

УДК 599.753.34

## РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ВОДОЕМОВ СИСТЕМЫ р. КЕНТИ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (ЗАПАДНАЯ КАРЕЛИЯ)

© 2020 г. Н. В. Ильмаст<sup>1</sup>, \*, О. П. Стерлигова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

\*e-mail: [ilmast@mail.ru](mailto:ilmast@mail.ru)

Поступила в редакцию 07.03.2020 г.

После доработки 14.03.2020 г.

Принята к публикации 14.03.2020 г.

Проанализирован видовой состав рыб Костомукшского хвостохранилища и озер Койвас, Кенто (Западная Карелия). Исследуемые водоемы подвержены влиянию сбрасываемых техногенных вод горно-обогатительного комбината, построенного в 1984 г. Показано, что видовое разнообразие рыб минимально вблизи комбината и возрастает по направлению стока от хвостохранилища к оз. Кенто. Из 12 видов рыб только 4 вида (щука *Esox lucius*, налим *Lota lota*, уклейка *Alburnus alburnus* и плотва *Rutilus rutilus*) живут во всех водоемах, причем доминантным видом в составе рыбного населения является плотва. Наблюдаемое обеднение ихтиофауны в значительной степени связано со щелочной средой обитания, с утратой условий для нереста и плохими условиями для роста молоди рыб. Вместе с тем, факт выживания и размножения рыб в неблагоприятных условиях обитания свидетельствует об их высоком адаптивном потенциале.

**Ключевые слова:** водные экосистемы, рыбное население, промышленное загрязнение

**DOI:** 10.31857/S0042132420040080

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интенсивное использование природных ресурсов и поступление в окружающую среду промышленных отходов и других видов загрязнения в результате хозяйственной деятельности человека приводит к изменениям в экосистемах. Большинство поступающих в водоемы вредных веществ плохо разлагаются и отрицательно влияют на состояние гидробионтов (Решетников и др., 1982; Моисеенко, 1997, 2009; Кашулин и др., 1998; Лозовик и др., 2001; Калинин и др., 2003; Лукин и др., 2011; Алимов, 2016; Walker et al., 2001; Elliott et al., 2003; Cairns, 2005; Jeppesen et al., 2005). Анализ литературных данных показал, что в зонах сильного промышленного загрязнения можно выделить основные формы визуально наблюдаемых аномалий у рыб: изменение в окраске тела (депигментация, появление необычных оттенков); поражение систем детоксикации организма (жабры, кровь, печень, почки); аномалии в скелетных элементах (искривление жаберных тычинок, плавников, челюстей и позвонка). Выявлено поражение воспроизводительной системы (сильная асимметрия гонад вплоть до полной дегенерации одной из них); в гонадах отмечено разрастание соединительной ткани и наличие перетяжек; нарушение гаметогенеза, недоразвитие

стромы, гермафродитизм, снижение числа икринок, а также ускоренное созревание рыб и образование карликовых форм. Аномалии в системе воспроизводства рыб часто приводят к снижению плодовитости, пропуском нереста и снижению численности некоторых видов рыб, а иногда и к полному их исчезновению из водоема. Отмечены изменения окраски внутренних органов (печень, почки, мускулатура), увеличение численности паразитов в органах и тканях рыб (Аршаница, 1988; Кашулин и др., 1998; Решетников и др., 1999, 2000, 2016; Акимова и др., 2001; Аникиева, Иешко, 2010; Лукин и др., 2011; Иешко и др., 2012; Лукина, 2014; Сидоров, Решетников, 2014; Обыкновенный ерш ..., 2016).

Еще больше аномалий обнаружено при применении гистологического анализа, в частности, гермафродитизм и изменения в гаметогенезе видны только под микроскопом (Чеботарева и др., 1997). Степень морфологических аномалий хорошо коррелирует с концентрацией тяжелых металлов в теле рыбы (Кашулин, Решетников, 1995; Тяптиргянов, 2016; Amundsen et al., 1997). В конечном итоге это приводит к снижению биологического разнообразия на всех уровнях сообщества. Во многих водоемах Европейской части России, сильно подверженных влиянию хозяй-

ственной деятельности человека, отмечено сокращение числа видов, внутривидовых форм и выявлена смена доминирующих видов у гидробионтов. От промышленного загрязнения в первую очередь страдают сиговые и лососевые рыбы, в меньшей степени это проявляется у других видов. Живые организмы в новых условиях обитания вынуждены приспосабливаться, и возможность выживания того или иного вида зависит от его способности быстро адаптироваться к происходящим изменениям.

Негативное воздействие на водоемы Республики Карелия оказывает сброс сточных вод промышленными предприятиями. Объектом наших исследований выбран Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК), работающий на полную мощность с 1984 г. и являющийся одним из крупнейших на Северо-Западе России. Железородное месторождение расположено в озерно-речной системе р. Кенти (басс. Белого моря). Водосборная площадь равна 950 км<sup>2</sup>. Длина системы составляет 75 км с каскадом из 10 озер, чередующихся с порожистыми участками. Проектная мощность комбината рассчитана на ежегодную добычу 24 млн т железной руды, получение 9750 тыс. т железного концентрата и 8520 тыс. т окатышей.

Цель исследований — определить видовой состав рыб и оценить современное состояние рыбной части сообщества в водоемах системы р. Кенти при длительном техногенном воздействии Костомукшского ГОК.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал по ихтиофауне собран в летний период на трех озерах системы р. Кенти в 2009–2017 гг. в период открытой воды. Рыб для анализа брали из опытных уловов однотипным набором сетей (длина 30 м, высота 1.5–3 м, ячея 14–60 мм), которые были выставлены в разных участках озер (литораль, пелагиаль) и на различных глубинах. В каждом водоеме в литоральной зоне (глубины 1.5–3 м) выставлялись два сетных порядка. В пелагической части двумя сетными порядками облавливались поверхностный и придонный слой водоемов. Время экспозиции 12 ч. Облов каждого водоема велся в течение семи суток. Анализировались следующие показатели рыб: длина и масса тела, пол, стадия зрелости гонад, плодовитость и питание. Камеральную обработку материала проводили по общепринятым методикам (Правдин, 1966; Методическое пособие..., 1974; Дгебуадзе, Чернова, 2009). Возраст рыб определяли по чешуе и отолитам. У всех выловленных сигов прочитывалось число жаберных тычинок на первой жаберной дуге. Для более полной оценки состояния рыб при техногенном загрязнении были использованы опубликованные литературные данные

сотрудников лаборатории биохимии Института биологии КарНЦ РАН по биохимическим и гистологическим исследованиям (Биота северных озер..., 2012).

Общий объем собранного, обработанного и проанализированного материала составил более 1600 экз. рыб.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основой исследований рыбного населения послужили три озера системы р. Кенти, расположенные в ее верхнем и среднем течении: Костомукшское (с 1984 г. превращено в водохранилище или, как его называют, хвостохранилище), Койвас и Кенто. По существующей на комбинате технологии, дробленая руда измельчается и в виде водной взвеси проходит через магнитные сепараторы. После отделения железородного концентрата оставшаяся взвесь перекачивается в озеро (хвостохранилище). Данный водоем служит для захоронения этой взвеси (хвостов обогащения) и оборотного водоснабжения.

Таким образом, при разработке месторождения и строительстве ГОК возник искусственный водоем (хвостохранилище или отстойник), сильно отличающийся по своим характеристикам от типичных озер Карелии. В нем значительно изменились гидрологические и гидрохимические показатели (табл. 1). В связи с тем, что сброс техногенного вод из хвостохранилища не проводился с 1984 г. по 1994 г. площадь оз. Костомукшского увеличилась в 6 раз: с 5.2 до 34.2 км<sup>2</sup>, объем воды вырос с 0.017 до 0.430 км<sup>3</sup>, а высота уровня достигла 181 м против 157 м БС (Балтийская система высот) в природном состоянии (Пальшин и др., 1994).

Химический состав поступающей в водоем взвеси вследствие выщелачивания различных компонентов непосредственно влияет на химические показатели воды Костомукшского водохранилища и озер, расположенных ниже. До строительства комбината воды озера относились к маломинерализованным (17–30 мг/л) гидрокарбонатного класса группы кальция. Величина рН варьировала в пределах 6.3–6.9, то есть была нейтральной или слабобокислой. Средняя минерализация воды — 25 мг/л.

Многолетние исследования водоема позволили проследить изменения гидрохимического режима на разных стадиях наполнения (Феоктистов, Сало, 1990; Лозовик и др., 2001; Лозовик, Кулакова, 2012). Так, минерализация воды в 1984 г. уже составляла 247 мг/л, в настоящее время — свыше 600 мг/л (табл. 2).

В воде отмечаются высокие концентрации  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$ , а также аномальное соотношение главных катионов по сравнению с природными

**Таблица 1.** Гидрологические показатели исследуемых водоемов

Показатель	Хвостохранилище	оз. Койвас	оз. Кенто
Географические координаты	64°40' с.ш. 30°50' в.д.	64°48' с.ш. 31°00' в.д.	64°52' с.ш. 31°07' в.д.
Высота над уровнем моря, м	180	146	139
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	68.4	356	677
Площадь озера, км <sup>2</sup>	34.2	21.4	30.8
Период усл. водообмена, год	0.23	0.6	0.6
Максимальная глубина, м	25	23.0	23.5
Средняя глубина, м	3.2	4.1	3.8

**Таблица 2.** Гидрохимические показатели исследуемых водоемов

Показатель	Хвостохранилище*	оз. Койвас	оз. Кенто
Цветность, град.	30	32	35
Перманг. окисляемость, мгО/л	3.2	8.4	8.8
O <sub>2</sub> , %, пов.	88–93	81	99
CO <sub>2</sub> , мг/л	2.0–5.7	1.8–3.7	1.5–5.9
pH	6.5–8.2	7.3	7.1
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	2.8–41.3	22.0	11.4
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	1.3–18.4	9.3	1.8
K <sup>+</sup> , мг/л	0.8–151.8	91.4	36.4
Na <sup>+</sup> , мг/л	1.6–18.3	11.7	5.7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	10.8–127.6	61.8	28.6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	6.3–260.0	198.6	37.0
Cl <sup>-</sup> , мг/л	1.5–6.6	3.2	1.8
Fe <sub>общ.</sub> , мг/л	0.19	0.2	0.3
Σ ионов, мг/л	25.0–623	398	123

Примечание: \* – величины до и после строительства ГОК.

водами. Повышенные концентрации щелочных металлов, а также гидрокарбонатов определили сдвиг pH в щелочную область (8.2). Подобные условия представляют собой геохимический барьер для миграции большинства тяжелых металлов, поэтому концентрации их невелики и находятся на уровне единиц микрограммов, что ниже предельно допустимых концентраций для воды рыбохозяйственных водоемов (Лозовик, Кулакова, 2012). В настоящее время воды хвостохранилища относятся к высокоминерализованным со слабощелочной реакцией среды сульфатного класса группы калия с низким содержанием органического вещества и железа (Лозовик и др., 2001). Сформировавшийся за эти годы химический состав техногенных вод уникален и не имеет природных аналогов по высокому содержанию калия, преобладающего над натрием, что, по мне-

нию ряда ученых, существенно сказывается на выживаемости гидробионтов (Дубровина и др., 1995).

Состав поступающей взвеси вследствие выщелачивания различных компонентов непосредственно влияет на химические показатели воды озер, расположенных ниже. Начиная с 1994 г. в нижележащие озера регулярно производятся выпуски воды из водохранилища, ежегодный объем сбрасываемых техногенных вод в 1998–2004 гг. в среднем составил 15.7 млн м<sup>3</sup>. Сброс техногенных вод приводит к изменению минерального состава расположенных ниже озер, наблюдается увеличение содержания калия (до 120 мг/л) и лития (до 60 мкг/л). Основным фактором является загрязнение вод минеральными веществами – сульфатами и калием (табл. 2).

Вторым исследуемым водоемом (шестым в озерно-речной системе), куда поступает сток вод,

Таблица 3. Видовой состав рыб исследованных водоемов

Вид	Хвостохранилище	оз. Койвас	оз. Кенто
<b>Сем. Coregonidae – Сиговые</b>			
Обыкновенный сиг <i>Coregonus lavaretus</i>	+	+	+
Европейская ряпушка <i>Coregonus albula</i>	–	+	+
<b>Сем. Osmeridae – Корюшковые</b>			
Европейская корюшка <i>Osmerus eperlanus</i>	–	–	+
<b>Сем. Esocidae – Щуковые</b>			
Щука <i>Esox lucius</i>	+	+	+
<b>Сем. Cyprinidae – Карповые</b>			
Уклейка <i>Alburnus alburnus</i>	+	+	+
Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	+	+	+
Обыкновенный голяк <i>Phoxinus phoxinus</i>	–	+	+
Елец <i>Leuciscus leuciscus</i>	–	–	+
<b>Сем. Lotidae – Налимовые</b>			
Налим <i>Lota lota</i>	+	+	+
<b>Сем. Gasterosteidae – Колюшковые</b>			
Колюшка девятииглая <i>Pungitius pungitius</i>	–	+	+
<b>Сем. Percidae – Окуневые</b>			
Обыкновенный ерш <i>Gymnocephalus cernuus</i>	–	+	+
Речной окунь <i>Perca fluviatilis</i>	–	+	+
Итого	5	10	12

является оз. Койвас. Оно расположено на значительном расстоянии от хвостохранилища, и биоценозы озера в меньшей степени подвержены воздействию техногенных вод. Минерализация воды в озере достигает уровня 400 мг/л (табл. 2).

Третий исследуемый водоем (восьмой в озерно-речной системе) – оз. Кенто – в меньшей степени подвержено влиянию сточных вод. Минерализация воды значительно снижается и находится на уровне 123 мг/л. По химическому составу озеро относится к мезогульным среднещелочным слабощелочным нейтральным водоемам сульфатно-гидрокарбонатного класса группы К и Са.

По уровню количественного развития зоопланктона (биомасса 0.06 г/м<sup>3</sup>) и зообентоса (0.2–1.4 г/м<sup>2</sup>) Костомукшское водохранилище (верхнее течение р. Кенти) характеризуется как ультраолиготрофное, озера среднего течения Койвас и Кенто – олиготрофные (Китаев, 2007; Кучко и др., 2012, 2015). Анализ видового состава и низкие количественные показатели сообщества планктона свидетельствуют об угнетенном состоянии планктонной фауны Костомукшского хвостохранилища. Общее число видов зоопланктона увеличивается от 17 (Костомукшское вдхр.) до 34 (оз. Кенто). В целом минеральное калийно-фосфатное загрязнение водоемов приводит к упрощению структуры и снижению количественных

показателей зоопланктона, исчезновению стенобионтных видов (Кучко и др., 2015).

Рыбное население исследуемых озер практически не изучалось. Литературные данные об ихтиофауне оз. Костомукшского до строительства ГОК отсутствуют, вместе с тем по опросам местных жителей данный водоем имел богатые рыбные ресурсы и, по их мнению, был самым рыбным озером региона.

Исследования ихтиофауны (2009–2017 гг.) показали, что в Костомукшском хвостохранилище обитает 5 видов рыб, в оз. Койвас – 10, в оз. Кенто – 12 (табл. 3).

Для сравнения, в близлежащих озерах с относительно схожими лимнологическими параметрами: Каменное, Кимасозеро и Ньюозеро число видов рыб составляет 13, 16 и 15 соответственно (Первозванский, 1986; Ильмаст и др., 2016). В связи с особым статусом использования Костомукшского хвостохранилища специализированного лова рыбы на нем не ведется, на остальных озерах развит любительский лов.

Во всех исследуемых озерах доминантным видом является плотва *Rutilus rutilus*. В опытных уловах преобладали особи 4–6 лет (80%), доля рыб в возрасте до 3 лет не превышала 5%, старше 8 лет – 15%. Самый крупный экземпляр длиной SL (standard length – длина рыбы от начала головы с закрытым ртом до окончания гипуральной кости)

**Таблица 4.** Линейно-весовые показатели плотвы исследуемых водоемов (932 экз.)

Показатель	Возраст, лет								
	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+
Хвостохранилище									
Длина SL, см	10.1	12.0	13.0	14.2	15.3	16.5	17.2	–	19.1
Масса, г	15	26	36	48	64	84	100	–	132
Число рыб, экз.	6	20	154	183	81	27	23	–	12
оз. Койвас									
Длина SL, см	11.0	12.0	13.0	14.2	15.2	16.3	17.1	18.3	19.5
Масса, г	19	28	40	51	62	77	91	117	143
Число рыб, экз.	3	25	34	63	51	26	16	18	3
оз. Кенто									
Длина SL, см	–	11.8	13.5	15.0	16.5	–	18.0	–	–
Масса, г	–	25	36	55	72	–	100	–	–
Число рыб, экз.	–	35	47	63	40	–	2	–	–

**Таблица 5.** Линейно-весовые показатели сига Костомукшского хвостохранилища

Возраст	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+
Длина FL, см	19.0	21.6	24.0	27.5	30.2	32.6	33.8	34.4	35.8	36.7	39.2
Масса, г	65	98	212	277	356	445	524	600	652	755	890
Число рыб, экз.	9	8	1	4	12	11	41	2	5	3	4

24 см, массой 265 г, возраста 15 лет выловлен в оз. Койвас (табл. 4).

Сравнительный анализ линейно-весового роста плотвы из близлежащих озер системы р. Кенти показал, что она обладает медленным темпом роста, что, по-видимому, связано с ограниченностью кормовых ресурсов.

Анализ половой структуры плотвы свидетельствует о значительном доминировании самок (до 85%), что характерно и для других озер региона и, как правило, связано с неодинаковой продолжительностью жизни особей разного пола (в младших возрастных группах численно преобладают самцы, в старших — самки) (Первозванский, 1986). Вместе с тем в условиях интенсивного техногенного воздействия (минеральное загрязнение) появление большого количества самок может быть также связано с меньшей устойчивостью самцов к неблагоприятным факторам среды.

Созревает плотва на третьем году жизни при длине тела 10–12 см и массе 20–30 г. Абсолютная плодовитость невысокая и варьирует от 1.0 до 4.4 тыс. икринок. Плотва относится к виду со смешанным типом питания. В ее питании отмечены копеподы, моллюски, детрит и растительные остатки.

Преобладание в водоемах рыб старшего возраста свидетельствует о слабой промысловой нагрузке в исследуемых водоемах.

Сиг *Coregonus lavaretus* обитает во всех водоемах. Сиги представлены среднетычинковой формой с числом жаберных тычинок от 28 до 40 (мода 34). Возрастной состав уловов состоял из особей от 1 до 13 лет, при этом 64% составляли рыбы 7–9 лет. Длина сига FL (fork length — длина рыбы от начала головы с закрытым ртом до выемки хвостового плавника) варьировала от 19 до 39 см, масса — от 65 до 890 г (табл. 5). Сравнение роста среднетычинковой формы сига из относительно чистых озер региона и Костомукшского хвостохранилища не выявило существенных отличий в линейно-весовых показателях (Стерлигова и др., 2016).

Половое созревание сига наступает на третьем—четвертом году жизни при достижении длины 17–20 см и массы 70–100 г. Нерест проходит с начала второй декады октября и до начала ноября при температуре воды 4–6°C. Инкубационный период длится 6–7 месяцев.

В питании сига доминировали бентосные организмы, по биомассе личинки и куколки хироноид составляли 96.7%, доля других организмов очень низкая (поденки — 2.7%, насекомые — 0.6%). Зоопланктон представлен в основном ветвистоусыми рачками. Индекс наполнения желудков рыб не превышал 102‰, в среднем 40‰.

Окунь *Perca fluviatilis* является широко распространенным видом в водоемах Карелии и встречается в 90% из 800 изученных озер (Герд, 1949;

**Таблица 6.** Линейно-весовые показатели окуня исследуемых водоемов (436 экз.)

Показатель	Возраст, лет									
	4+	5+	6+	7+	8+	10+	13+	15+	17+	18+
оз. Койвас										
Длина SL, см	13.5	15.8	17.8	19.0	21.0	22.5	26.5	29.5	34.0	37.5
Масса, г	43	62	100	126	175	280	378	545	820	990
Число рыб, экз.	97	94	16	14	5	2	2	2	4	2
оз. Кенто										
Длина SL, см	14.0	16.5	17.8	20.0	22.0	23.5	27.0	30.0	35.2	–
Масса, г	47	80	110	150	195	310	400	600	900	–
Число рыб, экз.	68	58	30	24	6	5	4	2	1	–

**Таблица 7.** Линейно-весовые показатели щуки исследуемых водоемов (65 экз.)

Показатель	Возраст, лет								
	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	10+	
Хвостохранилище									
Длина SL, см	–	37.8	41.5	45.0	50.0	52.0	56.0	–	
Масса, г	–	334	450	550	690	815	1 000	–	
оз. Кенто									
Длина SL, см	21.0	26.0	30.0	35.0	–	42.0	–	–	
Масса, г	130	244	350	480	–	680	–	–	
оз. Койвас									
Длина SL, см	28.3	30.3	40.0	43.0	–	–	–	–	
Масса, г	160	240	490	520	–	–	–	–	

Озера Карелии, 2013). Окунь способен выдерживать широкий диапазон температур, pH, концентраций растворенного кислорода, солености и часто является единственным видом рыб, способным жить в чрезвычайно закисленных и гумифицированных темноводных озерах, в которых высок уровень растворенного органического углерода (Rask et al., 1995; Ostbye et al., 1997). Из трех изучаемых водоемов он обитает в двух, не обнаружен в Костомукшском хвостохранилище. Отсутствие окуня в водоеме связано со щелочной средой и очень слабым развитием высшей водной растительности, которая служит субстратом для его размножения.

Окунь озер Койвас и Кенто имеет длительный жизненный цикл от 4 до 20 лет (табл. 6).

Длина SL особей варьирует от 11 до 41 см, и самый крупный окунь длиной 41 см массой 1320 г в возрасте 20 лет был отмечен в оз. Койвас (2017 г.). Сопоставление линейно-весовых показателей окуня из исследованных озер не выявило существенных отличий в темпах его роста по сравнению с этим же видом из других озер, что связано со схожестью кормовой базы водоемов системы р. Кенти. Половая зрелость окуня наступает на пятом году жизни. Абсолютная плодовитость варьирует от 4.5 до 33.0 тыс. икринок, в зависимости от массы и возраста. В питании молоди окуня доминируют организмы зоопланктона (*Bosmina obtusirostris*, *Polyphemus pediculus*), у двух–четырёх-леток преобладают бентосные организмы (личинки поденок и ручейников, куколки хироно-

мид). У рыб старшего возраста доминируют рыбы (окунь, плотва, сиг).

Щука *Esox lucius* живет во всех трех водоемах и в опытных уловах представлена в возрасте от 2 до 16 лет (табл. 7), особи старше 10 лет встречались единичными экземплярами.

Рост ее очень изменчив, поэтому особи одного возраста часто различаются по длине и массе. Длина SL варьирует от 21 до 74 см, масса от 130 до 3300 г. По темпу роста щука оз. Кенто несколько отстает от особей двух других озер, что связано с низкой кормовой базой. У щуки половая зрелость наступает в возрасте 4–5 лет. Самцы созревают на год раньше самок. В питании щуки встречены массовые виды рыб – плотва и окунь.

Уклейка *Alburnus alburnus* обитает во всех трех водоемах. Однако ее численность невелика. Всего выловлено 20 экземпляров в возрасте 2–4 лет длиной SL от 11.7 до 14.7 см и массой от 20 до 34 г.

Налим *Lota lota* также обнаружен во всех озерах, но в сети попадал единично (всего 6 экз.) в возрасте 5–8 лет. Длина налима TL (total length – общая длина рыбы от начала головы с закрытым ртом до конца хвостового плавника) варьирует от 45 до 58 см, масса – от 600 до 1 100 г.

Ряпушка *Coregonus albula* обитает только в озерах Койвас и Кенто и относится к мелкой форме. Средняя длина FL составляет 13 см, масса – 25 г (12 экз.). Рыба с осенним нерестом, и поэтому пик ее вылова приходится на сентябрь–октябрь.

Единично в уловах встречались: ерш *Gymnocephalus cernuus* длиной SL от 8.0 до 11.6 см и массой от 7.0 до 25.0 г; голянь *Phoxinus phoxinus* длиной TL 7.0 см и массой 5.0 г; девятииглая колюшка *Pungitius pungitius* длиной TL 5.0 см и массой 2.5 г и елец *Leuciscus leuciscus*, который в Карелии отмечен только в 68 водоемах и во всех является малочисленным видом. Все эти рыбы предпочитают чистую прозрачную воду и поэтому обитают в озерах, расположенных на значительном расстоянии от источника загрязнения.

Европейская корюшка *Osmerus eperlanus*, как и елец, обитает только в оз. Кенто. Она была обнаружена в желудках щуки, в сети в летний период не попадала.

Анализ результатов показал, что техногенная трансформация водоемов системы р. Кенти привела к упрощению структуры рыбного населения, а именно к снижению видового разнообразия.

Можно предположить, что одной из причин негативного воздействия техногенных вод на популяции рыб является минеральная взвесь, котораяносится на значительные расстояния, а наиболее мелкие фракции размером менее 0.2 мкм проникают сквозь клеточные мембраны (Моисеенко, 1997). Такая взвесь может угнетать дыхание и усвоение пищи у рыб (Алабастер, Ллойд, 1984;

Gagnon, Holdway, 1999). Также снижение прозрачности ухудшает зрительную оценку рыбами кормовых объектов, по крайней мере, хищными. Однако сам факт выживания и размножения популяций рыб в техногенных водоемах свидетельствует об их высоком адаптивном потенциале. Кроме того, нами не обнаружено видимых изменений как внешних, так и в состоянии их внутренних органов.

Для оценки воздействия на рыб техногенных вод Костомукшского ГОК исследовали активность ферментов энергетического и углеводного обмена в мышцах, печени, почках и жабрах сига, плотвы и щуки, обитающих в техногенных водоемах (Мещерякова и др., 2012).

Жабры рыб в большей степени подвержены негативному воздействию. В них отмечено понижение активности аэробного фермента цитохром-оксидазы (ЦО) на 38% и аэробного изофермента лактатдегидрогеназы ЛДГ-В<sub>4</sub> – на 19%, что указывает на низкий уровень аэробного метаболизма и аэробного синтеза АТФ. Авторы связывают изменения со средой обитания (щелочная), которая оказывает влияние на клеточные структуры, разрушая респираторный эпителий и хлоридные клетки жаберного аппарата рыб, ингибируя активность ферментов, повреждая митохондриальные мембраны и разобщая процессы окислительного фосфорилирования (Борвинская и др., 2012).

В печени плотвы и щуки при анализе полученных результатов, было обнаружено значительное снижение активности ферментов аэробного метаболизма ЦО и общей активности малатдегидрогеназы (МДГ). У плотвы активность ЦО и МДГ снижалась соответственно на 70 и 75%, у щуки – на 30 и 35%, что, вероятно, связано с уменьшением поступления кислорода в организм рыб в результате нарушения функционирования жаберного аппарата мелкой дисперсионной механической взвесью (Васильева и др., 2012). Снижение активности этих ферментов приводит к понижению функциональной активности клеток печени и сказывается на жизнедеятельности всего организма рыб (Новиков, 2000; Мурзина и др., 2012; Tripathi, 1999).

В почках рыб из техногенного водоема отмечалась достаточно низкая активность ЦО, альдолазы, ЛДГ и повышенная – глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г6ФДГ). Все это указывает на низкий уровень процессов аэробного и анаэробного синтеза АТФ, низкую степень использования углеводов в энергообмене и на более высокий уровень их окисления. Обычно это связано с необходимостью увеличения числа восстановительных реакций для обмена ксенобиотиков или для липогенеза в ответ на минеральное воздействие (Васильева и др., 2012; Крупнова, Немова, 2012).

В мышцах рыб также наблюдалась подобная тенденция метаболических изменений, прежде всего в снижении активности ферментов (ЦО, МДГ, альдолазы) и характерного для мышечных тканей изофермента ЛДГ-А<sub>4</sub> (Немова, 2012). Такие особенности метаболизма свидетельствуют о сильном снижении использования углеводов — важнейшего энергетического субстрата мышц, особенно в периоды интенсивной нагрузки, а также о сокращении всех процессов энергообеспечения как аэробного синтеза АТФ, так и анаэробного — гликолиза. Известно, что активность ЦО, ЛДГ и изофермента А<sub>4</sub> четко коррелирует с физической активностью рыб, скоростью плавания и темпом прироста мышечной массы (Gamperl, 2002; Guderley, 2004).

Для оценки состояния рыб хвостохранилища были исследованы соотношение концентраций нуклеиновых кислот в белых мышцах и активность энергетического и углеводного обмена в мышцах и печени сига (Чурова и др., 2012). У сига в белых мышцах был выявлен низкий уровень аэробного энергетического обмена и высокий уровень анаэробного процесса синтеза АТФ, на что указывают низкая активность ЦО и высокая активность ЛДГ по сравнению с сигами из чистых водоемов. Низкий уровень аэробной окислительной способности мышц снижает общий уровень использования углеводов в энергетическом обмене, о чем свидетельствует снижение активности фермента гликолиза альдолазы на 12%. При этом происходит перераспределение использования углеводов в сторону увеличения их окисления анаэробным путем.

Среди широко используемых подходов оценки состояния рыб особое место занимает гистологический анализ. Он дает более полную характеристику клеточной структуры тканей, свидетельствующих о нарушениях метаболизма. Гистоморфологический анализ срезов печени плотвы и щуки в хвостохранилище выявил ряд изменений в структуре органов: нарушение кровоснабжения печени и разрастание соединительной ткани у кровеносных сосудов (Мурзина и др., 2012). Известно, что это приводит к нарушению снабжения тканей кровью, возникновению кислородного голодания, что нарушает клеточную структуру печени и ее функционирование (Моисеенко, 2009; Rodrigues, Fanta, 1998). Гистоморфологические исследования яичников и ооцитов самок этих видов рыб не выявили аномалий в их строении и развитии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ результатов проведенных исследований показал, что влияние Костомукшского ГОК на пресноводные экосистемы

имеет свои особенности. Вода хвостохранилища высокоминерализованная (общая минерализация возросла от 25 до 600 мг/л) со сдвигом рН в щелочную сторону от 6.5 до 8.4. Подобные условия создали своеобразный геохимический барьер для миграции большинства тяжелых металлов, и поэтому их концентрации в водоемах системы невелики, что послужило основанием того, что у рыб не наблюдается визуальных аномалий во внешней морфологии и в строении внутренних органов.

Из 12 видов рыб системы р. Кенти только 4 вида (щука, налим, уклейка и плотва) живут во всех водоемах, причем доминантным видом в составе рыбного населения является плотва. Самыми чувствительными к загрязнению вод отходами ГОК оказались корюшка и елец (живут только в оз. Кенто). Вверх по течению р. Кенти в оз. Койвас к ним добавляются ряпушка, голянь и девятиглая колюшка. Установлено: чем ближе к источнику загрязнения, тем меньше видов населяет водоем. Наблюдаемое обеднение ихтиофауны в значительной степени связано со средой обитания (щелочная) и с утратой условий для нереста и роста молоди рыб (малые площади водной растительности). Вместе с тем, сам факт выживания и размножения рыб в техногенных водоемах свидетельствует об их высоком адаптивном потенциале даже в неблагоприятных условиях обитания. Возможности выживания того или иного вида рыб зависят от их способности быстро адаптироваться к происходящим изменениям.

Комплексное изучение активности ферментов энергетического, углеводного обмена и содержания липидов позволило выявить отклонения функциональной активности органов рыб Костомукшского хвостохранилища, оценить их адаптивный потенциал и толерантный диапазон при отсутствии видимых изменений как внешних, так и в строении внутренних органов. В целом при функционировании промышленных предприятий такого масштаба большое значение приобретают мониторинговые исследования состояния окружающей среды.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания, Программы Президиума РАН “Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России”; проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-04-00163а.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимова Н.В., Попова О.А., Решетников Ю.С.* Пораженные системы воспроизводства у сига р. Пасвик // Биология, биотехника разведения и промышленного выращивания сиговых рыб. Тюмень: Госрыбцентр, 2001. С. 78.
- Алабастр Д., Ллойд Р.* Критерий качества воды для пресноводных рыб. М.: Легк. и пищ. промышл., 1984. 343 с.
- Алимов А.Ф.* Еще раз об экологии. М., СПб: КМК, 2016. 61 с.
- Аникиева Л.В., Иешко Е.П.* Микроэволюционные аспекты морфологической изменчивости и специфичности цестод на примере паразита сиговых рыб цестоды *Proteocephalus longicollis* (Zeder, 1800) (Proteocephalidae) // Паразитология. 2010. Т. 44. Вып. 3. С. 217–225.
- Аршаница Н.М.* Материалы ихтиотоксикологического исследования в бассейне Ладожского озера // Влияние загрязнений на экосистему Ладожского озера / Ред. Н.М. Аршаница. Л.: ГосНИОРХ, 1988. С. 12–23.
- Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 228 с.
- Борвинская Е.В., Суховская И.В., Смирнов Л.П.* Активность глутатион-S-трансферазы рыб // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 136–146.
- Васильева О.Б., Назарова М.А., Риннати П.О., Немова Н.Н.* Липидный состав и оценка перекисного окисления липидов в органах и тканях рыб // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 175–185.
- Высоцкая Р.У., Такшеев С.А., Вдовиченко Е.А.* Активность лизосомальных ферментов в органах рыб // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 146–150.
- Герд С.В.* Некоторые зоогеографические проблемы изучения рыб Карелии // Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР. Вып. 2. Петрозаводск: Госиздат КФСР, 1949. С. 100–115.
- Дгебуадзе Ю.Ю., Чернова О.Ф.* Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: КМК, 2009. 315 с.
- Дубровина Л.В., Калинин Н.М., Лозовик П.А.* Факторы токсичности для гидробионтов техногенных вод Костомукшского ГОКа // Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы р. Кенти. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1995. С. 15–25.
- Иешко Е.П., Аникиева Л.В., Лебедева Д.И.* Эколого-фаунистический анализ паразитов рыб хвостохранилища // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 73–79.
- Ильмаст Н.В., Сендек Д.С., Титов С.Ф. и др.* К вопросу о дифференциации экологических форм/подвидов сига *Coregonus lavaretus* озера Каменного // Уч. записки Петрозав. гос. унив. 2016. № 4 (157). С. 42–53.
- Калинкина Н.М., Куликова Т.П., Морозов А.К., Власова Л.И.* Причины техногенного изменения сообщества зоопланктона // Изв. РАН. Сер. биол. 2003. № 6. С. 747–753.
- Кашулин Н.А., Решетников Ю.С.* Накопление и распределение никеля, меди и цинка в органах и тканях рыб в субарктических водоемах // Вопр. ихтиол. 1995. Т. 35. Вып. № 5. С. 687–697.
- Кашулин Н.А., Амундсен П.-А., Сталдвик Ф. и др.* Ответная реакция организмов рыб водоемов Кольского полуострова на загрязнение их выбросами медно-никелевого комбината // Проблемы лососевых на Европейском Севере / Ред. С.П. Китаев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 71–90.
- Китаев С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 394 с.
- Крупнова М.Ю., Немова Н.Н.* Активность лизосомальных ферментов в органах рыб // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 150–155.
- Кучко Я.А., Ильмаст Н.В., Кучко Т.Ю.* Зоопланктон водоемов верхнего течения системы реки Кенти (Северная Карелия) в условиях длительного промышленного загрязнения // Изв. РАН. Сер. биол. 2015. № 5. С. 552–560.
- Кучко Я.А., Павловский С.А., Ильмаст Н.В.* Гидробиологические особенности водоемов системы р. Кенти // Биота Северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 41–47.
- Лозовик А.П., Кулакова Н.Е.* Гидрохимический состав вод хвостохранилища и оз. Окуневого // Биота Северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 28–38.
- Лозовик П.А., Маркканен С.Л., Морозов А.К. и др.* Поверхностные воды Калевальского района и территории г. Костомукши в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 165 с.
- Лукин А.А., Решетников Ю.С., Терещенко В.Г.* Динамика рыбного населения озера Имандра под влиянием загрязнения и перелова // Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России / Ред. Д.И. Иванов. СПб.: ГосНИОРХ, 2011. С. 217–221.
- Лукина Ю.Н.* Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах Европейско-Сибирской области Палеарктики: Авторф. дис. ... док. биол. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 45 с.
- Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.

- Мещерякова О.В., Чурова М.В., Немова Н.Н.* Энергетический обмен рыб // Биота Северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 161–165.
- Моисеенко Т.И.* Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 262 с.
- Моисеенко Т.И.* Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
- Мурзина С.А., Нефедова З.А., Немова Н.Н.* Особенности гистоморфологической структуры печени и ооцитов рыб, обитающих в хвостохранилище // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 185–194.
- Немова Н.Н.* Биохимические показатели клеточного метаболизма, используемые в биомониторинге и для тестирования состояния гидробионтов // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 95–122.
- Новиков Г.Г.* Рост и энергетика развития костистых рыб в раннем онтогенезе. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 296 с.
- Обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758). Систематика, морфология, образ жизни и роль в экосистемах. М.: КМК, 2016. 279 с.
- Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
- Пальшин Н.И., Сало Ю.А., Кухарев В.И.* Влияние Костомукшского ГОКа на систему р. Кенти. Гидрологические и гидрохимические аспекты // Использование и охрана водных ресурсов бассейна Белого моря (в границах Карелии). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1994. С. 140–161.
- Первозванский В.Я.* Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения. Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.
- Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
- Решетников Ю.С., Акимова Н.В., Попова О.А.* Аномалии в системе воспроизводства рыб при антропогенном воздействии // Изв. Самар. НЦ РАН. 2000. Т. 2. № 2. С. 274–282.
- Решетников Ю.С., Попова О.А., Кашулин Н.А. и др.* Оценка благополучия рыбной части водного сообщества по результатам морфопатологического анализа рыб // Успехи соврем. биол. 1999. Т. 119. № 2. С. 165–177.
- Решетников Ю.С., Попова О.А., Новоселов А.П.* Современное состояние рыб в водоемах Европейского Северо-Востока // Тр. ВНИРО. 2016. Т. 162. С. 7–12.
- Решетников Ю.С., Попова О.А., Стерлигова О.П. и др.* Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
- Сидоров Г.П., Решетников Ю.С.* Лососеобразные рыбы водоемов Европейского Северо-Востока. М.: КМК, 2014. 346 с.
- Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Савосин Д.С.* Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.
- Тяптырянов М.М.* Изменение рыбного населения пресноводных водоемов Якутии в условиях загрязнения. М.: Полиграф Плюс, 2016. 308 с.
- Феоктистов В.М., Сало Ю.А.* Формирование химического состава воды хвостохранилища // Режим эксплуатации хвостохранилища Костомукшского ГОКа. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1990. С. 15–25.
- Чеботарева Ю.В., Савоскул С.П., Савваитова К.А.* Аномалии в строении воспроизводительной системы самок рыб норило-пясинских водоемов Таймыра // Вопр. ихтиол. 1997. Т. 37. № 2. С. 217–223.
- Чурова М.В., Мещерякова О.В., Немова Н.Н.* Оценка роста сига Костомукшского хвостохранилища по некоторым биохимическим и молекулярно-генетическим показателям // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н.Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 166–175.
- Amundsen P.A., Staldvik F.J., Lukin A. et al.* Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia // Sci. Tot. Env. 1997. V. 201. P. 211–224.
- Cairns J.Jr.* Restoration ecology and ecotoxicology // Handbook of ecotoxicology / Eds D.J. Hoffman et al. N.Y.: Lewis Publishers, 2005. P. 1015–1029.
- Elliott M., Hemingway K.L., Krueger D. et al.* From the individual to the population and community responses to pollution // Effects of pollution on fish / Eds A.J. Lawrence, K.L. Hemingway. N.Y.: Blackwell Science, 2003. P. 221–225.
- Gagnon D.F., Holdway A.I.* Respiratory functional activity of gills of some fish species at toxic effect // Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol. 1999. V. 120. № 5. P. 256–266.
- Gamperl A.K.* Metabolism, swimming performance, and tissue biochemistry of high desert redband trout (*Oncorhynchus mykiss* sp.) // Physiol. Biochem. Zool. 2002. V. 75. № 5. P. 413–431.
- Guderley H.* Locomotor performance and muscle metabolic capacities: impact of temperature and energetic status // Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol. 2004. V. 139. № 3. P. 371–382.
- Jeppesen E., Sondergaard M., Jensen J.P. et al.* Lake response to reduce nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case study // Freshwater Biol. 2005. V. 50. № 10. P. 1747–1771.
- Ostbye K., Oxnevad S.F., Vollestad L.A.* Developmental stability in perch in acidic aluminium-rich lakes // Canad. J. Zool. 1997. № 75. P. 919–928.
- Rask M., Mannio J., Forsius M. et al.* How many fish populations in Finland are affected by acid precipitation? // Env. Biol. Fishes. 1995. V. 42. P. 51–63.
- Rodrigues E.L., Fanta E.* Liver histopathology of the fish *Brachydanio rerio* Hamilton-Buchman after acute exposure to sublethal levels of the organophosphate dimethoate 500 // Revista Braz. Zool. 1998. V. 15 (2). P. 441–450.
- Tripathi G.* Scaling of some metabolic enzymes in liver of freshwater teleost: an adaptive mechanism // Z. Naturforsch. 1999. V. 54. № 23. P. 1103–1106.
- Walker C.H., Hopkin S.P., Sibly R.M., Peakall D.B.* Principles of ecotoxicology. L.: Taylor and Francis, 2001. 309 p.

## **Fish Population of the Kenti River System Water Bodies Affected by Long-Term Industrial Pollution, Western Karelia**

**N. V. Ilmast<sup>a, \*</sup> and O. P. Sterligova<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, Russia*

*\*e-mail: [ilmast@mail.ru](mailto:ilmast@mail.ru)*

The species composition of fish from the Kostomuksha Tailings Storage and Koivas and Kento lakes (Western Karelia) was analyzed. Analysis of the results shows that the fish species diversity near the plant is minimal, but it increases from the tailings storage to Lake Kento. Only four (pike, burbot, bleak and roach) out of 12 fish species in the Kenti River system live in all the water bodies; the fish population is dominated by roach. The impoverishment of the fish fauna is largely due to the alkalinity of its habitat and the loss of conditions for the spawning and growth of juveniles (the area occupied by aquatic vegetation is small). The survival and reproduction of the fish under unfavourable conditions are indicative of their high adaptation potential.

*Keywords:* water ecosystems, fish population, industrial pollution