

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ГЕМОПОЭЗ ОБЫКНОВЕННОГО СИГА *COREGONUS LAVARETUS* (L.) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ОЗЕРА ИМАНДРА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. М. Королева^{1,*}, Е. А. Заботкина²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера, Кольский научный центр Российской академии наук, 184209 г. Апатиты, Мурманская обл., Академгородок, д. 14а; e-mail: *koririn@yandex.ru

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,

152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н

Поступила в редакцию 12.08.2024

Исследовали показатели клеток красной и белой крови у озерного малотычинкового сига *Coregonus lavaretus* (L.), выловленного в заливах оз. Имандра, отличающихся по типу сбрасываемых сточных вод. Впервые проанализированы состав и соотношение лейкоцитов на мазках-отпечатках иммунокомпетентных органов (почки, селезенка, печень), определен иммунный статус рыб. Показано, что в периферической крови сегов, обитающих в заливах, загрязненных стоками промышленных предприятий, в соотношении лейкоцитов выражены гранулофилия и лимфопения.

Ключевые слова: озеро Имандра, Рижгуба, губа Белая, обыкновенный сиг, гемоглобин, эритроциты, лейкоциты.

DOI: 10.47021/0320-3557-2024-30-35

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Имандра относится к крупнейшим водоемам Заполярья. Оно расположено в западной части Кольского полуострова на территории Мурманской обл. Длина озера составляет 109 км, средняя ширина — 3.19 км, площадь водного зеркала при нормальном подпорном уровне — 880.4 км². Общая площадь водосбора озера — 12300 км², средняя глубина — 16 м, максимальная — 67 м [Дауальтер и др., 2023 (Dauvalter et al., 2023)]. Узкими протоками оно разделено на три основные части — Большую (Хибинскую), центральную Йокостровскую и южную Бабинскую Имандру.

В Большой Имандре, северной части водоема, вследствие поступления сточных вод горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, хозяйственно-бытовых стоков из населенных пунктов, расположенных по его берегам, и вымывания загрязняющих веществ из донных отложений за последние 90 лет значительно изменился гидрохимический режим. Сток загрязнений имеет выраженное направление с севера от плеса Большая Имандра на юг в плес Йокостровская Имандра. В водоем поступает большое количество взвешенных веществ, нефтепродуктов и других токсикантов неорганической и органической природы.

В северо-западную часть оз. Имандра — губу Монче, переходящую в Рижгубу, из оз. Нюдъявр поступают стоки комбината “Североникель”, включающего плавильный комплекс по получению меди, никеля, кобальта, а также золота, серебра, платины и селена. Объем сточных вод в период 1976–

2020 гг. изменялся от 27.25 до 12.08 млн. м³/год [Дауальтер и др., 2023 (Dauvalter et al., 2023)]. Одновременно со стоками “Североникеля” в губу Монче поступают хозяйственно-бытовые стоки г. Мончегорска (~4.78 млн. м³/год).

Таблица 1. Объемы стока загрязняющих веществ (т) в 2003 г. в оз. Имандра [Доклад о состоянии..., 2004 (Doklad o sostoyanii..., 2004)]

Table 1. Runoff volumes of discharge of typical pollutants (t) in 2003 in Lake Imandra [Doklad o sostoyanii..., 2004]

Показатель Parameters	р. Белая Belaya River	оз. Нюд-Явр Nyud-Yavr Lake
Объем сточных вод, млн. м ³ Volume of water, mln. m ³	15.6	15.7
БПК _{полный} / ВОО _{total}	23.0	60.8
Взвешенные вещества Suspended solids	159.0	158.0
Сульфаты / Sulfates	2945	26886
Хлориды / Chlorides	60	6119
Нитраты / Nitrates	12.4	—
Нитриты / Nitrites	2.8	—
Нефтепродукты Petroleum products	1.0	—
Фтор / Fluorine	104.7	2.0
Азот аммиачный Ammonia nitrogen	—	3.6
Кобальт / Cobalt	—	0.26
Никель / Nickel	—	8.65
Медь / Copper	—	2.0

Примечание. “—” — нет данных.

Note. “—” — not date.

В губу Белую оз. Имандра по рекам Жемчужная и Белая сбрасываются стоки ОАО “Апатит” (кластер Группы “ФосАгро”) — крупнейшего в Европе производителя фосфорсодержащих удобрений, фосфорной и серной кислот — и хозяйственно-бытовые воды городов Кировск и Апатиты (около 14.7 млн м³/год).

В период исследования в 2003 г. сброс сточных вод ОАО “Апатит” составил 135.6 млн. м³, из них загрязненных, недостаточно очищенных — 118.59 млн. м³. С промплощадки “Североникель” ОАО “Кольская ГМК” было сброшено в водоем 16.29 млн. м³ недостаточно очищенных сточных вод, в т.ч. в оз. Нюд-Явр — 15.7 млн. м³ (табл. 1) [Доклад о состоянии..., 2004 (Doklad o sostoyanii..., 2004)].

Ихтиофауна оз. Имандра разнообразна, в нем обитают ценные породы лососевых рыб, сига, хариус, ряпушка, а также щука, язь,

налим, окунь и другие [Кашулин и др., 2013 (Kashulin et al., 2013); Королева, Терентьев, 2019 (Koroleva, Terentyev, 2019)].

Обыкновенный сиг — широко распространенный в оз. Имандра вид, который образует обособленные, приуроченные к определенным местам обитания стада. Подобная особенность позволяет использовать этот вид в качестве тест-объекта при ихтиотоксикологических исследованиях, которые проводятся в акватории озера уже более 50 лет [Моисеенко и др., 2002 (Moiseenko et al., 2002)].

Цель работы — изучение морфофизиологических характеристик периферической крови и иммунокомпетентных органов малотычинковой формы обыкновенного сига *Coregonus lavaretus* (L.), обитающего в оз. Имандра в условиях разнотипного загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для исследования собирали в северной части оз. Имандра — плесе Большая Имандра. Станции отбора проб приведены на рисунке. Сигов отлавливали в конце лета 2003 г. ставными жаберными сетями с размером ячеи от 10 до 50 мм. Измеряли массу и длину тела рыб, определяли пол, стадию зрелости гонад, степень наполнения желудка. Отбор биологического материала производили у живых или свежеснувших экземпляров. Кровь отбирали из гемального канала после каудэктомии.

Общее содержание гемоглобина определяли с помощью гемометра Сали. Подсчет общего количества эритроцитов проводили в камере Горяева, в 0.02 мл крови, фиксированной в 4 мл раствора Хендрикса. Затем из капли отобранной крови на предметном стекле готовили мазок, после высушивания на воздухе его фиксировали этиловым спиртом и окрашивали азур-эозином по Романовскому-Гимза [Методические указания..., 1999 (Metodicheskie ukazaniya..., 1999)].

После вскрытия рыб приготавливали мазки-отпечатки головного и туловищного отделов почек, селезенки и печени, которые фиксировали и окрашивали так же, как и мазки крови.

На мазках периферической крови определяли состав и соотношение эритроцитов, тромбоцитов и лейкоцитов. На мазках-отпечатках органов определяли состав и соотношение лейкоцитов [Методические указания..., 1999 (Metodicheskie ukazaniya..., 1999)]. На тех же мазках крови проводили морфометрическое измерение эритроцитов [Заботкина и др., 2015 (Zabotkina et al., 2015)].

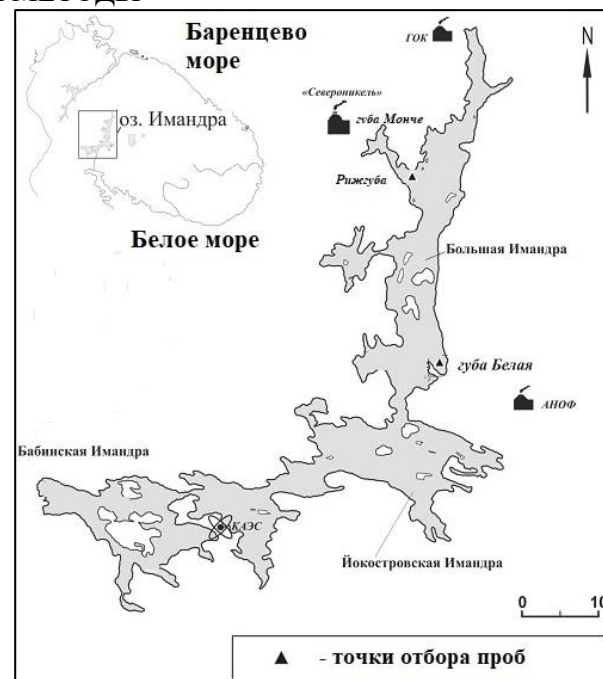


Рисунок. Карта-схема расположения станций отбора проб.

Figure. Map-scheme of the location of sampling stations.

Состав эритроцитов рассчитывали при подсчете 500 кл. и выражали в %. Количество микроядер (МЯ) рассчитывали на 1000 кл. и выражали в %, амитозы и микроциты (МЦ) рассчитывали на 500 кл. и выражали в %. Для расчета морфометрических характеристик эритроцитов измеряли в мкм большой и малый диаметры клетки и ядра. Площадь клетки и ядра рассчитывали как $S = \pi L_1 \times L_2 / 4$, где L_1 — большой диаметр, L_2 — малый диаметр. Ядерно-цитоплазматическое отношение определяли как $ЯЦО = S_{яд.} / (S_{кл.} - S_{яд.})$. Индекс формы

клетки: $Иф = L_2/L_1$, где L_2 и L_1 — малый и большой диаметры клетки [Заботкина и др., 2015 (Zabotkina et al., 2015)]. Лейкоцитарную формулу рассчитывали на 200 кл. на каждом мазке и выражали в %. Сдвиг лейкоцитов рассчитывали как отношение всех гранулярных лейкоцитов к агранулярным (лимфоцитам и моноцитам) [Иванова, 1983 (Ivanova, 1983)].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Морфофизиологическое состояние рыб.

В Рижгубе выловленные сиги в среднем имели массу 277 г (216–513 г) при средней длине по Смитту (L_s) 27.9 см (26.5–32.2 см), возраст рыб — 4+–6+. Все сиги имели II или III стадию зрелости гонад при равном соотношении полов. В губе Белая средняя масса рыб была 253 г (226–388 г) при средней длине по Смитту 27.3 см (26.1–30.5 см). Гонады также находились на II, III и единично на IV стадии зрелости. Соотношение самок и самцов было равным. В улове присутствовали особи в возрасте 5+ и 6+.

Характеристика периферической крови.

Содержание гемоглобина у сигов из Рижгубы колебалось в пределах 60–122 г/л и в среднем составило 86 г/л. Гемоглобин у сигов из губы Белая был выше 94–132 г/л (в среднем 117 г/л). Общее количество эритроцитов у рыб в обеих выборках составило 1 млн./мм³.

Состав эритроцитов периферической крови у сигов из губы Белая отличался от такового у рыб из Рижгубы более низкими долями незрелых и более высокими долями зрелых эритроцитов при сравнимых долях эритробластов (табл. 2). При этом размеры клеток у рыб

Результаты представляли в виде среднего значения и ошибки средней $M \pm m$. Статистическую обработку данных осуществляли в пакете программ Statistica 6.0, с использованием t -теста. Различия считали значимыми при $p \leq 0.05$.

из Белой губы так же были крупнее (табл. 2), имели более вытянутую форму и меньшее ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО), площади клеток достоверно различались. МЦ были отмечены только у рыб из Рижгубы, амитозы отсутствовали. Уровень МЯ в эритроцитах обеих групп сигов не превышал 1–2% и находился в пределах уровня естественного мутагена [Изумов и др., 2003 (Izumov et al., 2003)].

Анализ *состава лейкоцитов* крови показал, что у сигов из Рижгубы доминирующую роль играют нейтрофилы, на чью долю пришлось более половины всех клеток. В норме лейкоцитарная формула периферической крови сига имеет лимфоидный профиль с содержанием лимфоцитов от 70 до 95%. В районе Рижгубы наблюдалось снижение доли лимфоцитов <38%, при этом доля моноцитов была высокой (6.7%). В зоне влияния стоков апатитнефелинового производства (губа Белая) кровь у рыб имела более выраженный лимфоидный характер, хотя и здесь их содержание немногим выше половины всего количества лейкоцитов.

Таблица 2. Состав, соотношение и морфометрические показатели эритроцитов в периферической крови сигов

Table 2. Composition, ratio and morphometric parameters of erythrocytes in the peripheral blood of whitefish

Показатель / Parameter	губа Рижгуба / Rizhguba	губа Белая / Belaya Bay
Эритроциты / Erythrocyte (%)		
Эритробласты / Erythroblasts	0.85±0.39	0.39±0.19
Незрелые эритроциты / Immature red blood cells	3.46±0.37	1.62±0.22*
Зрелые эритроциты / Mature red blood cells	95.68±0.56	97.99±0.40*
Микроциты / Microcytes	1.15±0.51	0
Морфометрические характеристики эритроцитов Morphometric characteristics of erythrocytes		
Малый диаметр клетки, мкм / Small cell diameter, μm	10.22±0.70	10.69±0.88
Большой диаметр клетки, мкм / Large cell diameter, μm	15.27±0.90	17.04±0.40
Малый диаметр ядра, мкм / Small core diameter, μm	4.73±0.50	4.91±0.48
Большой диаметр ядра, мкм / Large core diameter, μm	7.20±0.59	7.47±0.43
Площадь клетки, мкм ² / Cell area, μm^2	122.86±11.49	144.44±12.83*
Площадь ядра, мкм ² / Core area, μm^2	26.91±4.15	28.87±3.89
ЯЦО, усл. ед. The nuclear-cytoplasmic relationship, conventional unit	0.28±0.06	0.25±0.05
Индекс формы клетки, усл. ед. The index of the cell shape, conventional unit	0.67±0.06	0.64±0.05

Примечание. Здесь и в табл. 3 “*” — различия достоверны при $p \leq 0.05$.

Note. Here and in table 3 “*” — the differences are significant at $p \leq 0.05$.

При сопоставлении лейкоцитарного профиля в обеих выборках видно, что сиги из Рижгубы имеют более низкие доли лимфоцитов и более высокие доли моноцитов и нейтрофилов. Содержание гемоцитобластов и эозинофилов практически равное (табл. 3). Сдвиг лейкоцитов в 1.5 раза выше у сигов из Рижгубы — 1.50 ± 0.93 и 1.02 ± 0.77 соответственно.

Относительное количество *тромбоцитов* у сигов из Рижгубы ниже по сравнению с сигами из губы Белая — 21.52 ± 3.94 и $34.73 \pm 26.35\%$ соответственно.

Характеристика лейкоцитов в иммунокомпетентных органах. Показано, что во всех исследованных органах (почке, селезенке и печени) у сигов из обоих заливов наибольшую долю составляли лимфоциты (табл. 3). В селезенке и почках на их долю приходилось более 60%, в печени — 50% всех лейкоцитов. Доли гемоцитобластов были наибольшими в головном и туловищном отделах почек, что согласуется с ролью почек как одного из ведущих органов лейкопоза. В печени

количество этих клеток было минимальным, но у сигов из губы Белая оно было в 3 раза выше, чем у рыб из Рижгубы. Наибольшее количество моноцитов зафиксировано в печени: от 16 (в Рижгубе) до 20% (в губе Белой), и в селезенке: от 13.5 до 8% соответственно. Доля нейтрофилов в обоих отделах почки и селезенке колебалась в пределах 19–24%, кроме таковых в селезенке сигов из губы Белая, где их доля была 13%. Относительное количество нейтрофилов в печени сигов из Рижгубы достигало 31%, что было в 1.7 раза больше такового у рыб из губы Белой. Количество эозинофилов в почке и селезенке не превышало 3%, чаще 1.2–1.6%. В печени сигов из губы Белая доля эозинофилов была кратно выше и достигала 11%, что почти в 3 раза выше, чем в Рижгубе. Плазматические клетки отсутствовали в печени, в селезенке на их долю приходилось <1%. В головной и туловищной почках их содержание было близким — от 2 до 4%, достоверные различия между районами не выявлены (табл. 3).

Таблица 3. Состав и соотношение лейкоцитов в крови и иммунокомпетентных органах сигов из разных заливов оз. Имандра (%)

Table 3. Composition and ratio of leukocytes in the blood and immunocompetent organs of whitefish in different bay of Lake Imandra (%)

Показатель Parameter	Периферическая кровь Peripheral blood	Головной отдел почки Head kidney	Туловищный отдел почки Trunk kidney	Селезенка Spleen	Печень Liver
Гемоцитобласты Hemocytoblasts	$2.42 \pm 0.93^*$ 2.29±1.38	4.90 ± 1.92 3.47±1.81	5.63 ± 3.16 4.82±3.23	2.31 ± 1.83 1.86±1.87	0.27 ± 0.47 0.96±1.01
Лимфоциты Lymphocytes	37.66 ± 18.15 52.64±28.46	67.46 ± 6.19 63.29±3.08	64.88 ± 11.60 68.91±6.0	60.37 ± 6.80 74.84±7.20	47.83 ± 13.43 53.92±8.08
Моноциты/Макрофаги Monocytes/Macrophages	6.70 ± 2.33 2.65±1.62	3.80 ± 0.97 4.14±1.21	5.06 ± 2.42 4.51±2.08	13.46 ± 4.69 7.92±4.08	15.95 ± 4.2 19.66±3.22
Плазматические клетки Plasma cells	—	2.49 ± 1.70 3.66±0.41	2.32 ± 0.70 1.86±0.63	0.83 ± 0.56 0.87±0.25	0 0
Миелоциты Myelocytes	14.88 ± 8.11 5.42±2.88	7.56 ± 5.61 9.73±2.28	5.66 ± 3.32 8.74±4.23	3.88 ± 2.10 3.35±2.24	1.82 ± 3.31 0
Метамиелоциты Metamyelocytes	16.96 ± 5.56 18.96±13.60	4.24 ± 1.79 9.64±4.12	5.50 ± 2.37 6.76±2.45	5.48 ± 2.88 4.33±3.16	4.75 ± 4.65 5.75±3.00
Палочкоядерные нейтрофилы Band neutrophils	10.69 ± 5.51 7.69±6.29	5.05 ± 3.30 2.22±1.47	4.89 ± 2.77 1.17±1.22	6.26 ± 1.84 3.10±2.48	9.45 ± 3.69 5.28±4.99
Сегментоядерные нейтрофилы Segmented neutrophils	9.70 ± 5.56 9.36±6.40	2.22 ± 1.26 2.22±0.73	3.38 ± 1.80 2.06±2.0	5.97 ± 4.77 2.36±1.02	15.53 ± 7.56 8.58±2.71
Эозинофилы Eosinophils	1.00 ± 0.82 0.99±0.02	1.40 ± 1.32 1.64±1.40	2.70 ± 2.32 1.18±1.01	1.44 ± 0.95 1.37±1.79	3.89 ± 3.26 11.11±4.25

Примечание. “—” — нет данных. В числителе рыбы из Рижгубы, в знаменателе — из губы Белая.

Note. “—” — not date. In the numerator are fish from Rizhguba, in the denominator — from Belaya Bay.

Показано, что сброс сточных вод предприятий цветной металлургии горнопромышленного комплекса приводит к развитию неспецифической стрессовой реакции, которая выражается в более низком уровне лимфоцитов и

повышенных долей гранулоцитов, особенно в периферической крови. Количество эритроцитов и лейкоцитов в периферической крови сигов из Большой Имандры существенно ниже по сравнению с сигами из Йокостровской или

Бабинской Имандры, которые загрязнены значительно меньше [Gashkina et al., 2022]. В то же время у этих рыб значительно выше уровень моноцитов и нейтрофильных гранулоцитов [Gashkina et al., 2022]. У сига из районов слабого воздействия сточных вод медно-никелевого комбината (Рижгуба) уровень гемоглобина, размер эритроцитов, количество зрелых эритроцитов, тромбоцитов и лимфоцитов в периферической крови были ниже, чем у сига из района, интенсивно загрязняемого сточными водами апатито-нефелинового производства (губа Белая). Только в этой группе были обнаружены микроциты. Вероятно, это связано с доступностью кислорода в среде для рыб. Известно, что увеличение размеров эритроцитов может быть связано либо с физиологической потребностью вида в высоком насыщении воды кислородом, либо с крайне низким содержанием кислорода в воде [Заботкина и др., 2015]

(Zabotkina et al., 2015)]. Анализ лейкограммы иммунокомпетентных органов показал, что у сига из Рижгубы по сравнению с рыбами из губы Белой более низкие значения относительного количества нейтрофилов в головной почке, лимфоцитов в селезенке, гемоцитобластов и эозинофилов в печени. Вместе с тем у них заметно выше содержание моноцитов/макрофагов в селезенке и нейтрофилов в печени. Сравнение полученных результатов с данными по периферической крови сига, выловленных в условно-чистых водоемах, показатели крови которых можно считать региональной нормой [Королева, 2016 (Koroleva, 2016)] позволяет предположить, что стоки медно-никелевого производства и хозяйственные стоки Мончегорска оказывают большее воздействие на систему кроветворения и иммунную систему рыб, чем стоки апатито-нефелинового комбината и стоки городов Апатиты и Кировск.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гематологические показатели у сига из губы Белая были ближе к показателям, рекомендованным как региональная физиологическая норма, установленная при исследовании сига из условно-фоновых субарктических водоемов, по сравнению с сигами из Рижгубы.

На уровне клеточного звена иммунитета неблагоприятное в состоянии здоровья рыб проявилось в сдвиге лейкоцитарной формулы в сторону усиления миелопоэза и подавления лимфопоэза в периферической крови и иммунокомпетентных органах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124032500015-7 и 1021051803677-1, тема НИР № FMEZ-2022-0008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Даувальтер В.А., Сандимиров С.С., Денисов Д.Б., Демин В.И., Кашулин Н.А., Терентьев П.М., Валькова С.А., Вандыш О.И., Королева И.М., Кудрявцева Л.П., Зубова Е.М., Петрова О.В., Черепанов А.А. Экологическое состояние озера Имандра. Апатиты: изд-во Кольский науч. центр, 2023. 221 с.
- Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2003 году. Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Мурманской области. г. Мурманск, 2004. 138 с.
- Заботкина Е.А., Лапинова Т.Б., Середняков В.Е., Нестерова Т.А. Экологическая пластичность гематологических показателей пресноводных костистых рыб // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2015. № 72(75). С. 16–29.
- Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 184 с.
- Изымов Ю.Г., Таликина М.Г., Чеботарева Ю.В. Количество микроядер в эритроцитах периферической крови плотвы *Rutilus rutilus* (L.) и леща *Abramis brama* (L.) Рыбинского и Горьковского водохранилищ // Биол. внутр. вод. 2003. № 1. С. 98–101.
- Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Вандыш О.И., Королева И.М., Валькова С.А. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейн Баренцева моря, Белого моря и Ботнический залив Балтийского моря). Апатиты: изд-во Кольского научного центра РАН, 2013. Ч.1. 298 с.
- Королева И.М. Гематологические показатели сига обыкновенного *Coregonus lavaretus* в водоёмах Кольского севера // Труды ВНИРО. 2016. Т. 162. С. 37–46.
- Королева И.М., Терентьев П.М. Рыбное сообщество озера Имандра (Кольский полуостров) // География и природные ресурсы. 2019. № 4. С. 116–124. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-4(116-124).
- Методические указания по проведению гематологического обследования рыб. № 13-4-2-/1487. Министерство сельского хозяйства. 1999 г. <https://gov.cap.ru/home/65/aris/bd/vetzac/document/201.html>
- Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Лукин А.А. и др. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / Отв. ред. Т. И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 402 с.
- Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A. et al. The Role of Trace Elements in the Adaptation of Fish Metabolism under Reduced Pollution: A Case Study of the Subarctic Lake Imandra. *Geochem. Int.*, 2022. Vol. 60. № 2. P. 154–169. DOI: 10.1134/S0016702922020057.

REFERENCES

- Dauval'ter V.A., Sandimirov S.S., Denisov D.B., Demin V.I., Kashulin N.A., Terent'ev P.M., Val'kova S.A., Vandysh O.I., Koroleva I.M., Kudryavceva L.P., Zubova E.M., Petrova O.V., Cherepanov A.A. Ekologicheskoe sostoyanie ozera Imandra [Ecological state of Lake Imandra]. Apatity, Izd-vo Kol'skij nauch. centr, 2023. 221 p. (In Russian)
- Doklad o sostoyanii i ohrane okruzhayushchej sredy Murmanskoy oblasti v 2003 godu [Report on the state and protection of the environment of the Murmansk region in 2003]. Murmansk, Izd. Upravlenie prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy MPR Rossii po Murmanskoy oblasti, 2004. 138 p. (In Russian)
- Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A. et al. The Role of Trace Elements in the Adaptation of Fish Metabolism under Reduced Pollution: A Case Study of the Subarctic Lake Imandra. *Geochem. Int.*, 2022, vol. 60, no. 2, pp. 154–169. doi: 10.1134/S0016702922020057.
- Ivanova N.T. Atlas kletok krovi ryb [Atlas of Fish Blood Cells]. Moscow, Izd. Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1983. 184 p. (In Russian)
- Izyumov Yu.G., Talikina M.G., Chebotareva Yu.V. Kolichestvo mikroyader v eritrocitah perifericheskoy krovi plotvy *Rutilus rutilus* (L.) i lescha *Abramis brama* (L.) Rybinskogo i Gor'kovskogo vodohranilishch [The number of micronuclei in peripheral blood erythrocytes of roach *Rutilus rutilus* (L.) and bream *Abramis brama* (L.) of the Rybinsk and Gorky reservoirs]. *Biol. Vnutr. Vod.*, 2003, no. 1, pp. 98–101. (In Russian)
- Kashulin N.A., Sandimirov S.S., Dauval'ter V.A., Kudryavceva L.P., Terent'ev P.M., Denisov D.B., Vandysh O.I., Val'kova S.A. Annotirovannyj ekologicheskij katalog ozer Murmanskoy oblasti: yugo-vostochnaya chast' (Bassejn Belogo morya) [Annotated ecological catalogue of lakes of the Murmansk region: south-eastern part (White Sea basin)]. Apatity, Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra RAN, 2012, Ch. 1. 221 p. (In Russian)
- Koroleva I.M. Gematologicheskie pokazateli siga obyknovennogo *Coregonus lavaretus* v vodoyomah Kol'skogo severa [Hematological parameters of whitefish *Coregonus lavaretus* in water bodies of the Kola North]. *Trudy VNIRO*, 2016, vol. 162, pp. 37–46. (In Russian)
- Koroleva I.M., Terent'ev P.M. Rybnoe soobshchestvo ozera Imandra (Kol'skij poluostrov) [Fish community of Lake Imandra (Kola Peninsula)]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2019, no. 4, pp. 116–124. doi: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-4(116-124). (In Russian)
- Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu gematologicheskogo obsledovaniya ryb [Guidelines for conducting hematological examination of fish]. № 13-4-2-/1487. Ministerstvo sel'skogo hozyajstva. 1999 g. <https://gov.cap.ru/home/65/aris/bd/vet-zac/document/201.html> (In Russian)
- Moiseenko T.I., Dauval'ter V.A., Lukin A.A. i dr. Antropogennye modifikacii ekosistemy ozera Imandra [Anthropogenic modifications of the ecosystem of Lake Imandra]. Eds. T. I. Moiseenko. Moscow, Izd. Nauka, 2002. 402 p. (In Russian)
- Zabotkina E.A., Lapirova T.B., Serednyakov V.E., Nesterova T.A. Ekologicheskaya plastichnost' gematologicheskikh pokazatelej presnovodnyh kostistyh ryb [Ecological plasticity of hematological parameters of freshwater teleost fishes]. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2015, is. 72(75), pp. 16–29. (In Russian)

HEMATOLOGICAL CHARACTERISTICS AND HEMOPOIESIS OF COMMON WHITEFISH *COREGONUS LAVARETUS* (L.) UNDER CONDITIONS OF INDUSTRIAL POLLUTION OF LAKE IMANDRA WATERS (MURMANSK REGION)

I. M. Koroleva^{1,*}, E. A. Zabotkina²

¹*Institute of Industrial Ecology Problems of the North, Kola Scientific Center Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia; e-mail: *koririn@yandex.ru*

²*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, 152742, Borok, Russia*

Revised 12.08.2024

The indices of red and white blood cells were studied in the lake whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) caught in the bays of Lake Imandra, differing in the type of discharged wastewater. For the first time, the composition and ratio of leukocytes in smears-prints of immunocompetent organs (kidneys, spleen, liver) were analyzed, the immune status of fish was determined. It was shown that granulophilia and lymphopenia are expressed in the ratio of leukocytes in the peripheral blood of whitefish living in bays polluted by industrial wastewater.

Keywords: Lake Imandra, Rizhguba, Belaya Bay, common whitefish, hemoglobin, erythrocytes, leukocytes