



научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<https://ecopri.ru>



<https://petrsu.ru>

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<https://ecopri.ru>

№ 4 (38). Декабрь, 2020

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

**Редакционная
коллегия**

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugolek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: ecopri@petrsu.ru

<https://ecopri.ru>





УДК 591.524.12

РАЗВИТИЕ ПЛАНКТОННЫХ БИОЦЕНОЗОВ ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ГИДРОТЕРМАЛИ ВОДОЕМОВ- ОХЛАДИТЕЛЕЙ

ТАШЛЫКОВА
Наталия
Александровна

к. б. н., Институт природных ресурсов, экологии и
криологии СО РАН (672002, г. Чита, а/я 1032),
NatTash2005@yandex.ru

АФОИНА
Екатерина Юрьевна

к. б. н., Институт природных ресурсов, экологии и
криологии СО РАН (672002, г. Чита, а/я 1032),
kataf@mail.ru

Ключевые

слова: планктон,
литораль,
антропогенная
гидротермаль,
водоем-
охладитель

Получена:

23 января 2020
года

Подписана к печати:

26 декабря 2020
года

Аннотация. Наиболее заметным изменением водной среды в результате воздействия работы электростанции является увеличение температуры воды. Любые участки, непосредственно испытывающие влияние сброса подогретых вод, можно рассматривать в качестве своеобразных антропогенных гидротермалей. Изучение взаимосвязи абиотических и биотических параметров таких экстремальных экосистем важно для понимания биологической эффективности экосистем гидротехнических сооружений и факторов изменения трофического статуса. В данной статье приводится анализ взаимосвязи факторов окружающей среды гидротермальной зоны и основных характеристик популяции планктона в водохранилище Харанорской ГРЭС и озере-охладителе Читинской ТЭЦ Кенон. Основными факторами, обуславливающими развитие планктонных биоценозов литоральной зоны антропогенной гидротермальной озера Кенон, являются (по убыванию значимости) электропроводность, pH, общее содержание растворенных веществ и температура; в Харанорском водохранилище – температура, прозрачность, содержание нитратов и растворенного кислорода. Наиболее чувствительны к воздействию факторов среды в озере Кенон цианобактерии и кладоцеры, в Харанорском водохранилище – желтозеленые водоросли, коловратки и копеподы.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Влияние электростанций различного типа на водные экосистемы, на которых они расположены, многосторонне (Безносков и др., 2002; Токарева, 2004; Poornima et al., 2005; Zębek, 2013; Лунева, 2014; Ponomareva et al., 2016; Korotkova et al., 2018). Наиболее выраженным изменением водной среды в результате воздействия работы энергетических станций является увеличение температуры воды. Изучение участков, непосредственно испытывающих влияние сброса подогретых вод, позволило выделить несколько зон, границы которых определяются по градиенту температуры (Суздалева,

2000). Для таких участков В. Н. Безносовым с соавторами (2001, 2002) было предложено понятие «антропогенная гидротермаль». Под данным термином понимают искусственно подогреваемый участок водоема, используемый объектами гидроэнергетики. В этих специфических экосистемах основной антропогенный фактор – температура сбросных вод. Этот экзогенный постоянно действующий параметр является структурирующим, т. к. обуславливает сезонную смену видов и их пространственное распределение, определяя скорость протекания жизненных процессов гидробионтов, а также характер воздействия других факторов среды (Суздаева, 2000; Лунева, 2014). Примером антропогенной гидротермальной территории Забайкальского края служат водохранилище-охладитель Харанорской ГРЭС (N 50°51'12", E 115°40'41") и озеро-охладитель Читинской ТЭЦ Кенон (N 52°2'20", E 113°22'52") (рис. 1).

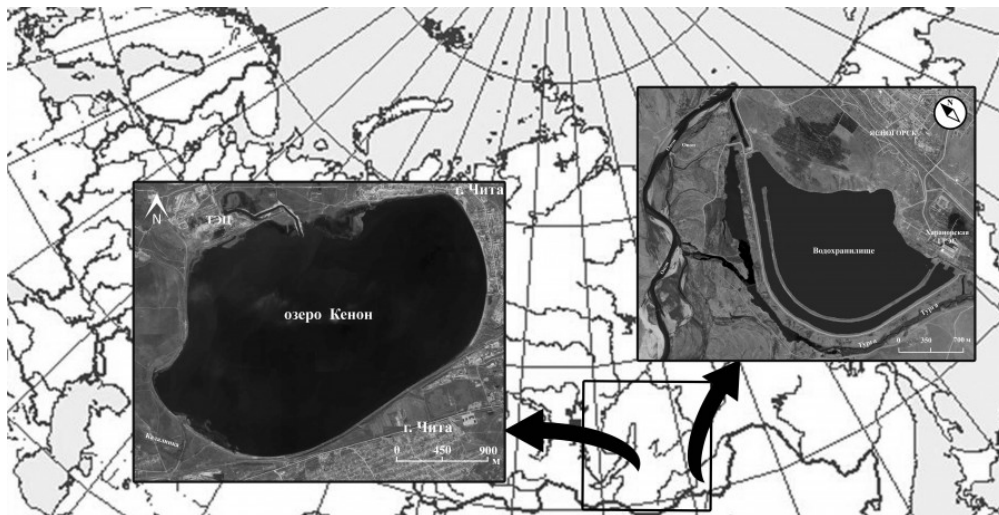


Рис. 1. Карта-схема водоемов с антропогенной гидротермальной на территории Забайкальского края

Fig. 1. Map-scheme of reservoirs with anthropogenic hydrothermal conditions in the Trans-Baikal Territory

Цель работы – определение взаимосвязи между факторами среды литорали гидротермальной зоны и основными характеристиками планктона водоемов-охладителей – Харанорского водохранилища и озера Кенон.

Бессточное озеро Кенон расположено в Читино-Ингодинской впадине, в западной части города Читы. Оно относится к бассейну реки Ингода. Площадь поверхности 16.2 км², длина 5.7 км, средняя ширина 2.8 км, максимальная глубина около 6.8 м. Объем водной массы – 77 млн м³. В озеро впадают на западе река Кадала, на севере – ручей Ивановский, берущие начало с Яблонового хребта.

Озеро Кенон включено в технологическую схему Читинской теплоэлектроцентрали. Техническое водоснабжение выполнено по прямоточно-оборотной схеме. Вода на теплоэлектроцентрали поступает из северной части водоема по подводящему каналу длиной около 500 метров. Интенсивность внутреннего водообмена составляет до 4 раз в год. В целях обеспечения нормального водоснабжения теплоэлектростанции производится периодическая перекачка в него воды из реки Ингода (до 15–16 млн м³/год), тем самым сохраняется абсолютная отметка уровня 653 м. Объем выбрасываемых теплых вод составляет более 109 млн м³/год (Экология..., 1998) (рис. 2).

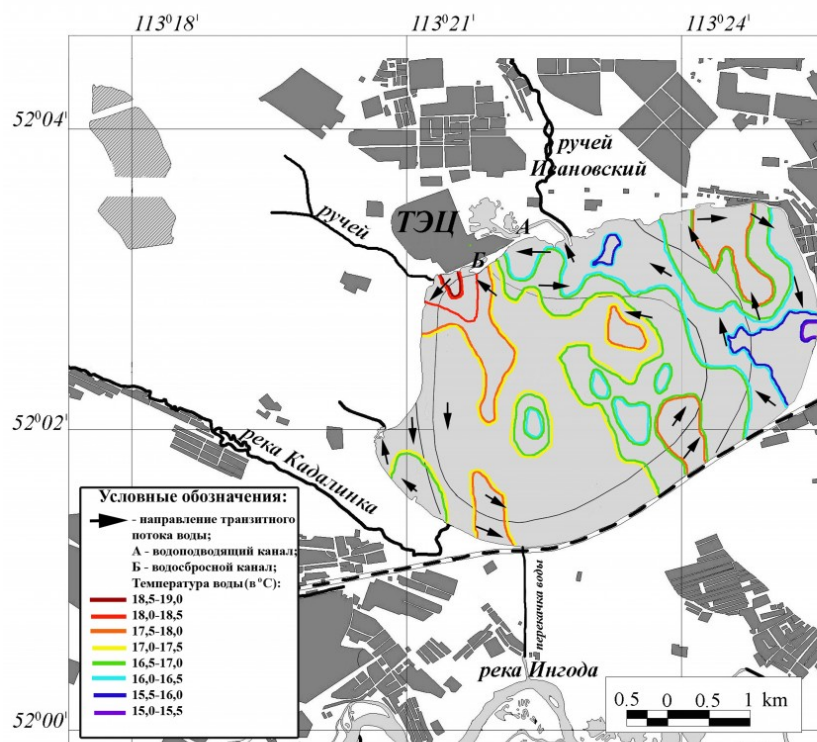


Рис. 2. Карта-схема оз. Кенон и изменения температуры поверхностного слоя воды в августе (карта-схема построена по материалам работы: Экология..., 1998)
 Fig. 2. Map-scheme of Kenon Lake and changes in surface water temperature in August (schematic map is given on the material of the work: Ecology..., 1998)

Пруд-охладитель Харанорской ГРЭС – наливное равнинное водохранилище пойменно-долинного типа сезонного регулирования. Площадь водного зеркала при нормальном подпорном уровне (574 м. б. с.) – 4.1 км², объем водной массы – 15.6 млн м³, средняя глубина – 3.8 м. Заполнение и подпитка водохранилища в период открытой воды происходит за счет подачи воды из р. Онон по водоподводящему каналу, в период ледостава – из дренажного канала (рис. 3). Система технического водоснабжения энергетической станции смешанная (прямоточно-оборотная) летом и полностью оборотная зимой. Круговая схема циркуляции потока водной массы обуславливает высокую интенсивность внутреннего водообмена (до 35 раз в год) (Афонин и др., 2014).



Рис. 3. Карта-схема пруда-охладителя Харанорской ГРЭС и изменения температуры поверхностного слоя воды в июле (карта-схема построена по материалам работы: Водоем-охладитель..., 2005)

Fig. 3. Map-scheme of the cooling pond Kharanorskaya RPS and changes in the temperature of the surface water layer in July (the schematic map is based on the materials of the work: The cooling pond..., 2005)

Материалы

Сбор полевого материала осуществляли в оз. Кенон в марте, мае – сентябре и декабре 2012–2013 гг. В Харанорском водохранилище отбор проб осуществляли в сентябре и октябре 2012 г. и в феврале, апреле, июне, августе, сентябре и октябре 2013 г. Количество станций, их координаты и число отобранных на станциях проб приведены в табл. 1 и 2.

Всего в 2012–2013 гг. было отобрано: в оз. Кенон – 396 планктонных проб, в Харанорском водохранилище – 312 планктонных проб.

Таблица 1. Координаты станций и количество проб, отобранных в озере Кенон в 2012–2013 гг.

№ станции		Координаты	Число проб	
			2012 г.	2013 г.
			фито / зоо	фито / зоо
Термальная зона	1	N 52°3'2"; E 113°21'26"	7 / 7	7 / 7
	2	N 52°3'0"; E 113°21'18"	7 / 7	7 / 7
	3	N 52°2'56"; E 113°21'20"	7 / 7	7 / 7
	4	N 52°2'50"; E 113°21'15"	7 / 7	7 / 7
	5	N 52°2'36"; E 113°21'18"	7 / 7	7 / 7
Фон	6	N 52°3'24"; E 113°23'58"	14 / 7	7 / 7
	7	N 52°2'17"; E 113°22'59"	21 / 7	7 / 7
	8	N 52°2'18"; E 113°22'23"	14 / 7	7 / 7
	9	N 52°2'38"; E 113°35'19"	7 / 7	7 / 7

Примечание (здесь и далее). Фито – фитопланктон, зоо – зоопланктон.

Таблица 2. Координаты станций и количество проб, отобранных в Харанорском

водохранилище в 2012–2013 гг.

№ станции		Координаты	Число проб	
			2012 г.	2013 г.
			фито / зоо	фито / зоо
Фон	1	N 50°52'6"; E 115°39'32"	4 / 2	12 / 6
	2	N 50°51'52"; E 115°39'42"	4 / 2	12 / 6
	3	N 50°51'37"; E 115°40'17"	4 / 2	12 / 6
	4	N 50°51'36"; E 115°41'18"	4 / 2	12 / 6
	5	N 50°50'58"; E 115°41'51"	4 / 2	12 / 6
	6	N 50°50'37"; E 115°40'37"	4 / 2	12 / 6
	7	N 50°51'36"; E 115°39'43"	4 / 2	12 / 6
	8	N 50°51'56"; E 115°39'26"	4 / 2	12 / 6
Термальная зона	9	N 50°51'18"; E 115°40'40"	4 / 2	12 / 6
	10	N 50°51'1"; E 115°40'9"	4 / 2	12 / 6
	11	N 50°51'6"; E 115°41'9"	4 / 2	12 / 6
	12	N 50°51'6"; E 115°41'41"	4 / 2	12 / 6
	13	N 50°50'43"; E 115°40'52"	4 / 2	12 / 6

Фитопланктонные пробы отбирали с поверхностных и придонных слоев воды при помощи батометра Паталаса. Облов зоопланктона проводили тотальной сетью Джели (диаметр ячеек сита 0.064 мм). Материал фиксировали: фитопланктон – раствором Люголя, зоопланктон – 4 % раствором формальдегида. Пробы обрабатывали согласно стандартным гидробиологическим методам (Методические рекомендации..., 1982; Садчиков, 2003). Биомассу фитопланктона определяли по объему отдельных клеток или колоний водорослей (Садчиков, 2003). Классификация таксонов и синонимия каждой группы водорослей приведены по альгологическому сайту AlgaeBase (Guiry et al., 2019). Данные по биомассе зоопланктона получали путем определения индивидуальной массы организмов с учетом их размера (Ruttner-Kolisko, 1977; Балущкина и др., 1979).

В оз. Кенон одновременно с отбором планктонных проб с помощью многопараметрического портативного анализатора качества вод GPS-AQVAMETER (Aquahead, Великобритания) проводили измерения абиотических параметров среды (минерализация (TDS), содержание кислорода (O_2), pH, температура воды (T), окислительно-восстановительный потенциал (ORP), электропроводность (E), мутность (TUR)). В обоих водоемах глубину (H) измеряли с помощью лота, прозрачность воды (TR) определяли стандартным диском Секки. Параллельно в озере и водохранилище отбирали пробы для определения содержания биогенных (общий фосфор (P_{tot}), фосфаты (PO_4), нитраты (NO_3), нитриты (NO_2), аммоний (NH_4)), органических и минеральных веществ (COD). В Харанорском водохранилище также проводили сбор материала для определения содержания кремния (Si), кальция (Ca^{2+}), железа (Fe_{tot}), меди (Cu^{2+}), хлорид-ионов (Cl^{-}), сульфат-ионов (SO_4^{2-}), фторид-ионов (F^{-}), нефтепродуктов (Oil) и анионоактивных синтетических поверхностно-активных веществ (ASPAV). Кроме того, оценивали биохимическое потребление кислорода (BPK₅, BPK₂₀), окисляемость ([O]), цветность (Col), взвешенные вещества (SS) и общую жесткость (TS). Химический анализ проб воды, отобранных в оз. Кенон, осуществлялся сотрудниками лаборатории водных экосистем (Kuklin et al., 2016; Бутенко и др., 2017), а проб воды Харанорского водохранилища – сотрудниками

промышленно-санитарной лаборатории филиала «Харанорская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация».

Методы

Полученные данные были подвергнуты статистической и математической обработке с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010 и надстройки для программы Microsoft Excel XLSTAT (Addinsoft, США).

В статистический анализ включены результаты, полученные при обработке 234 проб фитопланктона и 162 проб зоопланктона (для оз. Кенон) и 208 проб фитопланктона и 104 проб зоопланктона (для Харанорского водохранилища). Для изучения взаимосвязей структурных характеристик планктона и абиотических факторов среды применяли метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA). Нормирование данных проводили по делению исходных данных на среднееквадратичное отклонение соответствующих переменных (Шипунов и др., 2014). Абсолютное значение нагрузки выше 0.60 принимали за существенную связь.

Взаимосвязь между температурой и другими абиотическими параметрами была проанализирована с использованием ранговой корреляции Спирмена (r), т. к. данный метод более универсален и не требует обязательного нормального распределения анализируемых данных. Коэффициент корреляции считали значимым при уровне достоверности (p) менее 0.05.

Результаты

Планктонные биоценозы литорали гидротермальной зоны озера-охладителя Кенон

Основные характеристики абиотических параметров оз. Кенон, полученные при проведении работ в 2012–2013 гг., приведены в табл. 3.

Таблица 3. Основные статистические характеристики абиотических параметров вод оз. Кенон

Параметры, ед. измерения	Статистический показатель			
	минимум	максимум	среднее значение	стандартное отклонение
Глубина, м	3.400	5.500	3.756	0.273
Прозрачность, м	1.700	4.000	3.200	0.719
Температура, °C	5.000	27.700	19.711	6.772
pH	8.650	9.570	9.145	0.354
Минерализация, мг/л	406.000	659.000	576.500	78.997
Мутность, NTU	3.100	31.700	11.600	17.476
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	15.100	250.900	159.480	93.569
Электропроводность, мкСм/см	626.000	1014.000	858.000	144.161
Содержание:				
*P _{tot} , мг/л	0.001	0.095	0.027	0.030
*NH ₄ ⁺ , мг/л	0.001	0.660	0.172	0.209
*NO ₃ ⁻ , мг/л	0.001	0.032	0.014	0.012
*NO ₂ ⁻ , мг/л	0.001	0.012	0.006	0.004

*PO ₄ ³⁻ , мг/л	0.002	0.058	0.022	0.018
*COD, мг/л	6.700	31.090	18.716	8.029

Примечание. * – данные приведены по материалам работы: Бутенко, Цибекмитова, 2017

Глубина в термальной зоне составляла 3.4–4.1 м, прозрачность – 1.7–4.0 м. Низкая прозрачность отмечалась в августе – сентябре. Наибольшая температура поверхностного слоя воды наблюдалась в летний сезон с пиком в июле, наименьшая – в период ледостава на озере. Изменение температуры воды по глубине составляло 1.0–8.8 °С. Температура воды в термальной зоне была теплее на 3.2–9.8 °С по сравнению с остальной частью озера. При корреляционном анализе неусредненных данных для двух лет наблюдения были получены положительные взаимосвязи температуры воды с прозрачностью ($r = 0.52, p = 0.02$) и глубиной ($r = 0.66, p = 0.001$). Других значимых корреляций между температурой и абиотическими параметрами среды гидротермальной зоны не выявлено.

В составе планктона термальной зоны оз. Кенон зарегистрировано 85 таксонов водорослей (Cyanobacteria – 4, Chrysophyta – 4, Bacillariophyta – 35, Dinophyta – 2, Chlorophyta – 34, Charophyta – 5, Euglenophyta – 1) и 38 видов беспозвоночных (Rotifera – 17, Cladocera – 12, Copepoda – 9) (Афонина и др., 2017а, б). Сезонная динамика численности и биомассы водорослей и беспозвоночных планктона в термальной зоны оз. Кенон характеризовалась одновершинной кривой с летним пиком (август – для фитопланктона, июль – август – для зоопланктона) (рис. 4).

В ранневесеннем планктоне термальной зоны вегетировали зеленые водоросли (*Tetraëdron minimum* (A. Braun) Hansgirg, *Monoraphidium komarkovae* Nygaard), они составляли 40–100 % от общей численности. Им сопутствовали золотистые водоросли (*Chrysococcus rufescens* Klebs, *Pseudokephyrion conicum* Schiller), доля которых могла составлять до 40 % всей численности фитопланктона. Поздней весной и в начале лета доминировали диатомовые водоросли (*Asterionella formosa* Hassall, *Lindavia comta* (Kützinger) Nakov, Gullory, Julius, Theriot & Alverson), составляющие до 60–70 %. Активно также развивались мелкоклеточные хлорококковые зеленые водоросли (*T. minimum*, *Lemmermannia komarekii* (Hindák) C. Bock & Krienitz in Bock et al., *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson in Brébisson & Godey, *M. komarkovae*) – 40–60 % от общего количества фитопланктона. В сезон наибольшего прогрева воды в альгоценозе отмечалось интенсивное развитие всех групп водорослей. Общий фон создавался цианобактериями (*Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák, *Gloeocapsa* sp. и *Dolichospermum flosaquae* (Brébisson ex Bornet & Flahault) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek), зелеными (*T. minimum*, *Oocystis submarina* Lagerheim) и динофитовыми водорослями (*Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin и *Peridinium* sp.) – 80 %. Осенью и зимой преобладали диатомеи (*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *A. formosa*), составляя до 70–90 %.

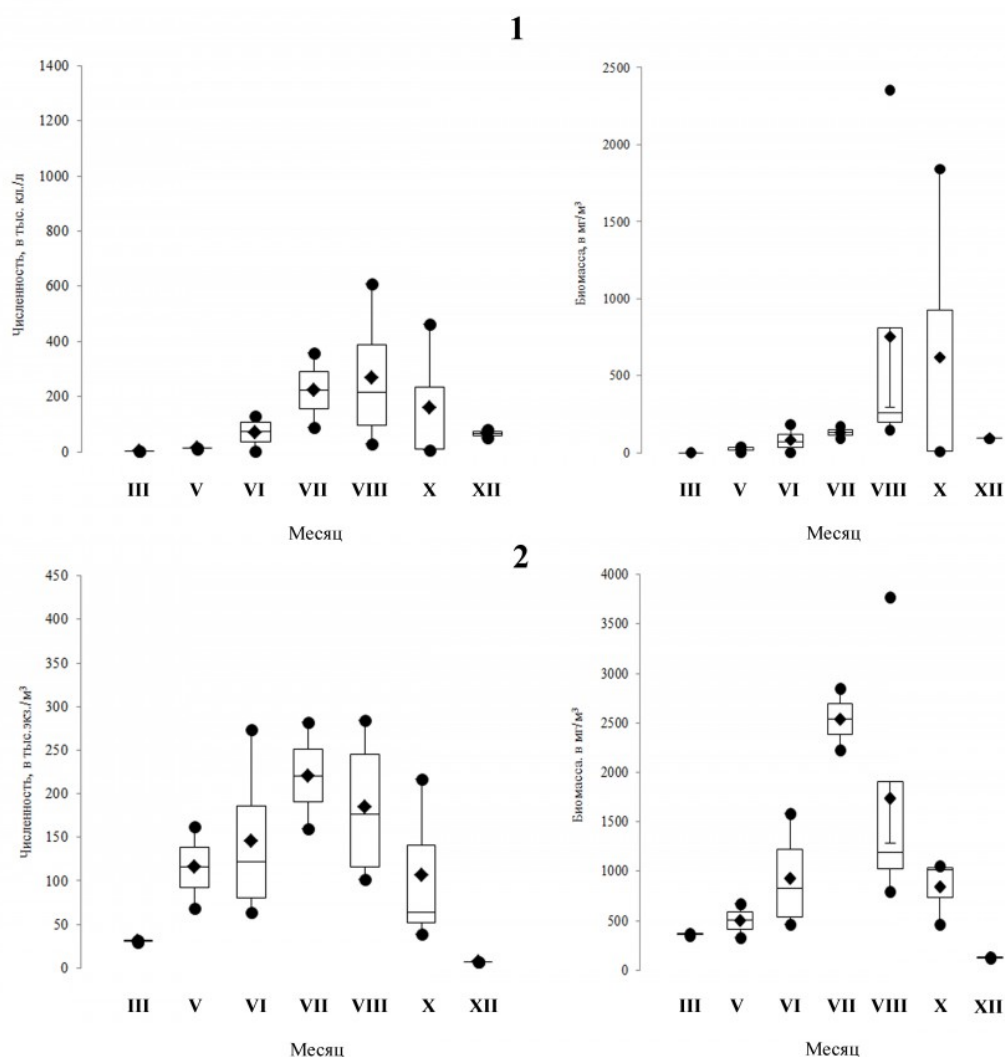


Рис. 4. Сезонная динамика численности и биомассы фитопланктона (1) и зоопланктона (2) в термальной зоне оз. Кенон в 2012–2013 гг.

Fig. 4. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of phytoplankton (1) and zooplankton (2) in the thermal zone of Lake Kenon in 2012–2013

Основу весеннего и раннелетнего зоопланктона формировали ювенильные стадии копепод (*Cyclops vicinus* Uljanin) (25–37 % всей численности) и коловратки. Из них в разные годы в состав доминантов входили: *Conochilus unicornis* Rousselet (58 %), *Filinia longiseta* (Ehrenberg) (21–44 %), *Keratella cochlearis* (Gosse) (28 %), *Polyarthra remata* Skorikov (26–34 %), *Synchaeta stylata* Wierzejski (25 %), *Keratella quadrata* (Müller) (16–28 %). В это же время отмечалось массовое отрождение молоди ракообразных (*Thermocyclops crassus* (Fischer), *Mesocyclops leuckarti* Claus и *Bosmina longirostris* (Müller)). Летом регистрировалось наибольшее разнообразие и обилие зоопланктеров. Лидирующее положение принадлежало мелким ракообразным (*T. crassus* – 23–50 %, *Cerodaphnia quadrangula* (Müller) – 26–58 %), которые продолжали превалировать и в осеннем планктоне, образуя суммарно до 70–80 % общей численности. В отдельные годы раковый комплекс разбавлялся коловратками (*Synchaeta oblonga* Ehrenberg (44 %), *K. quadrata* (27 %)).

Для выявления влияния ведущих факторов, определяющих изменение структурных показателей фито- и зоопланктона в термальной зоне оз. Кенон, на основании данных 2012–2013 гг. был проведен факторный анализ методом главных компонент. При рассмотрении результатов были отобраны первые три компонента, объясняющие в сумме 72.02 % дисперсии (табл. 4).

Величины факторных нагрузок представляют собой коэффициенты корреляции

исходных параметров с выделенными главными компонентами (табл. 5).

Таблица 4. Результаты компонентного анализа массива данных для оз. Кенон

Главные компоненты	Собственные числа	Доля дисперсии (%)	Суммарная накопленная дисперсия (%)
1	16.42	42.02	42.01
2	9.37	17.31	59.32
3	7.55	12.7	72.02
4	6.13	10.92	82.94
5	5.72	6.81	89.75
6	4.39	4.5	94.25
7	1.19	2.91	97.16
8	0.6	1.73	98.89
9	0.31	0.82	99.71
10	0.01	0.28	100

Таблица 5. Факторные нагрузки абиотических параметров для выделенных главных компонент антропогенной гидротермальной озера Кенон

Параметр	Факторы		
	1	2	3
H	0.54	0.268	0.117
T	0.68	0.299	0.013
pH	0.08	0.068	0.774
TDS	0.09	0.079	0.757
ORP	0.24	0.247	0.728
O ₂	0.08	0.167	0.661
E	0.21	0.259	0.805
P _{tot}	0.64	-0.175	0.115
PO ₄ ³⁻	0.64	-0.212	0.289
NO ₂ ¹⁻	0.63	-0.093	0.49
NO ₃ ¹⁻	0.522	-0.007	0.387
COD	0.466	-0.245	-0.396

Примечание (здесь и далее на рисунке). H – глубина, T – температура воды, pH – активный водородный показатель, TDS – общая минерализация, ORP – окислительно-восстановительный потенциал, O₂ – содержание кислорода, E – электропроводность, P_{tot} / PO₄³⁻ / NO₂¹⁻ / NO₃¹⁻ – содержание общего фосфора / фосфатов / нитритов / нитратов, COD – химическое потребление кислорода.

Первая главная компонента характеризуется невысокой положительной связью с температурой, общим фосфором, фосфатами и нитритами, определяя динамику сообществ планктона (структурные характеристики Cladocera (в частности, *C. quadrangula*) и общего фитопланктона (преимущественно Dinophyta и Chlorophyta)) (см.

табл. 5, рис. 5).

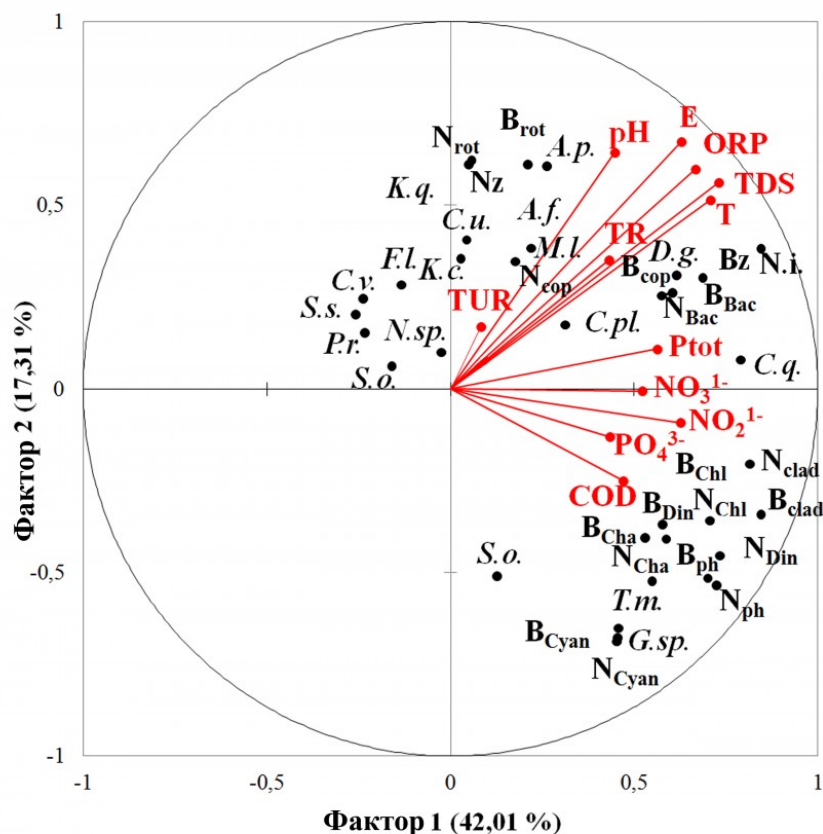


Рис. 5. Проекция векторов (глубина (H), прозрачность воды (TR), минерализация (TDS), pH, температура воды (T), окислительно-восстановительный потенциал (ORP), электропроводность (E), мутность (TUR), общий фосфор (P_{tot}), фосфаты (PO_4), нитраты (NO_3), нитриты (NO_2)), органических и минеральных веществ (COD)) на плоскостях двух – I и II – главных компонент.

n – число видов, N – численность, B – биомасса, ph – фитопланктон, Chl – Chlorophyta, Chr – Chrysophyta, Bac – Bacillariophyta, Din – Dinophyta, $Cyan$ – Cyanobacteria, Cha – Charophyta, Eug – Euglenophyta, численность таких видов, как *A. f.* – *Aphanizomenon flosaquae*, *G. sp.* – *Gloeocapsa sp.*, *C. pl.* – *Cocconeis placentula*, *T. m.* – *Tetraëdron minimum*, *S. s.* – *Schroederia setigera*, *S. o.* – *Scenedesmus obtusus*, z – зоопланктон, cop – Copepoda, $clad$ – Cladocera, rot – Rotifera, *P. r.* – *Polyarthra remata*, *S. o.* – *Synchaeta oblonga*, *A. p.* – *Asplanchna priodonta*, *K. q.* – *Keratella quadrata*, *K. c.* – *K. cochlearis*, *C. u.* – *Conochilus unicornis*, *F. l.* – *Filinia longiseta*, *D. g.* – *Daphnia galeata*, *C. q.* – *Ceriodaphnia quadrangula*, *N. i.* – *Neutrodiaptomus incongruens*, *C. v.* – *Cyclops vicinus*, *M. l.* – *Mesocyclops leuckarti*

Fig. 5. Vector projections (depth (H), water transparency (TR), salinity (TDS), pH, water temperature (T), redox potential (ORP), electrical conductivity (E), turbidity (TUR), total phosphorus (P_{tot}), phosphates (PO_4), nitrates (NO_3), nitrites (NO_2)), organic and mineral substances (COD)) on the planes of two main components – I and II.

n – number of species, N – abundance, B – biomass, ph – phytoplankton, Chl – Chlorophyta, Chr – Chrysophyta, Bac – Bacillariophyta, Din – Dinophyta, $Cyan$ – Cyanobacteria, Cha – Charophyta, Eug – Euglenophyta, the number of species such as *A. f.* – *Aphanizomenon flosaquae*, *G. sp.* – *Gloeocapsa sp.*, *C. pl.* – *Cocconeis placentula*, *T. m.* – *Tetraëdron minimum*, *S. s.* – *Schroederia setigera*, *S. o.* – *Scenedesmus obtusus*, z – zooplankton, cop – Copepoda, $clad$ – Cladocera, rot – Rotifera, *P. r.* – *Polyarthra remata*, *S. o.* – *Synchaeta oblonga*, *A. p.* – *Asplanchna priodonta*, *K. q.* – *Keratella quadrata*, *K. c.* – *K. cochlearis*.

cochlearis, C. u. – *Conochilus unicornis*, F. l. – *Filinia longiseta*, D. g. – *Daphnia galeata*, C. q. – *Ceriodaphnia quadrangula*, N. i. – *Neutrodiaptomus incongruens*, C. v. – *Cyclops vicinus*, M. l. – *Mesocyclops leuckarti*

Для второй компоненты высоких существенных связей с абиотическими параметрами среды не получено (см. табл. 5). Согласно рис. 5, отрицательные факторные нагрузки определяются количественными показателями *Cyanobacteria* (в частности, *Gloeocapsa* sp.), положительные – общей численностью зоопланктона (в частности, *B. longirostris*).

Третья компонента характеризуется существенной положительной связью с электропроводностью, pH, минерализацией, окислительно-восстановительным потенциалом и температурой воды, которые связаны с численностью *Cyanobacteria* (в частности, *A. flosaquae*) (см. табл. 5, рис. 5).

Планктонные биоценозы литорали гидротермальной зоны Харанорского водохранилища

Основные характеристики абиотических параметров Харанорского водохранилища, полученные при проведении работ в 2012–2013 гг., приведены в табл. 6.

Таблица 6. Основные статистические характеристики абиотических параметров вод Харанорского водохранилища

Параметры, ед. измерения	Статистический показатель			
	минимум	максимум	среднее значение	стандартное отклонение
Глубина, м	5.000	6.000	5.650	0.418
Прозрачность, м	0.800	2.400	1.517	0.674
Температура (поверхность), °C	2.900	25.800	13.150	9.472
Температура (дно), °C	2.800	23.400	11.600	8.383
pH	7.300	8.500	7.767	0.427
Окисляемость, мг O ₂ /л	4.000	12.160	5.840	3.128
БПК ₅ , мг O ₂ /л	1.180	6.610	2.667	1.966
БПК ₂₀ , мг O ₂ /л	1.690	9.450	3.643	2.906
Общая жесткость, мг экв/л	2.500	3.300	2.833	0.294
Цветность, °	10.000	20.000	12.500	4.183
Содержание:				
Fe _{tot} , мг/л	0.070	0.340	0.187	0.111
Si, мг/л	0.003	6.130	2.871	2.306
Cu ²⁺ , мг/л	0.001	0.003	0.002	0.001
Ca ²⁺ , мг/л	28.060	44.090	36.183	5.905
Mg ²⁺ , мг/л	9.730	15.810	12.567	2.131
NH ₄ ⁺ , мг/л	0.150	19.310	3.512	7.742
NO ₃ ⁻ , мг/л	0.070	0.280	0.145	0.090
NO ₂ ⁻ , мг/л	0.002	0.280	0.054	0.111

Cl ⁻ , мг/л	6.050	31.620	12.415	9.705
SO ₄ ²⁻ , мг/л	21.100	67.200	40.658	15.671
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0.020	1.710	0.327	0.678
F ⁻ , мг/л	0.040	0.300	0.168	0.098
взвешенные вещества, мг/л	4.000	46.000	14.833	15.626
кислорода, мг/л	5.040	11.090	8.657	2.480
нефтепродуктов, мг/л	0.008	0.009	0.002	0.004
анионоактивных синтетических поверхностно-активных веществ, мг/л	0.167	0.170	0.030	0.069

Глубина в месте отбора проб составляла 2.1–2.8 м, прозрачность – 0.8–2.2 м. Низкая прозрачность отмечалась в августе. Степень прогрева толщи воды в термальной зоне в разные сезоны года была неодинакова. Разница температуры воды между термальной зоной и фоновым участком составила 3.8–8.5 °С для поверхностных слоев воды и 1.6–6.8 °С – для придонных. На фоновом участке верхние горизонты воды были теплее нижних на 0.1–3.3 °С, в термальной зоне – на 0.2–5.4 °С. Отмечена обратная корреляция температуры поверхностного и придонного слоев воды с прозрачностью ($r = -0.965, p = 0.008$ – для температуры поверхности и $r = -0.949, p = 0.014$ – для температуры дна), а также с содержанием нитратов ($r = -0.947, p = 0.015$; $r = -0.918, p = 0.028$). Других значимых корреляций между температурой и абиотическими параметрами среды гидротермальной зоны водохранилища не установлено.

В составе планктона термальной зоны водохранилища выявлено 40 видов, разновидностей и форм планктонных водорослей и 25 таксонов беспозвоночных. В систематическом отношении в фитопланктоне доминировали зеленые, диатомовые и золотистые водоросли (80 % от общего числа таксонов), в зоопланктоне – коловратки (более 40 %). В планктоне преобладали широко распространенные организмы, которые составляли немногим более 70 % от общего числа отмеченных таксонов, на долю голарктов и палеарктов приходилось около 30 % (Афонин и др., 2014).

Состав доминирующего комплекса носил сезонный характер. Для подледного планктона было характерно более раннее и обильное развитие хризифитовой водоросли *Chrysococcus cystophorus* Skuja и младшевозрастных стадий *Cyclops vicinus* Uljanin (73–83 % от общей численности растительного и животного планктона). В июне основными компонентами сообщества в фитопланктоне являлись цианобактерии (*Aphanizomenon flosaqua* Ralfs ex Bornet & Flahault, виды рода *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont), зеленые (виды рода *Pediastrum* Meyen, *Scenedesmus* Meyen, *Monoraphidium* Komárková-Legnerová) и диатомовые водоросли (*Synedra acus* var. *radians* (Kützinger) Hustedt, виды рода *Aulacoseira* Thwaites), составлявшие в совокупности 95 % от общей численности. В зоопланктоне в этот период обильно развивались коловратка *Kellicottia longispina* (Kellicott) (86 % от общей численности) и представители веслоногих ракообразных, на долю которых приходилось более 70 % от общей биомассы. В период максимального прогрева вод в толще вод происходило резкое сокращение видового разнообразия альгосообществ и понижение численности беспозвоночных, что, по всей вероятности, обусловлено максимальными значениями температурного показателя и низкими значениями содержания кислорода в этот период. Среди водорослей в массе вегетировала цианобактерия *A. flos-aqua* (92 % от общей численности), у беспозвоночных – мелкие формы зоопланктеров: ювенильные стадии *Thermocyclops crassus* (Fischer) (54 % по численности и 58 % по биомассе) и молодь *Bosmina longirostris* (O. F. Müller) (43 % и 40 % соответственно). С осенним понижением температуры воды в

фитопланктоне продолжили свое развитие цианеи, имеющие более высокий температурный оптимум в водоемах умеренных широт, однако их численность снижалась до 50 % от общего количества водорослей. Возросла доля зеленых водорослей (до 35 %). В зоопланктоценозе преобладали половозрелые особи *B. longirostris*, формирующие 60 % всей численности и 67 % всей биомассы.

Изменение численности и биомассы водорослей и беспозвоночных планктона в литоральной зоне антропогенной гидротермальной в 2013 г. приведено в табл. 7.

Таблица 7. Изменение количественных характеристик планктона антропогенной гидротермальной Харанорского водохранилища в 2013 г.

Месяц отбора	Фитопланктон			Зоопланктон		
	<i>N</i> , тыс. кл./л	<i>B</i> , мг/м ³	число видов	<i>N</i> , тыс. экз./м ³	<i>B</i> , мг/м ³	число видов
Февраль	80.98	46.83	28	8.42	208.72	4
Апрель	819.59	551.3	29	48.72	182.99	9
Июнь	171.54	395.71	40	652.24	1430.4	10
Август	1208.91	244.35	20	182.5	1635.29	12
Октябрь	50.54	18.86	32	101.72	1101.36	6

Примечание. *N* – численность, *B* – биомасса.

Компонентный анализ переменных позволил выделить три компоненты, определяющие более 79 % дисперсии фактических данных (табл. 8). Доля остальных компонент в общей дисперсии незначительна.

Первая компонента характеризуется существенной положительной связью с прозрачностью, содержанием нитратов, фосфатов, кислорода и отрицательной связью с температурой, содержанием анионоактивных синтетических поверхностно-активных веществ и сульфатов, активным водородным показателем и окисляемостью (табл. 9), определяя структурные характеристики цианобактерий, харовых и эвгленовых водорослей, а также зоопланктона (в большей степени ветвистоусых и веслоногих ракообразных) (рис. 6).

Таблица 8. Результаты компонентного анализа массива данных для Харанорского водохранилища

Главные компоненты	Собственные числа	Доля дисперсии (%)	Суммарная накопленная дисперсия (%)
1	25.56	39.32	39.32
2	14.98	23.05	62.37
3	11.41	17.56	79.92
4	7.06	10.86	90.79
5	5.99	9.21	100

Таблица 9. Факторные нагрузки абиотических параметров для выделенных главных компонент Харанорского водохранилища

Параметр	Факторы		
	1	2	3
<i>H</i>	-0.419	0.138	0.798
<i>TR</i>	0.919	0.051	-0.052

T_s	-0.928	0.221	-0.156
T_b	-0.947	0.268	-0.024
Fe_{tot}	0.438	0.56	0.375
Si	-0.194	-0.845	-0.065
Cu^{2+}	0.438	-0.76	0.323
Ca^{2+}	0.195	-0.5	-0.829
Mg^{2+}	-0.14	-0.286	0.874
NH_4^{1+}	0.238	-0.032	0.764
NO_3^{1-}	0.917	-0.18	0.151
NO_2^{1-}	0.048	0.428	0.748
Cl^{1-}	-0.071	0.669	-0.302
SO_4^{2-}	-0.853	-0.234	-0.155
PO_4^{3-}	0.869	0.245	0.253
F^{1-}	0.031	0.478	0.061
pH	-0.766	-0.262	0.294
TS	0.062	-0.916	-0.057
O_2	0.913	0.316	-0.015
[O]	-0.899	-0.25	0.327
BOD_5	-0.586	0.302	0.735
BOD_{20}	-0.585	0.305	0.734
ASPAV	-0.916	-0.289	0.189
Oil	-0.287	0.526	-0.791
SS	-0.367	-0.08	0.45
Col	-0.669	-0.618	0.402

Примечание. Н – глубина, TR – прозрачность, T_s – температура поверхности, T_b – температура придонная, Fe_{tot} – содержание железа, Si / Cu^{2+} / Ca^{2+} / Mg^{2+} / NH_4^{1+} – содержание кремния / меди / кальция / магния / аммония, NO_3^{1-} / NO_2^{1-} / Cl^{1-} / SO_4^{2-} / F^{1-} – содержание нитратов / нитритов / хлоридов / сульфатов / фторидов, TS – общая жесткость, O_2 – содержание кислорода, [O] – окисляемость, BOD_5 – БПК₅, BOD_{20} – БПК₂₀, ASPAV – анионоактивные синтетические поверхностно-активные вещества, Oil – нефтепродукты, SS – взвешенные вещества, Col – цветность.

Вторая компонента проявляет высокую отрицательную связь с жесткостью, содержанием кремния, меди и положительную связь с хлорид-ионами. С ними положительную связь проявляют биомасса фитопланктона, а отрицательную – структурные характеристики зоопланктона (общая численность, биомасса, число видов) (см. табл. 9, рис. 6).

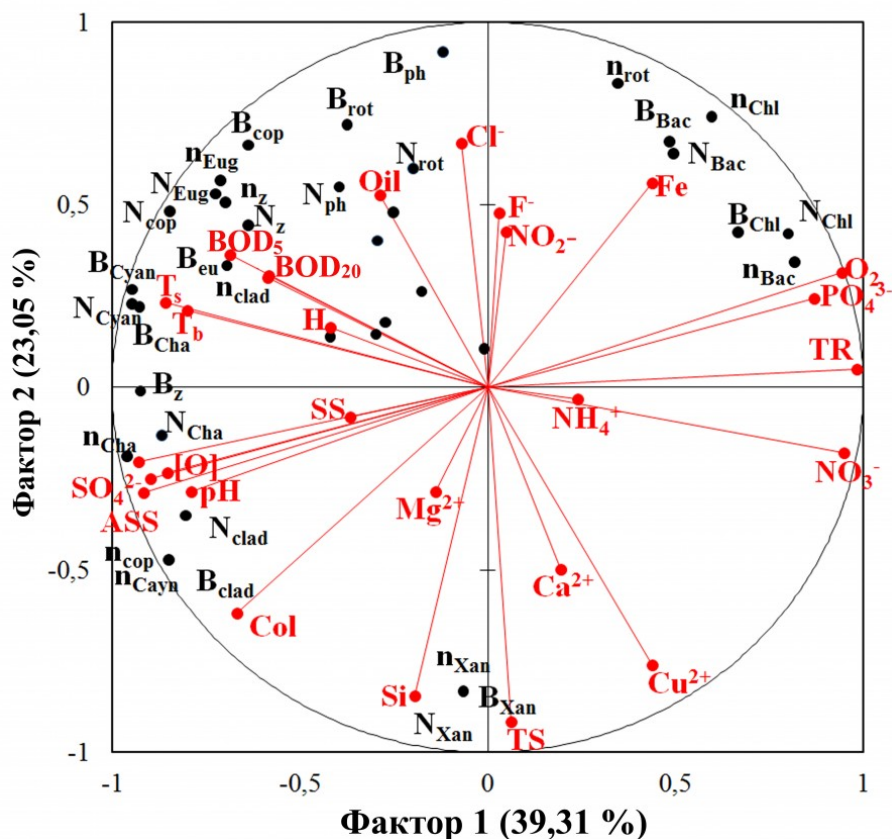


Рис. 6. Проекция векторов (глубина (H), прозрачность воды (TR), pH, температура воды (Ts (поверхность), Tb (дно)), мутность (TUR), фосфаты (PO₄), нитраты (NO₃), нитриты (NO₂), хлориды (Cl¹⁻), сульфаты (SO₄²⁻), фториды (F¹⁻), аммоний (NH₄¹⁺), кремний (Si), медь (Cu²⁺), кальций (Ca²⁺), магний (Mg²⁺), взвешенные вещества (SS), содержание кислорода (O₂), анионоактивные синтетические поверхностно-активные вещества (ASS), БПК₅ (BOD₅), БПК₂₀ (BOD₂₀), окисляемость ([O]), цветность (Col), общая жесткость (TS), нефтепродукты (Oil)) на плоскостях двух – I и II – главных компонент.

n – число видов, *N* – численность, *B* – биомасса, *ph* – фитопланктон, *Chl* – Chlorophyta, *Chr* – Chrysophyta, *Bac* – Bacillariophyta, *Din* – Dinophyta, *Xan* – Xantophyta, *Cyan* – Cyanobacteria, *Cha* – Charophyta, *Eug* – Euglenophyta, *z* – зоопланктон, *cop* – Copepoda, *clad* – Cladocera, *rot* – Rotifera

Fig. 6. Vector projections (depth (H), water transparency (TR), pH, water temperature (Ts (surface), Tb (bottom)), turbidity (TUR), phosphates (PO₄³⁻), nitrates (NO₃¹⁻), nitrites (NO₂¹⁻), chlorides (Cl¹⁻), sulfates (SO₄²⁻), fluorides (F¹⁻), ammonium (NH₄¹⁺), silicon (Si), copper (Cu²⁺), calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), suspended solids (SS), oxygen content (O₂), anionic synthetic surfactants (ASS), BPK₅ (BOD₅), BPK₂₀ (BOD₂₀), oxidizability ([O]), color (Col), total hardness (TS), oil products (Oil)) on the planes of two main components – I and II.

n – number of species, *N* – abundance, *B* – biomass, *ph* – phytoplankton, *Chl* – Chlorophyta, *Chr* – Chrysophyta, *Bac* – Bacillariophyta, *Din* – Dinophyta, *Xan* – Xantophyta, *Cyan* – Cyanobacteria, *Cha* – Charophyta, *Eug* – Euglenophyta, *z* – Zooplankton, *cop* – Copepoda, *clad* – Cladocera, *rot* – Rotifera

Третья компонента тесно связана с глубиной, содержанием магния, аммония, нитритов, биохимическим потреблением кислорода (положительная связь), а также содержанием нефтепродуктов и кальция (отрицательная связь). Она определяет численность фитопланктона (в частности, количественные характеристики

динофитовых) и численность коловраток (см. табл. 9, рис. 6).

Обсуждение

Термический режим в водоемах-охладителях (Харанорское водохранилище и озеро-охладитель Кенон) определяется не только климатическими особенностями и морфометрическими показателями, но и изменениями гидродинамических процессов, объемом сброса теплых вод, разностью температур забираемой и сбрасываемой воды. В оз. Кенон наибольшая разница между температурой воды в термальной зоне и остальной частью водоема составляла не более 10 °С, в Харанорском водохранилище – 9.2–11.5 °С. Растекание в поверхностном слое теплых вод приводит к вертикальной термической стратификации. В термальной зоне озера-охладителя разница температур между слоями составляла до 9 °С, в пруду-охладителе – 8–10 °С. Наибольшая разница температур между слоями в озере отмечалась в зимний период, в водохранилище – в летний.

Большинство отмеченных гидробионтов водоемов-охладителей являются обитателями широкого температурного диапазона. Повышение температуры воды и улучшение светового и кислородного режимов (отсутствие льда) способствуют увеличению вегетационного сезона в термальной зоне водоемов-охладителей. Как отмечает ряд исследователей (Суздалева, 2000; Безносков и др., 2001; Ezra et al., 2001; Токарева, 2004; Poornima et al., 2005; Zębek, 2013; Kulakov et al., 2018; Muthulakshmi et al., 2019), реакция на увеличение температуры среды проявляется: у водорослей планктона – в удлинении сроков вегетации и увеличении биомассы, у беспозвоночных – в удлинении сроков активной жизнедеятельности, увеличении количества генераций и переходе к ациклии. При этом ход сезонных изменений гидробионтов аналогичен участкам без влияния тепла (Афонин и др., 2014; Афонина и др., 2017б). Для литоральной зоны антропогенной гидротермальной обследованных водоемов-охладителей существенных различий в пространственно-временной динамике количественных показателей планктонных биоценозов не отмечено. Состав и структура гидробионтов в обогреваемой литорали незначительно отличались от удаленных участков, где температурный режим близок к естественному (Афонина и др., 2017а, б). Отсутствие закономерности в распределении организмов в разных по температуре зонах связано с мелководностью и малой площадью водоемов. В небольших водоемах такое распределение очень мобильно вследствие влияния господствующего ветрового перемешивания (Буторин и др., 1975) и интенсивной циркуляции воды (Кириллов и др., 2004; Афонина, 2012).

Исследованиями показана корреляционная связь между показателями температуры воды и прозрачности. Для антропогенной гидротермальной пруда-охладителя Харанорской ГРЭС корреляция между этими показателями отрицательная, для озера-охладителя Кенон – положительная. Уменьшению прозрачности воды в водохранилище в период максимального прогрева воды способствует интенсивное цветение цианобактерий (Афонин и др., 2014), что препятствует проникновению света. В оз. Кенон в исследовательский период бурного развития цианей не отмечалось. Основу численности фитопланктона в течение вегетационного сезона в термальной зоне определяли преимущественно мелкоклеточные хлорококковые водоросли (Афонина и др., 2017а, б), мало препятствующие проникновению света на глубину.

Метод главных компонент показал, что температурный фактор в литорали антропогенной гидротермальной оз. Кенон является менее значимым по сравнению с Харанорским водохранилищем, что, вероятно, связано с большей термической нагрузкой на этот водоем, его меньшей площадью и высоким водообменом (Афонин и др., 2014; Афонина, 2012). В термальной зоне озера Кенон наибольшей факторной нагрузкой обладали показатели содержания растворенных солей и других примесей (электропроводность, рН, минерализация). Эти взаимосвязанные между собой параметры напрямую зависят от температуры. Температурный фактор не может быть единственным механизмом, определяющим функционирование гидробиоценозов, но может вносить существенный вклад в действие других факторов (Денисов, Кашулин,

2012).

Заключение

Фито- и зоопланктон литорали антропогенной гидротермальной водоемов-охлаждателей – озера-охлаждателя Кенон и Харанорского водохранилища – формируется повсеместно встречающимися аборигенными видами с широким температурным диапазоном. Основной реакцией гидробионтов на увеличение температуры среды является удлинение периодов вегетации и активной жизнедеятельности и сдвиг сроков развития гидробионтов в сторону увеличения биомассы водорослей, количества генераций зоопланктона и их переходу к ациклии. В период максимального прогрева в оз. Кенон отмечается увеличение видового разнообразия и количественного развития водорослей и беспозвоночных, в Харанорском водохранилище, наоборот, снижение. Основными факторами, обуславливающими развитие планктонных биоценозов для литоральной зоны антропогенной гидротермальной озера-охлаждателя Кенон, являются (по убыванию значимости) электропроводность, pH, общее содержание растворенных веществ и температура; для Харанорского водохранилища – температура, прозрачность, концентрация нитратов и растворенного кислорода. Чрезмерное повышение температуры воды в Харанорском водохранилище способствовало развитию цианобактерий и уменьшению групп желтозеленых водорослей, коловраток и копепод.

Библиография

- Афонин А. В., Афолина Е. Ю., Ташлыкова Н. А., Горлачева Е. П., Цыбекмитова Г. Ц., Куклин А. П., Базарова Б. Б., Салтанова Н. В. Современное состояние экосистемы водоема-охлаждателя Харанорской ГРЭС и оценка эффективности вселения растительноядных рыб // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Материалы V Всерос. конф. по водной экотоксикологии. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 115–118.
- Афолина Е. Ю. Зоопланктон наливного водохранилища-охлаждателя Харанорской ГРЭС (Забайкалье): динамика формирования разнообразия и экология : Дис. ... канд. биол. наук. Чита: ИПРЭК СО РАН, 2012. 186 с.
- Афолина Е. Ю., Ташлыкова Н. А., Базарова Б. Б. Современный видовой состав и структура сообществ гидробионтов озера Кенон (Забайкальский край) // Бюллетень МОИП. Отд. Биол. 2017а. Т. 122. № 1. С. 71–83.
- Афолина Е. Ю., Ташлыкова Н. А., Итигилова М. Ц. Пространственно-временная динамика планктонных сообществ озера Кенон (по данным 2010–2015 гг.) // Вода: химия и экология. 2017б. № 2. С. 42–50.
- Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. С. 169–172.
- Безносков В. Н., Кучкина М. А., Суздалева А. Л. Исследование процесса термического эвтрофирования в водоемах-охлаждателях АЭС // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 4. С. 610–615.
- Безносков В. Н., Суздалева А. Л. Антропогенная гидротермаль: общая характеристика биотопа и возможная роль в климатогенных изменениях водной биоты // Водные экосистемы и организмы-3: Материалы науч. конф. М.: МАКС Пресс, 2001. С. 48–50.
- Бутенко М. Н., Цыбекмитова Г. Ц. Динамика биогенных элементов (азот и фосфор) в озере Кенон // Экология водоемов-охлаждателей: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. / Отв. ред. Г. Ц. Цыбекмитова. Чита: ЗабГУ, 2017. С. 29–32.
- Буторин Н. В., Курдина Т. Н. Особенности температурного режима Иваньковского водохранилища в условиях искусственного подогрева // Экология организмов водохранилищ-охлаждателей. Л.: Наука, 1975. С. 70–142.
- Водоем-охладитель Харанорской ГРЭС и его жизнь . Новосибирск: СО РАН, 2005. 192 с.

Денисов Д. Б., Кашулин Н. А. Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) // Труды Кольского научного центра. 2012. Т. 3. № 16. С. 70–96.

Кириллов В. В., Зарубина Е. Ю., Митрофанова Е. Ю., Яныгина Л. В., Крылова Е. Н. Биологическая оценка последствий термического загрязнения водоема-охладителя Беловской ГРЭС // Ползуновский вестник. 2004. № 2. С. 133–141.

Лунева Е. В. Оценка влияния атомных электростанций России на экосистемы водоемов-охладителей // Известия КГТУ. 2014. № 34. С. 20–33.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.

Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М: Университет и школа, 2003. 159 с.

Суздаева А. Л. Унифицированная методика исследования экологического состояния водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций // Региональная экология. 2000. № 1–2. С. 58–61.

Токарева О. Ю. Комплексный анализ изменения состояния водоема-охладителя ТЭС и возможные пути его восстановления (на примере озера в г. Чите) : Дис. ... канд. техн. наук. Чита: ЗабГУ, 2004. 127 с.

Шипунов А. Б., Балдин Е. М., Волкова П. А., Коробейников А. И., Назарова С. А., Петров С. В., Суфиянов В. Г. Наглядная статистика, используем R! . М.: ДМК Пресс, 2014. 298 с.

Экология городского водоема. Новосибирск: СО РАН, 1998. 260 с.

Ezra A. G., Nwankwo D. I. Composition of phytoplankton algae in Gubi Reservoir, Bauchi, Nigeria // J. Aquat. Sci. 2001. Vol. 16. No 2. P. 115–118. DOI: 10.4314/jas.v16i2.20016.

Guiry M. D., Guiry G. M. Algaebase. World-wide electronic publication (Galway: National University of Ireland). URL: <http://www.algaebase.org/> (дата обращения: 10.01.2019).

Kulakov D. V., Makushenko M. Ye., Vereshchagina Ye. A. Influence of Heated Waters Discharge on Zooplankton of Various Cooling Ponds of Nuclear Power Stations // Hydrobiological Journal. 2018. Vol. 54. No 3. P. 60–74. DOI: 10.1615/HydroBJ.v54.i3.60.

Kuklin A. P., Tsybekmitova G. T., Gorlacheva E. P., Bazarova B. B., Afonin A. V. The ecosystem of lake Kenon: past and present (Transbaikal territory, Russia) // Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 2016. Vol. 34. No 3. P. 507–516. DOI: 10.1007/s00343-016-4285-0.

Korotkova T. G., Bushumov S. A., Burlaka S. D., Istoshina N. Yu., Siukhov H. R. Influence of heat-and-power enterprises on the hydrosphere // International Journal of GEOMATE. 2018. Vol. 15. No 48. P. 99–106.

Muthulakshmi A. L., Natesan U., Ferrer V. A., Deepthi K., Venugopalan V. P., Narasimhan S. V. Impact assessment of nuclear power plant discharge on zooplankton abundance and distribution in coastal waters of Kalpakkam, India // Ecological Processes Ecological Processes. 2019. Vol. 8. No 22. P. 1–10. DOI: 10.1186/s13717-019-0173-9.

Ponomareva Y. A., Ivanova E. A. Ratio between living and dead cells and the size structure of the Yenisei River phytoplankton downstream of the Krasnoyarsk Hydroelectric Power Station // Contemporary Problem of Ecology. 2016. Vol. 9. No 5. P. 582–589. DOI: 10.1134/S1995425516050115.

Poornima E. H., Rajadurai M., Rao T. S., Anupkumar B., Rajadurai M., Rajamohan R., Narasimhan S. V., Rao V. N. R., Venugopalan V. P. Impact of thermal discharge from a tropical coastal power plant on phytoplankton // Journal of Thermal Biology. 2005. Vol. 30. No 4. P. 307–316. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2005.01.004.

Ruttner-Kolisko A. Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers // Arch. Hydrobiol. 1977. No 8. P. 71–76.

Zębek E. Phytoplankton-nutrient relationships in years with various water levels in the Pasłęka River in the vicinity of the hydroelectric power station (North-east Poland) // Russian Journal of Ecology. 2013. Vol. 44. No 6. P. 492–499. DOI: 10.1134/S1067413613060143.

Благодарности

Авторы искренне благодарят сотрудников лаборатории водных экосистем ИПРЭК СО РАН за помощь в отборе планктонных проб.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований СО РАН (проект № IX.137.1.1.).

DEVELOPMENT OF PLANKTONIC BIOCENOSSES OF LITTORAL ZONE UNDER ANTHROPOGENIC HYDROTHERMAL CONDITIONS OF COOLING PONDS

TASHLYKOVA
Natalya
Aleksandrovna

*PhD, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of
the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (672002,
Russian Federation, Chita, PO box 1032),
NatTash2005@yandex.ru*

AFONINA
Ekaterina Yuryevna

*PhD, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of
the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (672002,
Russian Federation, Chita, PO box 1032), kataf@mail.ru*

Keywords:

plankton, littoral,
anthropogenic
hydrothermal
conditions,
cooling pond

Received on:

23 January 2020

Published on:

26 December
2020

Summary: The most noticeable change in the water environment as a result of the operation of the power plant is an increase in water temperature. Any areas that are directly affected by the discharge of heated water can be considered as subjected to a kind of anthropogenic hydrothermal conditions. The study of the relationship between abiotic and biotic parameters of such extreme ecosystems is important for understanding the biological efficiency of ecosystems of hydraulic structures and factors of changes in trophic status. This article analyzes the relationship between the environmental factors of the hydrothermal zone and the main characteristics of the plankton population in the reservoir of the Kharanor RPS and the cooling lake of the Chita Kenon TPP. The main factors that determine the development of planktonic biocenoses in the littoral zone of the anthropogenic hydrothermal zone of Lake Kenon are (in descending order of importance) electrical conductivity, pH, total content of dissolved substances and temperature. In the Haranor reservoir they are temperature, transparency, content of nitrates and dissolved oxygen. Cyanobacteria and Cladocera are most sensitive to environmental factors in Lake Kenon, while yellow – green algae, Rotifera and Copepoda are most sensitive in the Haranor reservoir.