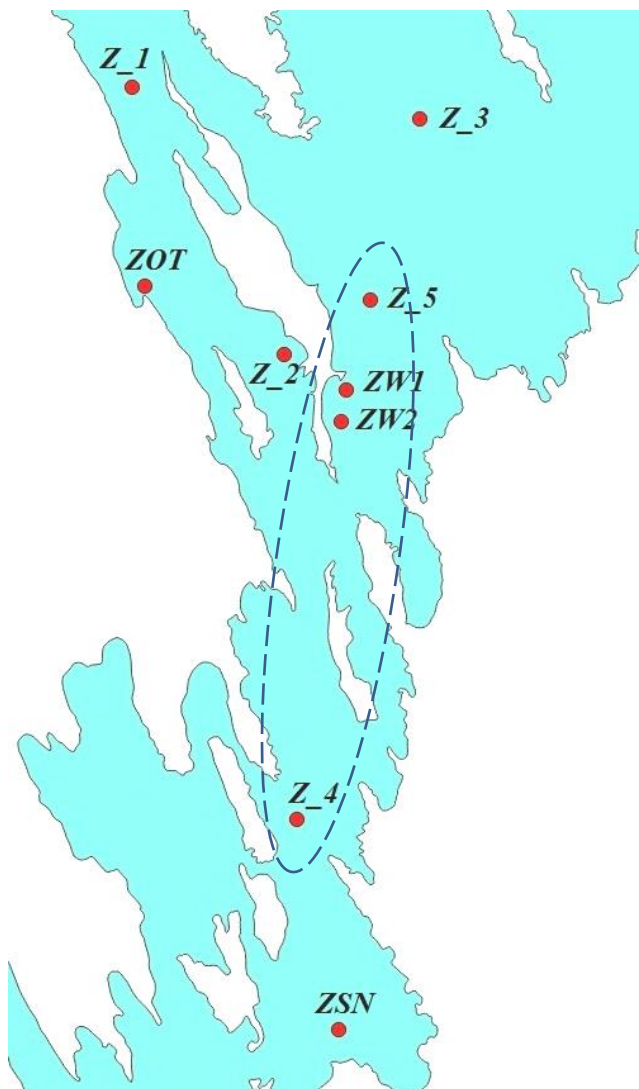


Чистая *Удовлетворительной чистоты* *Загрязненная*



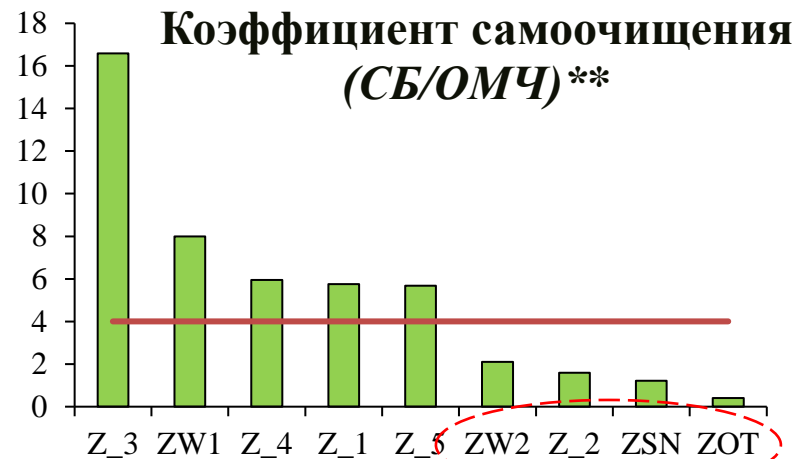
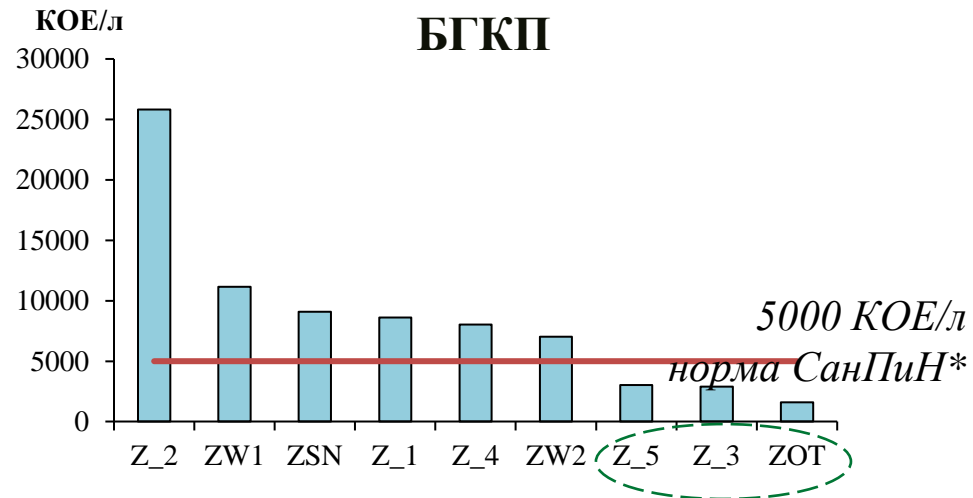
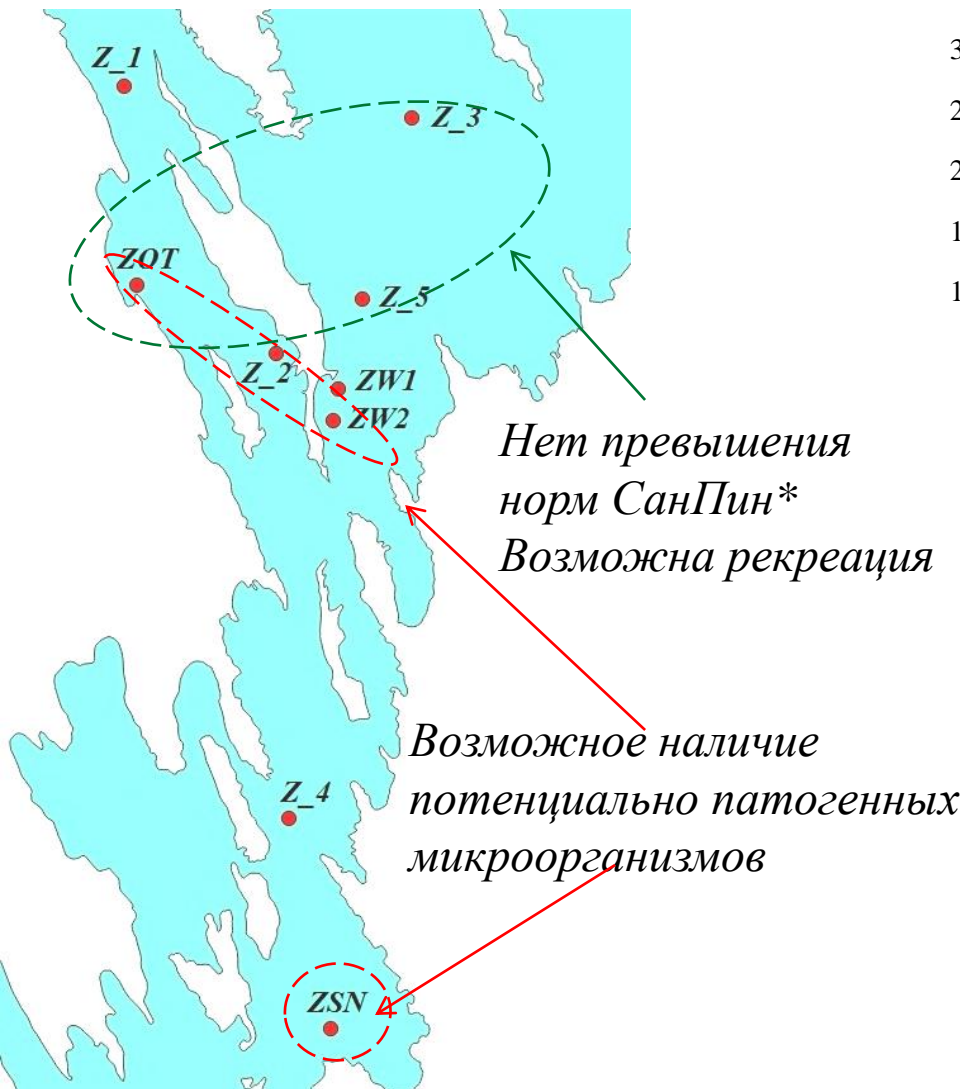
* Виноградов и др., 2001

Оценка качества воды по микробиологическим показателям



* ИТ = (ОКБ/СБ) Индикатор присутствия легкоминерализуемого ОВ

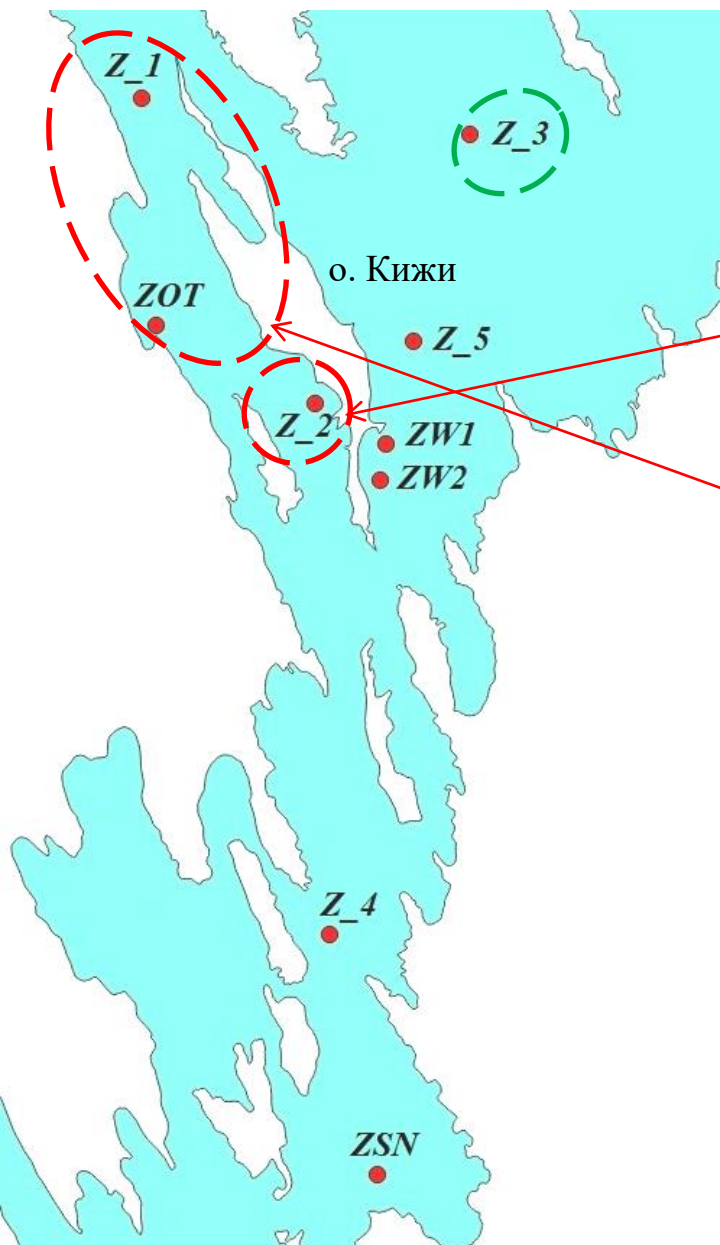
Санитарное состояние акватории Кижских шхер



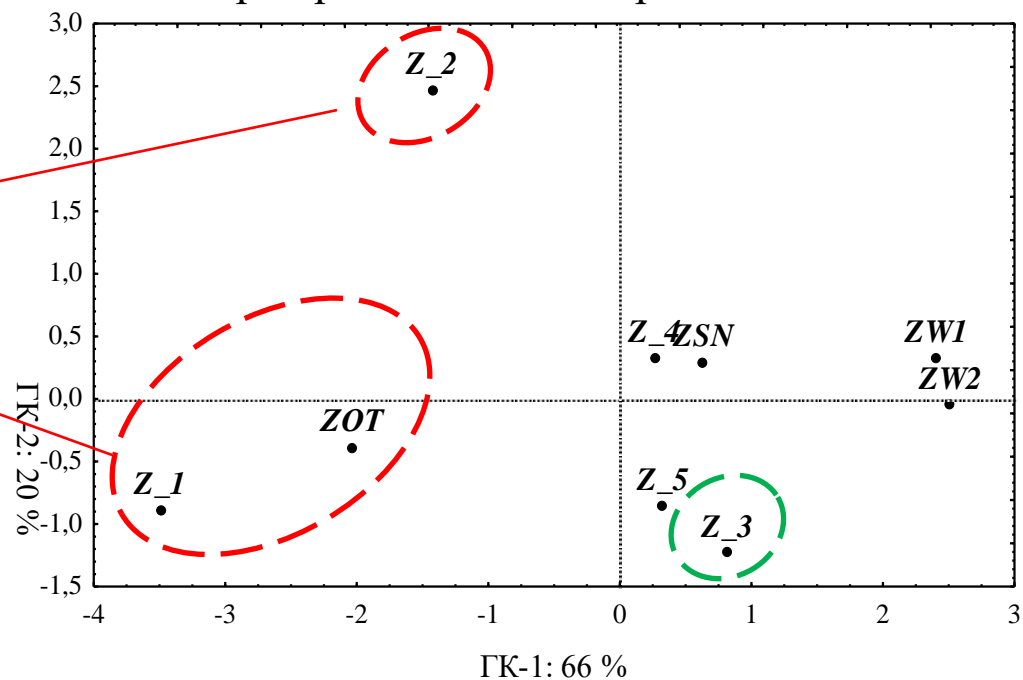
низкая эффективность самоочищения воды

* СанПиН 2.1.5.980—00; ** МУК 4.2.3721-21

Анализ пространственного распределения бактериопланктона на акватории Кижских шхер



Ординационная диаграмма распределения станций отбора проб за летний период 2023 г.

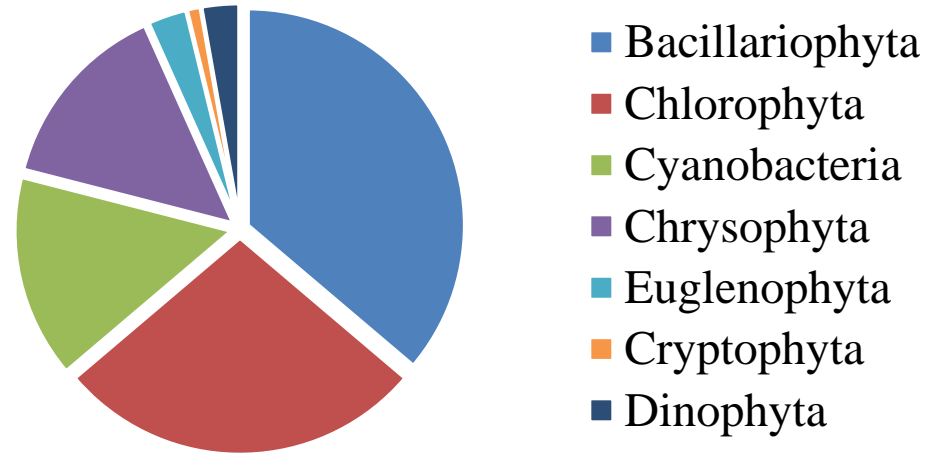


Матрица корреляций, факторные нагрузки

	ГК-1	ГК-2
БГКП	-0,1	0,9
УОБ	-0,9	-0,4
ФРБ	-0,9	-0,2
СБ	-0,9	0,0
ОМЧ	-0,7	0,4
ОКБ	-1,0	0,1
Доля в общей дисперсии, %	66	20

Современное состояние летнего фитопланктона Кижских шхер Онежского озера

В составе фитопланктона на момент исследования было выявлено 105 таксона, в том числе 97 таксонов водорослей рангом ниже рода, 8 таксонов рангом до рода, принадлежащих к 7 систематическим отделам.



Эколого-географическая характеристика (преобладающих видов)

Приуроченность к местообитанию	Географическая приуроченность	Галобность	pH
Планктонные (58.8%)	Космополитные (84.5%)	Индифферентные (59.8%)	Индифферентные (44.3%)
Планктонно-бентосные (15.6%)	Бореальные (8.2%)	Олигогалобы (12.4%)	Алкалофилы (25.8%)
Бентосные (15.6%)		Олигогалоб-галофилы (12.4%)	Ацидофилы (10.3%)
		Олигогалоб-галофобы (7.2%).	

Доминирующие виды фитопланктона

По численности (тыс.кл./л)	По биомассе (мг/л)
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aphanocapsa elachista</i> W. et G. S. West • <i>Gomposphaeria lacustris</i> Chod. • <i>Aphanothece clathrata</i> W. et G. S. West • <i>Dinobryon sociale</i> Ehr. • <i>Dinobryon suecicum</i> Lemm. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Dinobryon divergens</i> Imhof. • <i>Dinobryon sociale</i> Ehr. • <i>Dinobryon suecicum</i> Lemm. • <i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz. • <i>Melosira varians</i> Ag. • <i>Cymbella lanceolata</i> (Ehr.) Kirchn. • <i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müll.) Schrank

Индекс Шеннона-Уивера (H) - 3.46 ± 0.17 (по N), 3.18 ± 0.34 (по B)

Индекс Пиелу (E) – 2.06 ± 0.05 (по N), 1.88 ± 0.14 (по B)

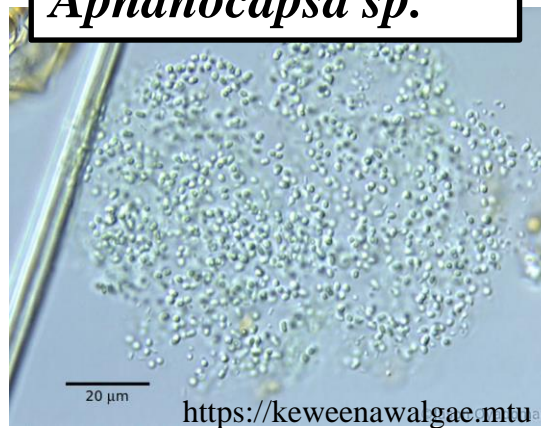
Сапробиологический анализ фитопланктона

В период исследований в альгоценозе присутствовали в основном виды-индикаторы олигосапробной (31.6%), α -мезосапробной (33.7%) и β -мезосапробной (28.9%) зон загрязнения.

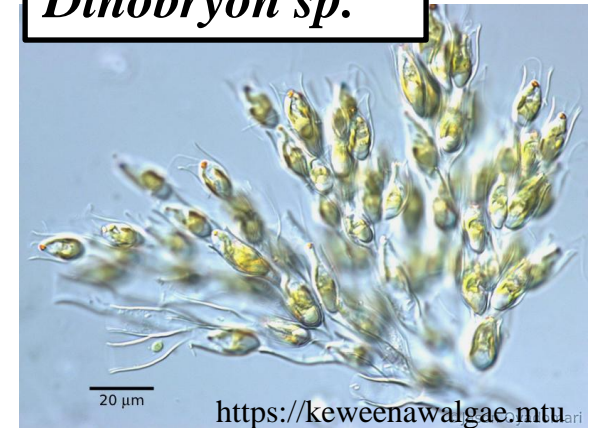
Gomphosphaeria sp.



Aphanocapsa sp.



Dinobryon sp.



В результате анализа сапробиологических характеристик видов фитопланктона, обнаруженных в районе Кижских шхер Онежского озера на момент исследования, и расчета индекса сапробности ($S - 1.61 \pm 0.09$), данный тип вод можно отнести к β -мезосапробному (3 класс качества воды, удовлетворительно-чистая).

Количество цианобактериальных клеток, способных к выработке цианотоксинов

Отмечены потенциально способные к выделению цианотоксинов, опасных для здоровья и жизни человека и животных:

Oscillatoria planctonica Wolosz. (= *Limnothrix planctonica* (Wolosz.) Meffert [Somdee et al., 2013; Oliveira et al., 2019])

Aphanocapsa elachista var. *elachista* W. et G. S. West [Krienitz et al., 2013]

Merismopedia punctata Meyen. [Rubeiro et al., 2018]

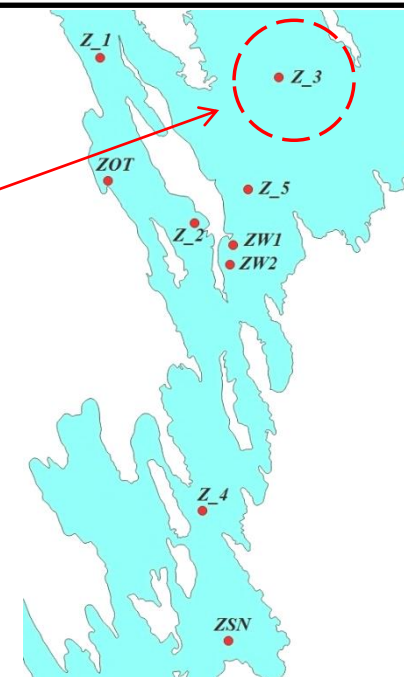
Synechocystis aquatilis Sauv. [Magalhes et al., 2003]

Gomphosphaeria lacustris Chod. (= *Snowella lacustris* (Chod.) Kom. et Hind.) [Echenique et al., 2014].

На изученных станциях их количество составляло в среднем **990** кл./мл.

На ст. Z_2 средняя численность потенциально опасных видов составляла **584** кл./мл., на ст. Z_3 – **1640** кл./мл.

Согласно данным ВОЗ [Guidelines or..., 2003], пороговое значение опасного содержания цианобактерий составляет **20000** кл./мл. Небольшое количество потенциально опасных цианобактерий, обнаруженных на изученной акватории, **не угрожало** здоровью и жизни человека и животных.



Количественные показатели фитопланктона








В отличие от многолетних наблюдений развития фитопланктона, в летний период в 2020 г. и 2022 г. в районе исследования наблюдались высокие количественные показатели развития микроводорослей. Общая численность (N_{tot}) составляла 7134.4 ± 1097.14 тыс.кл./л, а общая биомасса (B_{tot}) фитопланктона – 3.685 ± 1.25 мг/л. По показателям летнего фитопланктона в период исследования состояние экосистемы характеризовалось как **мезо-эвтрофное** [Китаев, 2007]

Станция	Время отбора	N_{tot} (тыс. кл./л)	B_{tot} (мг/л)	Трофическое состояние
Z_2	2020 г.	6900	1.662	α -мезотрофный
Z_3		7012.5	2.183	β -мезотрофный
Z_2	2022 г.	4637.5	3.684	β -мезотрофный
Z_3		9987.5	7.210	α -эвтрофный

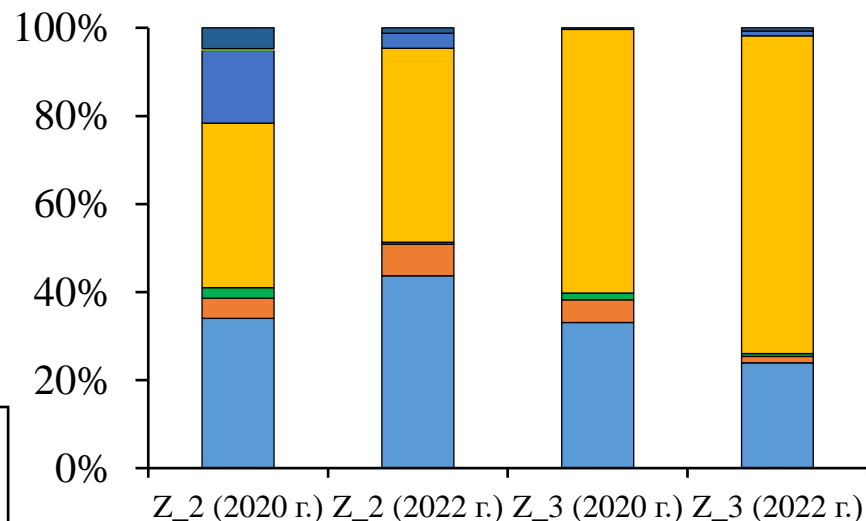
Структура фитопланктона

На момент исследования в фитоценозе по численности преобладали цианобактерии (43.3–76.6%) и золотистые водоросли (8–40.3%), в наименьшем количестве присутствовали Bacillariophyta, Chlorophyta и Dinophyta, Cryptophyta, Euglenophyta.

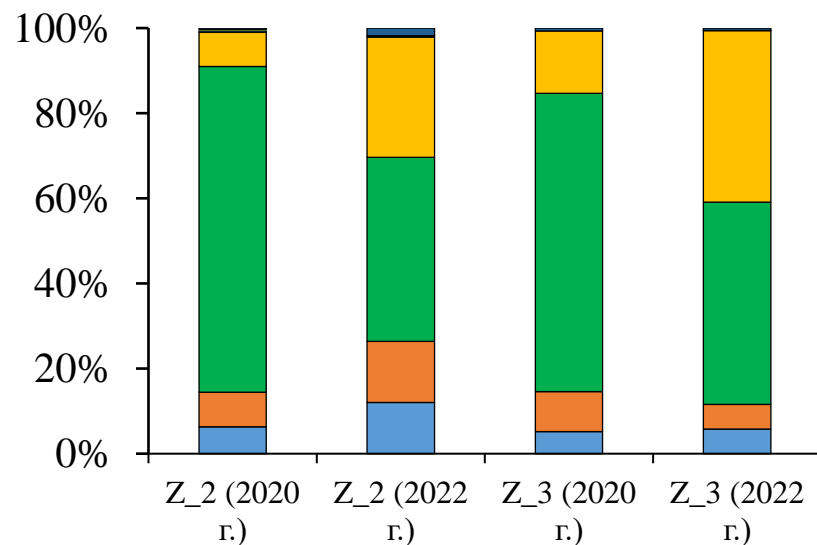
Наибольший вклад в биомассу составляли золотистые (37.4–60%), диатомовые (24–43.8%) и динофитовые водоросли (1.1–16.5%), в наименьшем количестве присутствовали (Chlorophyta, Cryptophyta, Euglenophyta, Cyanobacteria).

 Euglenophyta	 Cryptophyta
 Dinophyta	 Chrysophyta
 Cyanobacteria	 Chlorophyta
 Bacillariophyta	

По биомассе (мг/л)



По численности (тыс. кл./л)



Многолетние изменения летнего фитопланктона

За многолетний период (1996-2023) увеличилась общая численность и общая биомасса фитопланктона ($p < 0.05$; $n = 10$).

$N_{\text{общая}}$ увеличилась за счет видов цианобактерий, зеленых и эвгленовых водорослей.

$V_{\text{общая}}$ увеличилась за счет цианобактерий и диатомовых водорослей ($p < 0.05$; $n = 10$).

Показатели фитопланктона	Ранние наблюдения (1996–2010 гг.)		Современные наблюдения (2022-2023)	
	$M \pm m$	<u>Min</u> max	$M \pm m$	<u>Min</u> max
$N_{\text{общая}}$ (тыс.кл./л)	1016.1±437.98	<u>5</u> 2930	7134.4±1097.14	<u>4637.5</u> 9987.5
$N_{\text{цианобактерии}}$ (тыс.кл./л)	456.4±417.80	<u>2.5</u> 2125	4239.1±752.73	<u>2006.3</u> 5287.5
$N_{\text{зеленые}}$ (тыс.кл./л)	95.3±25.58	<u>29</u> 167.5	617.2±28.11	<u>562.5</u> 668.8
$N_{\text{эвгленовые}}$ (тыс.кл./л)	8.8±1.25	<u>7.5</u> 10	51.6±11.52	<u>25</u> 81.3
$V_{\text{общая}}$ (мг/л)	0.729±0.24	<u>0.013</u> 1.618	3.685±1.25	<u>1.662</u> 7.210
$V_{\text{цианобактерии}}$ (мг/л)	0.016±0.01	<u>0.0002</u> 0.03	0.033±0.01	<u>0.013</u> 0.048
$V_{\text{диатомовые}}$ (мг/л)	0.512±0.22	<u>0.011</u> 1.548	1.157±0.3	<u>0.564</u> 1.730

Доминирующие виды зоопланктона

- *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863),
- *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857)
- *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863),
- *Daphnia cristata* Sars, 1862
- *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879).
Значительная доля коловраток
Synchaeta, *Asplanchna*, *Conochilus*.



*Kellicottia
longispina*
(Kellicott, 1879)
Фото М.Т. Сярки

Количественные показатели зоопланктона

- Численность около 20 тыс. экз./м³
- Биомасса до 1 г/м³



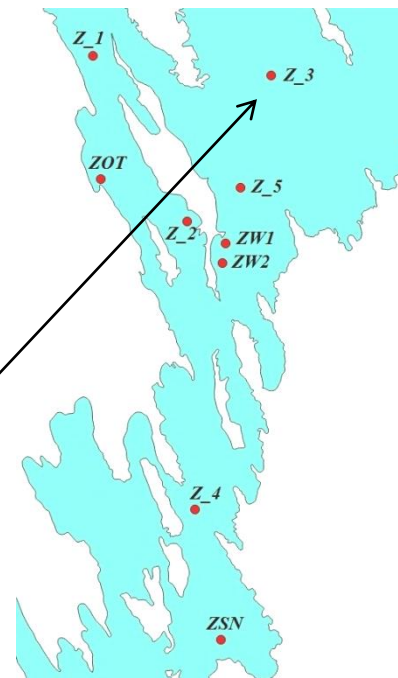
Daphnia cristata Sars, 1862
Фото М.Т. Сярки

Доминирующие группы макрозообентоса

- Обнаружены 20 таксономические единицы макрозообентоса
- Самыми распространенными видами малощетинковых червей стали эвритопные виды *Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri*
- Из личинок хирономид в районе исследования преобладает по частоте встречаемости и биомассе эвритопный род *Chironomus* sp.
- Амфиподы в период наблюдения были представлены только одним видом *Monoporeia affinis* (Lindström, 1855), который был отмечен на более глубокой станции Z_3.

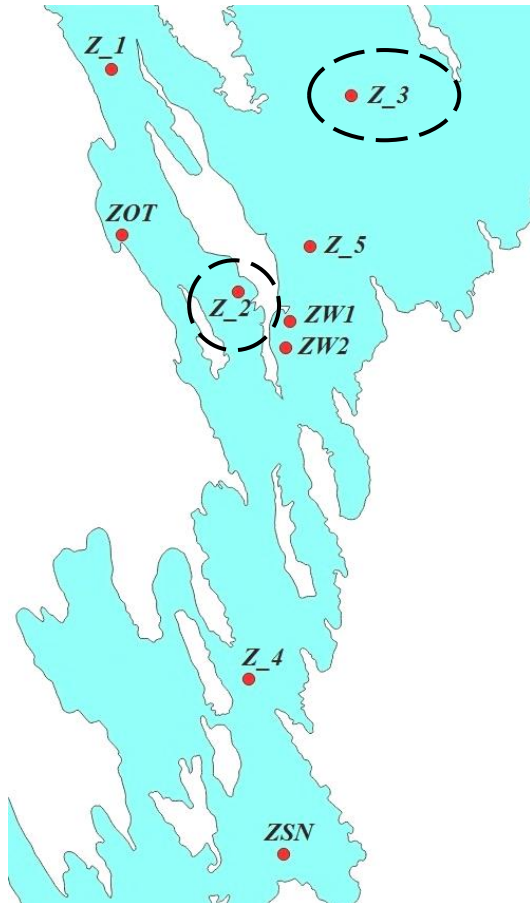


Chironomus sp.



Количественные показатели макрозообентоса

Средняя численность бентоса на станции Z_2 составила 0.51 ± 0.18 тыс. экз./м²,
на Z_3 – 0.63 ± 0.19 тыс. экз./м²



Средняя биомасса составила 2.41 ± 1.27 г/м² и
 1.99 ± 0.86 г/м² соответственно.



Monoporeia affinis
(Lindström, 1855)

Выводы

- Оценка санитарного состояния района исследования показала, что рекреационная деятельность возле островов ограничена районами исследований. Отмечается вероятность присутствия патогенных организмов
- Развитие бактериопланктона свидетельствует о мезо-эвтрофном состоянии акватории
- Об увеличении антропогенной нагрузки от водного транспорта, туризма и рекреации служат признаки начала перестройки структуры альгоценоза района Кижских шхер, о которых можно судить по увеличению численности цианобактерий, одним из главных индикаторов процесса эвтрофирования водоемов, а также зеленых и эвгленовых водорослей.
- Состояние экосистемы в период исследования характеризовалось, как мезо-эвтрофное

Выводы

- Доминантный комплекс зоопланктона Кижских шхер составляют широко распространенные в Онежском озере представители северной фауны (*Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) и др.
- Значения биомассы соответствовали олиготрофному типу экосистемы. Количественные показатели находились в пределах сезонной и межгодовой изменчивости.
- В доминирующем комплексе макрозообентоса профундали преобладали эврибионтные формы: хирономиды (*Chironomus* sp.) и малощетинковые черви (*Tubifex tubifex* (Müller, 1774) и *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862).
- Амфиподы в период наблюдения были представлены только одним видом *Monoporeia affinis* (Lindström, 1855).



Thank you for your attention!
Благодарю за внимание!

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-20018