

## Оценка лейкоцитарного профиля промысловой рыбы из озер Челябинской области

Е. А. Колесник<sup>1</sup>✉, Д. Ю. Нохрин<sup>1</sup>, Ю. Г. Грибовский<sup>1</sup>, А. Н. Торчицкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉E-mail: evgeniy251082@mail.ru

**Аннотация.** Определен лейкоцитарный профиль (лейкоформула) по мазкам из цельной крови окрашенных по Паппенгейму у четырех видов рыб – карася (*Carassius*) ( $n = 10$ ), пеляди (*Coregonus peled*) ( $n = 10$ ), плотвы (*Rutilus rutilus*) ( $n = 5$ ) и окуня (*Perca fluviatilis*) ( $n = 5$ ) в озерах Челябинской области, имеющих рыбохозяйственное значение, Маян, Куракли-Маян и Сугояк. Индивидуальные значения показателей лейкограммы преобразовывали с использованием фи-преобразования арксинуса, вычисляли среднее и 95 % ДИ как для количественных признаков, а полученные результаты ретрансформировали в исходную шкалу с помощью обратного преобразования. Расчеты и графические построения выполнены в пакетах PAST (version 3.20) и KyPlot (version 2.15). Выполненная ветеринарно-санитарная экспертиза обследуемых групп рыбы показала соответствие изученных образцов нормативно-правовым документам. Рыба из всех обследуемых озер по результатам клинического осмотра по анамнезу жизни (*Anamnesis vitae*) соответствовала состоянию здорового организма. В целом полученные результаты соответствовали нормативным данным и обусловлены биологическими особенностями рыбы, типом питания животных. В лейкоформуле всех изученных групп рыб наибольшее количество было представлено лимфоцитами (более 80 %) и нейтрофилами (от 15–20 % в крови окуня из озера Сугояк). Более 30 % содержания нейтрофилов в лейкоцитарном профиле имели караси и пелядь из озер Маян и Куракли-Маян. Однако в процентном соотношении сравнительно максимально преобладали лимфоциты в крови окуня из озера Сугояк – до 80 %. Полученные результаты имеют поисковый характер и являются основой для проведения дальнейших работ по изысканию маркерных показателей экологического и физиологического состояния биологических ресурсов в водоемах, имеющих хозяйственное значение.

**Ключевые слова:** рыбохозяйственные водоемы, лейкоцитарный профиль, лимфоциты, нейтрофилы, рыба.

**Для цитирования:** Колесник Е. А., Нохрин Д. Ю., Грибовский Ю. Г., Торчицкий А. Н. Оценка лейкоцитарного профиля промысловой рыбы из озер Челябинской области // Аграрный вестник Урала. 2019. № 8 (187). С. 39–44. DOI: 10.32417/article\_5d908b85dcb853.25473638.

**Дата поступления статьи:** 09.06.2019.

### Постановка проблемы (Introduction)

Южный Урал характеризуется обилием водоемов с различными гидрохимическими режимами. Челябинская область имеет существенное рыбохозяйственное значение в регионе за счет наличия благоприятных для рыбопромысловой отрасли озер [11–14]. Вместе с тем регион имеет существенную техногенную нагрузку [6, 8, 13, 14]. Конечно, современные природосберегающие технологии в промышленном и прежде всего металлургическом производстве, обеспеченные «умными» фильтрами, способны минимизировать выбросы химических форм поллютантов, в том числе тяжелых металлов. Однако многолетнее наследие горнодобывающей промышленности открытого типа и неадсорбентное металлургическое производство отражаются на природных объектах в совокупности с существенными биогеохимическими провинциями на территории Южного Урала [6, 8, 11–14], влияют на физиологические процессы организма в процессе жизнедеятельности [2, 4, 5, 7, 11].

Физиологическое и клиническое значение микро- и макроэлементов хорошо известно. Многие микроэлементы являются структурообразующими в коферментах энзимов в организме животных и человека [9]. Как избы-

ток, так и недостаток данных эссенциальных элементов за счет синергетических и антагонистических ионно-обменных механизмов, изучаемых в Уральском регионе еще А. А. Кабышем, Г. П. Грибовским и другими авторами, сказывается на стабильности усвоения ионов железа в синтезе гемоглобина крови, реактивности противовоспалительных систем организма [2, 5, 9].

На морфофизиологическом уровне в системе крови тенденции концентраций микроэлементов отражаются в реактивности лейкоцитов [2, 5, 9]. В частности, гранулярные лейкоциты – нейтрофилы, эозинофилы и базофилы – могут отражать тенденции в изменениях внутренней среды под влиянием кратковременных, но обычно интенсивных нагрузок, проявляющихся в аллергических реакциях [4]. Тогда как агранулоциты – лимфоциты и моноциты – являются маркерами хронического воздействия на организм животных и человека. Это обусловлено длительными сроками циркуляции агранулярных клеток белой крови от нескольких недель до десятилетий. Поэтому лейкоцитарный профиль крови имеет важное диагностическое значение в характеристике воздействий микроэлементов на процессы внутренней среды организма, реализации витальных функций животных [2, 5, 17].

В связи с этим целью работы явилась диагностическая характеристика лейкоцитарного профиля рыбы из некоторых промысловых озер Челябинской области.

**Методология и методы исследования (Methods)**

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № 0773-2018-0006 «Разработать методы и средства снижения негативного воздействия экотоксикантов на организм сельскохозяйственных животных на территориях экологического загрязнения зоны Южного Урала».

Отлов рыбы проводился в июле – августе 2018 года на трех озерах в северо-восточной части Челябинской области, имеющих рыбохозяйственное значение: Маяне, Куракли-Маяне и Сугояке. Лейкоцитарный профиль определялся на микроскопе BIOLAR PZO (Польша) по мазкам из цельной крови, окрашенным по Паппенгейму [4, 15, 16]. Всего были изучены 4 вида рыб: карась (*Carassius*) ( $n = 10$ ), пелядь (*Coregonus peled*) ( $n = 10$ ), плотва (*Rutilus rutilus*) ( $n = 5$ ) и окунь (*Perca fluviatilis*) ( $n = 5$ ).

В ходе статистического анализа использовали методы описательной статистики, выборочных сравнений и многомерный анализ [1, 10].

Индивидуальные значения показателей лейкограммы трансформировали с использованием фи-преобразования арксинуса, вычисляли среднее с 95-процентным доверительным интервалом (95 % ДИ), а полученные результаты ретрансформировали в исходную шкалу (в процентах) с помощью обратного преобразования. Многомерный анализ проводили методом анализа главных компонент (principal component analysis – PCA) после предварительного пересчета исходных композиционных данных в открытый формат с помощью центрированного преобразование логарифма отношения (centered log ratio transformation – clr). Полученные в ходе PCA индивидуальные значения меток компонент использовали в однофакторном дисперсионном анализе с последующими апостериорными сравнениями методом Тьюки. Расчеты выполнены в пакетах CoDaPack (version 2.02.21) [18] и PAST (version 3.20) [19].

**Результаты (Results)**

Выполненная ветеринарно-санитарная экспертиза обследуемых групп рыбы показала соответствие изученных образцов нормативно-правовым документам. По результатам клинического осмотра анамнез жизни (*Anamnesis vitae*) соответствовал состоянию здорового организма [2, 4, 5].

Таблица  
**Лейкограмма рыб из трех водоемов Челябинской области в 2018 году. Относительная частота клеток в процентах (95 % ДИ)**

Вид	Лимфоциты	Нейтрофилы сегментоядерные	Нейтрофилы палочкоядерные	Моноциты
Озеро Маян				
Пелядь ( $n = 10$ )	65,2 [59,2; 70,8]	24,8 [19,9; 30,3]	0,08 [0,00; 0,30]	8,7 [5,8; 11,9]
Карась ( $n = 10$ )	75,6 71,9; 79,3	16,9 14,4; 19,5	0,06 0,00; 0,23	6,9 4,9; 9,1
Озеро Куракли-Маян				
Карась ( $n = 10$ )	67,9 [63,2; 72,5]	24,9 [21,2; 29,0]	0,11 [0,00; 0,46]	7,2 [4,4; 10,3]
Озеро Сугояк				
Плотва ( $n = 5$ )	80,7 [7,6; 83,4]	15,1 [12,6; 17,4]	0,00 [-]	4,1 [3,4; 4,8]
Окунь ( $n = 5$ )	79,7 [76,7; 82,0]	16,0 [12,9; 19,1]	0,08 [0,00; 0,32]	3,7 [2,7; 4,4]

Примечание: эозинофилы и базофилы во всех изученных образцах отсутствовали.

Table  
**Leukogram of fish from three reservoirs of the Chelyabinsk region in 2018. The relative frequency of cells in percent [95 % CI]**

Species	Lymphocytes	Segmented-nuclear neutrophils	Rod nuclear neutrophils	Monocytes
Lake Mayan				
<i>Coregonus peled</i> ( $n = 10$ )	65,2 [59,2; 70,8]	24,8 [19,9; 30,3]	0,08 [0,00; 0,30]	8,7 [5,8; 11,9]
<i>Carassius</i> ( $n = 10$ )	75,6 71,9; 79,3	16,9 14,4; 19,5	0,06 0,00; 0,23	6,9 4,9; 9,1
Lake Kurakli-Mayan				
<i>Carassius</i> ( $n = 10$ )	67,9 [63,2; 72,5]	24,9 [21,2; 29,0]	0,11 [0,00; 0,46]	7,2 [4,4; 10,3]
Lake Sugoyak				
<i>Rutilus rutilus</i> ( $n = 5$ )	80,7 [7,6; 83,4]	15,1 [12,6; 17,4]	0,00 [-]	4,1 [3,4; 4,8]
<i>Perca fluviatilis</i> ( $n = 5$ )	79,7 [76,7; 82,0]	16,0 [12,9; 19,1]	0,08 [0,00; 0,32]	3,7 [2,7; 4,4]

Note: eosinophils and basophils in all studied samples were absent.

Рыбы (*Pisces*) как систематическая группа относятся к животным с лимфоидным типом кроветворения, то есть с преобладанием в клеточном составе белых клеток крови – лимфоцитов [4, 5, 7], что также отразилось в полученных результатах по лейкоформуле крови рыб (см. таблицу и рис. 1).

В лейкограммах всех выборок преобладали лимфоциты, на втором месте были сегментоядерные нейтрофилы, на третьем – моноциты. Изредка встречались палочкоядерные нейтрофилы, а эозинофилы и базофилы отсутствовали. В целом полученные результаты соответствуют нормативным данным и обусловлены биологическими особенностями рыбы, типом питания животных [2, 4, 5, 7].

Для выявления наиболее общих закономерностей соотношения лейкоцитов использовали PCA, но с учетом композиционного характера данных. Поскольку все элементы лейкограммы составляют в сумме 100 %, данные показатели не являются независимыми: увеличение доли одного типа клеток в композиции неизбежно сопровождается уменьшением доли других типов. В результате этого традиционные методы анализа корреляций, а также основанные на них многомерные техники типа PCA дают искаженные результаты и могут приводить к неверным выводам. Для работы с такими данными предложены и

активно используются (в первую очередь геологами) специальные преобразования, позволяющие «развернуть» закрытые в композиции значения и сделать их похожими на обычные некомпозиционные данные. Нами было использовано clr-преобразование из пакета CoDaPack [18].

Первая главная компонента (PC 1) объясняла 51,4 % общей изменчивости (дисперсии) данных лейкограмм. Как видно из ординационной диаграммы на рис. 2, она отражала преимущественно соотношение (отрицательная связь) между незрелыми палочкоядерными и зрелыми сегментоядерными формами нейтрофилов.

Известно, что увеличение доли незрелых нейтрофилов полиэтиологично и может являться результатом воспаления, инфекции, интоксикации, физического перенапряжения и др. [4, 7]. Частота таких клеток была крайне низка во всех выборках (см. таблицу). В ходе дисперсионного анализа, проведенного на рассчитанных индивидуальных метках PC 1, различий по рассматриваемому соотношению элементов крови между рыбами из изученных водоемов обнаружено не было:  $F_{(4; 35)} = 0,20$ ;  $P = 0,938$ .

Вторая главная компонента (PC 2) объясняла 28,9 % общей дисперсии данных. Из рис. 2 видно, что она практически не затрагивала соотношения нейтрофилов, а отражала соотношение между лимфоцитами и моноцитами (отрицательная связь). Как показал дисперсионный анализ, различия между выборками рыб по PC 2 были высоко статистически значимыми:  $F_{(4; 35)} = 4,21$ ;  $P = 0,007$ . Наибольший вклад в эти различия внесли пары: карась озера Маян и плотва озера Сугояк ( $P = 0,013$ ), карась озера Маян и окунь озера Сугояк ( $P = 0,046$ ), а также карась озера Куракли-Маян и плотва озера Сугояк ( $P = 0,071$ ). Третья компонента вобрала в себя остаточную изменчивость (19,7 %) и отражала соотношение между сегментоядерными нейтрофилами, с одной стороны, и лимфоцитами с моноцитами – с другой. По PC 3 наблюдалась тенденция к различиям ( $F_{(4; 35)} = 2,58$ ;  $P = 0,054$ ) за счет более высокого значения в карасе из озера Куракли-Маян.

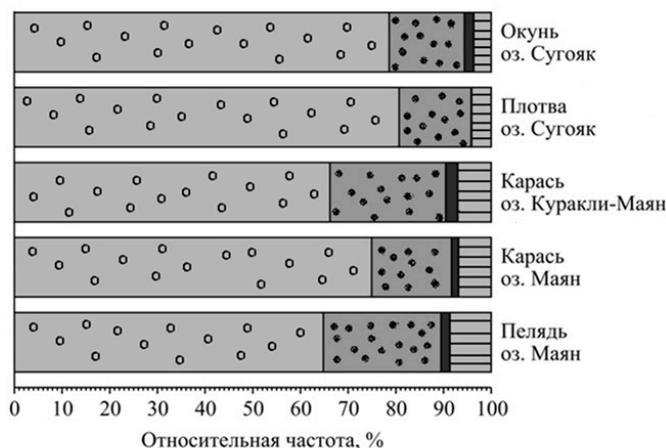


Рис. 1. Лейкограммы крови рыб трех водоемов Челябинской области в 2018 году

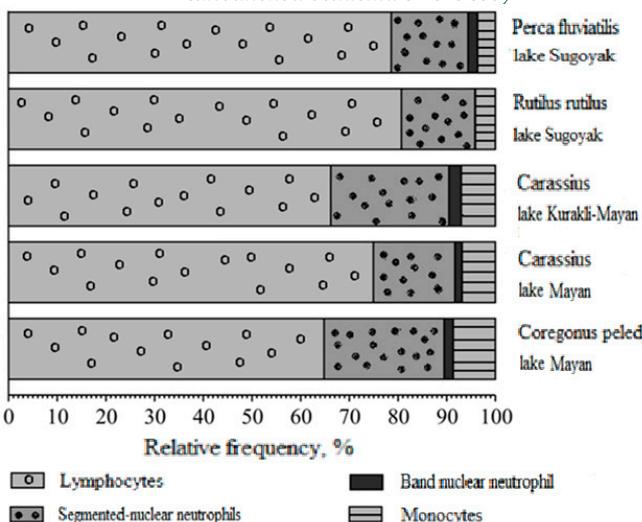


Fig. 1. Leukograms of blood of fish from three reservoirs of the Chelyabinsk region in 2018

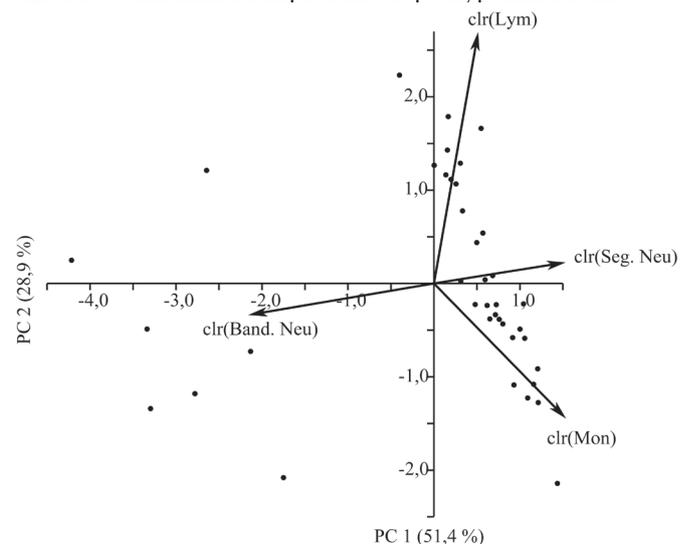


Рис. 2. Преобразованные доли палочкоядерных (Band. Neu) и сегментоядерных (Seg. Neu) нейтрофилов, лимфоцитов (Lym) и моноцитов (Mon) крови рыб в пространстве двух первых главных компонент

Fig. 2. Transformed shares of stab-core (Band. Neu) and segment-nuclear (Seg. Neu) neutrophils, lymphocytes (Lym) and monocytes (Mon) of fish blood in the space of the first two main components

Таким образом, главной особенностью полученных данных является неслучайно более высокая доля лимфоцитов и менее высокая – моноцитов в рыбах озера Сугояк.

Действительно, как видно из таблицы, у рыб озера Сугояк доля лимфоцитов достигала 80 % и более. Следует признать, что прямое сравнение рыб из разных водоемов не вполне корректно, поскольку рыбы принадлежали к разным видам. Тем не менее, важно отметить, что озеро Сугояк испытывает наибольшую из трех водоемов антропогенную нагрузку, являющуюся результатом его рекреационного использования и плотной застройки водосборной площади коттеджами. На это указывают уровни накопления в костной и особенно в мышечной тканях рыб озера Сугояк ряда тяжелых металлов (Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pb), чему будет посвящена отдельная публикация.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Был изучен лейкоцитарный профиль у четырех видов промысловой рыбы из трех озер хозяйственного значения в условиях Челябинской области.

Установлено маркерное наибольшее (около 80 %) содержание лимфоцитов в крови рыб озера Сугояк, испытывающего наибольшую антропогенную нагрузку.

Полученные результаты имеют поисковый характер и являются основой для проведения дальнейших работ по изысканию маркерных показателей экологического и физиологического состояния биологических ресурсов в водоемах, имеющих хозяйственное значение.

### Библиографический список

1. Андреева С. В., Хайдаршина Н. Э., Нохрин Д. Ю. Использование статистических методов в анализе динамики видовой структуры микробных сообществ при ожоговой травме // *Лабораторная служба*. 2019. Т. 8. № 1. С. 65–72.
2. Ахметова В. В., Басина С. Б. Оценка морфологической и биохимической картины крови карповых рыб, выращиваемых в ООО «Рыбхоз» Ульяновского района Ульяновской области // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 3 (31). С. 53–58. DOI: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58.
3. Беспмятных Е. Н., Кривоногова А. С., Донник И. М., Исаева А. Г. Подходы к коррекции иммунобиологического профиля животных // *Ветеринария Кубани*. 2018. № 5. С. 10–13.
4. Болезни рыб. Гематологическое исследование [Электронный ресурс]. 2018. URL: <http://arktifikish.com/index.php/bolezni-ryb/149-gematologicheskoe-issledovanie> (дата обращения: 17.06.2018).
5. Власов В. А., Маслова Н. И., Серветник Г. Е. Морфофизиологическая характеристика маточного поголовья растительноядных рыб рыбхоза «Ергенинский» // *Природообустройство*. 2017. Вып. 2. С. 120–127.
6. Донник И. М., Шкуратова И. А. Молекулярно-генетические и иммунобиохимические маркеры оценки здоровья сельскохозяйственных животных // *Вестник Российской академии наук*. 2017. Т. 87. № 4. С. 362–366.
7. Королева И. М. Гематологические показатели сиговых рыб в водоемах Кольского севера в условиях антропогенной нагрузки // *Проблемы патологии, иммунологии и охраны здоровья рыб и других гидробионтов: расширенные материалы IV Международной конференции*. Борок, 2015. С. 32–39.
8. Красноперова Е. А. Анализ содержания экотоксикантов в мышечной ткани рыб различных семейств // *Состояние и пути развития аквакультуры в российской федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: материалы II национальной научно-практической конференции*. Санкт-Петербург, 2017. С. 62–67.
9. Кравченко О. А., Максин В. И. Особенности поведения и аккумуляция наноаквацитратов меди и цинка в гидроэко системах // *Микроэлементы в медицине*. 2016. Т. 17. Вып. 4. С. 44–48.
10. Медицинская статистика [Электронный ресурс]. 2019. URL: <http://medstatistic.ru/calculators.html> (дата обращения: 10.07.2019).
11. Нохрин Д. Ю., Грибовский Ю. Г., Давыдова Н. А. Корреляционная адаптометрия микроэлементного состава тканей как метод оценки средового стресса (на примере популяций промысловых рыб минерализованного водоема) // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2018. № 4. С. 252–255.
12. Нохрин Д. Ю., Грибовский Ю. Г., Давыдова Н. А. Сравнительная оценка пресноводных водоемов челябинской области по содержанию тяжелых металлов в рыбе // *Аграрный вестник Урала*. 2018. № 10 (177). С. 35–40.
13. Чупракова А. М., Ребезов М. Б. Анализ результатов мониторинга проб мясных и рыбных продуктов на содержание тяжелых металлов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия: Экономика и менеджмент. 2015. Т. 9. № 2. С. 194–201.
14. Юдин М. Ф., Таирова А. Р., Красноперова Е. А. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в системе «вода – донные отложения – гидробионты». Троицк: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2014. 214 с.
15. Markaki Y., Harz H. (Eds.). *Light Microscopy. Methods and protocols*. Series: Methods in molecular biology. New York: Humana Press, 2017. 285 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6810-7.
16. Mulisch M., Welsch U. (Eds.). *Romeis Mikroskopische Technik*. 19. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2015. 611 p. DOI: 10.1007/978-3-642-55190-1.
17. Sheshachalam A., Srivastava N., Mitchell T., Lacy P., Eitzen G. Granule protein processing and regulated secretion in neutrophils // *Frontiers in immunology*. 2014. V. 5. No 448. Pp. 1–11. PubMed ID: 25285096. DOI: 10.3389/fimmu.2014.00448.
18. Thio-Henestrosa, S., Comas M. CoDaPack v2 USER'S GUIDE [e-resource]. 2016. URL: <http://ima.udg.edu/codapack/assets/codapack-manual.pdf> (access date: 10.07.2019).
19. Yu H., Kim J., Lee C. Nutrient removal and microalgal biomass production from different anaerobic digestion effluents with *Chlorella* species // *Scientific Reports*. 2019. 9:6123. Pp. 1–13. DOI: 10.1038/s41598-019-42521-2.

**Об авторах:**

Евгений Анатольевич Колесник<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, [evgeniy251082@mail.ru](mailto:evgeniy251082@mail.ru)

Денис Юрьевич Нохрин<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Юрий Геннадьевич Грибовский<sup>1</sup>, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

Анатолий Николаевич Торчицкий<sup>1</sup>, научный сотрудник

<sup>1</sup>Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

## Assessment of leukocitar profile a fish's of the fishfarming farm lakes of the Chelyabinsk region

E. A. Kolesnik<sup>1</sup>✉, D. Yu. Nokhrin<sup>1</sup>, Yu. G. Gribovsky<sup>1</sup>, A. N. Torchitsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: [evgeniy251082@mail.ru](mailto:evgeniy251082@mail.ru)

**Abstract.** The leukocyte profile (leukoformula) was determined by smears from whole blood painted by Pappenheim in four fish species – carp (*Carassius*) (n = 10), peled (*Coregonus peled*) (n = 10), roach (*Rutilus rutilus*) (n = 5) and perch (*Perca fluviatilis*) (n = 5) in lakes of the Chelyabinsk region of Mayan, Kurakli-Mayan and Sugoyak fishery. Individual values of leukogram indices were transformed using the arcsine phi-transform, the average and 95 % confidence interval (CI) were calculated as for quantitative traits, and the results were re-transformed into the original scale using the inverse transform. Calculations and graphical constructions are made in PAST (version 3.20) and KyPlot (version 2.15) packages. The completed veterinary-sanitary examination of the fish groups examined showed that the samples studied were in compliance with legal documents. The fish from all the examined lakes according to the results of a clinical examination on the history of life (*Anamnesis vitae*) corresponded to the state of a healthy organism. In general, the results obtained corresponded to the regulatory data and were due to the biological characteristics of the fish, the type of animal nutrition. In the leukoformula of all studied groups of fish, the largest number was represented by lymphocytes – more than 80 % and neutrophils from 15–20 % in the blood of the perch from lake Sugoyak. More than 30 % of the neutrophils content in the leukocyte profile had crucians and peled from the lakes Mayan and Kurakli-Mayan. However, as a percentage, lymphocytes prevailed in the blood of a perch from lake Sugoyak in a comparatively maximal manner – up to 80 %. The results obtained are exploratory in nature and are the basis for further work on the search for marker indicators of the ecological and physiological state of biological resources in reservoirs of economic importance.

**Keywords:** fishery reservoirs, leukocyte's profile, lymphocytes, neutrophils, fish.

**For citation:** Kolesnik E. A., Nokhrin D. Yu., Gribovsky Yu. G. Otsenka leykotsitarnogo profilya promyslovoy ryby iz ozyor chelyabinskoy oblasti [Assessment of leukocitar profile a fish's of the fishfarming farm lakes of the Chelyabinsk region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 8 (187). Pp. 39–44. DOI: 10.32417/article\_5d908b85dcb853.25473638. (In Russian.)

### References

1. Andreeva S. V., Khaydarshina N. E., Nokhrin D. Yu. Ispol'zovaniye statisticheskikh metodov v analize dinamiki vidovoy struktury mikrobykh soobshchestv pri ozhogovoy travme [Use of statistical methods in analyzing the dynamics of the species structure of microbial communities in a burn injury] // Laboratory Service. 2019. Vol. 8. No. 1. Pp. 65–72. (In Russian.)
2. Akhmetova V. V., Basina S. B. Otsenka morfologicheskoy i biokhimicheskoy kartiny krovi karpovykh ryb, vyrashchivayemykh v OOO „Rybkhoz,, Ul'yansvskogo rayona Ul'yansvskoy oblasti [Evaluation of the morphological and biochemical blood picture of carp fish grown in the „Rybkhoz,, LLC of the Ulyanovsk district of the Ulyanovsk region] // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2015. No. 3 (31). Pp. 53–58. DOI: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58. (In Russian.)
3. Bespamyatnykh E. N., Krivonogova A. S., Donnik I. M., Isaeva A. G. Podkhody k korrektsii immunobiologicheskogo profilya zhyvotnykh [Approaches to the correction of the immunobiological profile of animals] // Veterinaria Kubani. 2018. No. 5. Pp. 10–13. (In Russian.)
4. Bolezni ryb. Gematologicheskoye issledovaniye [Diseases of fish. Hematological research] [e-resource]. 2018. URL: <http://arktikfish.com/index.php/bolezni-ryb/149-gematologicheskoe-issledovanie> (date of reference: 17.06.2018). (In Russian.)
5. Vlasov V. A., Maslova N. I., Servetnik G. E. [Morfofiziologicheskaya kharakteristika matochnogo pogolov'ya rastitel'noyadnykh ryb rybkhoza „Ergeninskiy,,] Morphological and physiological characteristics of the breeding stock of herbivorous fish from the „Ergeninskiy,, fish farm // Prirodoobustroystvo. 2017. Vol. 2. Pp. 120–127. (In Russian.)
6. Donnik I. M., Shkuratova I. A. Molekulyarno-geneticheskiye i immunobiokhimicheskiye markery otsenki zdorov'ya sel'skokhozyaystvennykh zhyvotnykh [Molecular genetic and immunobiochemical markers of the health assessment of agricultural animals] // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. T. 87. No. 4. Pp. 362–366. (In Russian.)
7. Koroleva I. M. Gematologicheskoye pokazateli sigovykh ryb v vodoyemakh Kol'skogo severa v usloviyakh antropogennoy nagruzki [Hematological indicators of whitefish in the waters of the Kola North under conditions of anthropogenic load] //

Problemy patologii, immunologii i okhrany zdorov'ya ryb i drugikh gidrobiontov: rasshirennyye materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii. Borok, 2015. Pp. 32–39. (In Russian.)

8. Krasnoperova E. A. Analiz sodержaniya ekotoksikantov v myshechnoy tkani ryb razlichnykh semeystv [Analysis of the Content of Ecotoxicants in the Muscle Tissue of Fish of Different Families] // Sostoyaniye i puti razvitiya akvakul'tury v rossiyskoy federatsii v svete importozameshcheniya i obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti strany: materialy II natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Saint-Petersburg, 2017. Pp. 62–67. (In Russian.)

9. Kravchenko O. A., Maksin V. I. Osobennosti povedeniya i akumulyatsii nanoakvatsitratov medi i tsinka v gidroekosistemakh [Peculiarities of behavior and accumulation of copper and zinc nano-aquacitrates in hydro-ecosystems] // Trace Elements in Medicine. 2016. T. 17. No. 4. Pp. 44–48. (In Russian.)

10. Medical statistics [Meditsinskaya statistika] [e-resource]. 2019. URL: <http://medstatistic.ru/calculators.html> (date of reference: 07.10.2019). (In Russian.)

11. Nokhrin D. Yu., Gribovsky Yu. G., Davydova N. A. Korrelyatsionnaya adaptometriya mikroelementnogo sostava tkaney kak metod otsenki sredovogo stressa (na primere populyatsiy promyslovykh ryb mineralizovannogo vodoyema) [Correlation adaptometry of the microelemental composition of tissues as a method for assessing environmental stress (using the example of populations of commercial fish of a mineralized body of water)] // Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine. 2018. No. 4. Pp. 252–255. (In Russian.)

12. Nokhrin D. Yu., Gribovsky Yu. G., Davydova N. A. Sravnitel'naya otsenka presnovodnykh vodoyemov chelyabinskoy oblasti po sodержaniyu tyazhelykh metallov v rybe [Comparative assessment of freshwater bodies of the Chelyabinsk region on the content of heavy metals in fish] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2018. No. 10 (177). Pp. 35–40. (In Russian.)

13. Chuprakova A. M., Rebezov M. B. Analiz rezul'tatov monitoringa prob myasnykh i rybnykh produktov na sodержaniye tyazhelykh metallov [Analysis of the results of monitoring samples of meat and fish products for heavy metals] // Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. 2015. Vol. 9. No. 2. Pp. 194–201. (In Russian.)

14. Yudin M. F., Tairova A. R., Krasnoperova E. A. Osobennosti nakopleniya i raspredeleniya tyazhelykh metallov v sisteme „voda – donnyye otlozheniya – gidrobionty,“ [Features of accumulation and distribution of heavy metals in the system „water – bottom sediments – hydrobionts,“]. Troitsk: South Ural State Agrarian University, 2014. 214 p. (In Russian.)

15. Markaki Y., Harz H. (Eds.). Light Microscopy. Methods and protocols. Series: Methods in molecular biology. New York: Humana Press, 2017. 285 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6810-7.

16. Mulisch M., Welsch U. (Eds.). Romeis Mikroskopische Technik. 19. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2015. 611 p. DOI: 10.1007/978-3-642-55190-1.

17. Sheshachalam A., Srivastava N., Mitchell T., Lacy P., Eitzen G. Granule protein processing and regulated secretion in neutrophils // *Frontiers in immunology*. 2014. V. 5. No 448. Pp. 1–11. PubMed ID: 25285096. DOI: 10.3389/fimmu.2014.00448.

18. Thio-Henestrosa S. Comas M. CoDaPack v2 USER's GUIDE [e-resource]. 2016. URL: <http://ima.udg.edu/codapack/assets/codapack-manual.pdf> (access date: 10.07.2019).

19. Yu H., Kim J., Lee C. Nutrient removal and microalgal biomass production from diferent anaerobic digestion efuents with *Chlorella* species // *Scientific Reports*. 2019. 9:6123. Pp. 1–13. DOI: 10.1038/s41598-019-42521-2.

#### **Authors' information:**

Evgeny A. Kolesnik<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, senior researcher, [evgeniy251082@mail.ru](mailto:evgeniy251082@mail.ru)

Denis Yu. Nokhrin<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, senior researcher

Yuriy. G. Gribovsky<sup>1</sup>, doctor of veterinary sciences, leading researcher

Anatoly N. Torchitsky<sup>1</sup>, researcher

<sup>1</sup>Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of Russian Academy of Sciences