

УДК 599.323.4

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ «КРАСНОЙ» КРОВИ ГРЫЗУНОВ НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Климова^{1*}, М. В. Сиротина^{1,2}

¹ Костромской государственной университет (ул. Дзержинского, 17, Кострома, Россия, 156005), *klimova.a.s.ecology@yandex.ru

² Государственный природный заповедник «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына (ул. Некрасова, 48, Кологрив, Костромская область, Россия, 157440)

Впервые изучены эколого-физиологические и видовые особенности системы «красной» крови рыжей полевки *Myodes glareolus* Schreber, 1780 и малой лесной мыши *Apodemus uralensis* Pallas, 1811 на сопредельных территориях Кологривского и Костромского районов Костромской области. Установлено, что изученные показатели (количество эритроцитов в крови, содержание гемоглобина, уровень гематокрита, диаметр эритроцитов) исследуемых грызунов видоспецифичны и значительно отличаются у особей одного вида, обитающих на территориях биосферного резервата «Кологривский лес» и опытно-производственного хозяйства «Минское». Установлена сопряженность данных показателей с полом, годом исследований, локацией отлова, долей лимфоцитов и нейтрофилов в крови, массой тела особей, индексом селезенки, репродуктивной стратегией грызунов, плотностью популяции и стадией популяционного цикла.

Ключевые слова: эритроциты; рыжая полевка; малая лесная мышь; адаптация; экологическая физиология; гематологические показатели; Костромская область

Для цитирования: Климова А. С., Сиротина М. В. Характеристика системы «красной» крови грызунов на сопредельных территориях Костромской области // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 7. С. 47–61. doi: 10.17076/eb1894

A. S. Klimova^{1*}, M. V. Sirotnina^{1,2}. CHARACTERISTICS OF THE “RED” BLOOD SYSTEM IN RODENTS IN ADJACENT AREAS OF THE KOSTROMA REGION

¹ Kostroma State University (17 Dzerzhinskiy St., 156005 Kostroma, Russia), *klimova.a.s.ecology@yandex.ru

² Kologrivsky Les State Nature Reserve (48 Nekrasova St., 157440 Kologriv, Kostroma Region, Russia)

The eco-physiological and species-specific features of the “red” blood system of the bank vole *Myodes glareolus* Schreber, 1780 and the Ural field mouse *Apodemus uralensis* Pallas, 1811 in adjacent areas of the Kologriv and Kostroma Districts of the Kostroma Region were studied for the first time. The studied parameters (RBC count, hemoglobin content, hematocrit level, erythrocyte diameter) were found to be species-specific and differed significantly in individuals from the Kologrivsky Les Biosphere

Reserve versus Minskoe pilot farm. These indices proved to correlate with sex, year of survey, sampling location, proportions of lymphocytes and neutrophils in blood, body weight of individuals, spleen index, the rodents' reproductive strategy, population density, and population cycle phase.

Keywords: erythrocytes; bank vole; Ural field mouse; adaptation; ecological physiology; hematological parameters; Kostroma Region

For citation: Klimova A. S., Sirotina M. V. Characteristics of the "red" blood system in rodents in adjacent areas of the Kostroma Region. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2024. No. 7. P. 47–61. doi: 10.17076/eb1894

Введение

В настоящее время одной из центральных тем в области экологии является понимание того, как различные факторы среды влияют на распространение и состояние популяций диких животных [Williams et al., 2002]. Особое внимание уделяется пониманию адаптивных физиологических особенностей, направленных на приспособление популяций к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды. Верификация данных механизмов, которые могут отражаться на количественных и качественных особенностях состава циркулирующей крови, позволяет проводить оценку степени воздействия среды обитания и составления экологического «портрета» как отдельных особей, так и популяций в целом, что имеет первостепенное значение в раскрытии многих общебиологических закономерностей [Козинец и др., 2007; Тарахтий, Давыдова, 2007; Сабанова, 2008, 2010; Моисеева, 2016; Емжуева и др., 2021].

Одной из основных составляющих ответных реакций организма на различные факторы являются реакции газотранспортной функции крови [Тарахтий и др., 2009]. Эритроциты играют ведущую роль в снабжении тканей кислородом, являются жизненно важной физиологической характеристикой здоровья и физической формы организма [Кижина и др., 2019; Brown et al., 2021]. Величина красных клеток является видоспецифической характеристикой, которая сформировалась эволюционно [Ruiz et al., 2004; Кижина и др., 2019; Kizhina et al., 2020]. При этом их количество и размер значительно различаются у разных видов животных в зависимости от ряда факторов. Так, установлена связь показателей системы «красной» крови с размером тела [Kostelecka-Myrcha, 1973, 2002; Кижина и др., 2019; Kizhina et al., 2020], географическим расположением [Сабанова, 2010; Емжуева, 2013; Боттаева, 2017], сезонной динамикой [Ruiz et al., 2004; Сабанова, 2008;

Тарахтий и др., 2009; Емжуева и др., 2023], популяционными волнами [Тарахтий и др., 2007; Huitu et al., 2007], наличием техногенных загрязнений [Тарахтий, Жигальский, 2014; Tete et al., 2015; Orekhova, 2018], погодными условиями, в частности с температурой окружающей среды [Ruiz et al., 2004; Тарахтий, Давыдова, 2007; Beldomenico et al., 2008; Kusumoto, 2015]. Воздействие в природных условиях одновременно множества факторов на млекопитающих затрудняет интерпретацию получаемых результатов по изменчивости дыхательной способности их крови и все еще остается предметом обсуждений [Тарахтий и др., 2007].

Микромаммалии – одна из наиболее предпочитаемых модельных териологических групп для проведения подобных исследований благодаря их многочисленности, широкому географическому и биотопическому распространению, высокой плодовитости и способности к быстрому половому созреванию при относительно короткой продолжительности жизни.

На сопредельных территориях Костромской области, которая относится к группе южнотаежных природных комплексов, в качестве доминирующих видов среди мышевидных грызунов выступают рыжая полевка *Myodes glareolus* Schreber, 1780 и малая лесная мышь *Apodemus uralensis* Pallas, 1811 [Климова, Сиrotина, 2022].

Цель настоящей работы – оценить влияние физиологических (масса тела особей, пол, репродуктивная стратегия) и экологических (стадия популяционного цикла, локация отлова, наличие инфекций) факторов на параметры эритроцитов в крови особей популяций доминирующих видов мышевидных грызунов, обитающих на охраняемых и антропогенно трансформированных территориях Костромской области.

Материалы и методы

Гематологические исследования проводили в летний период 2021–2023 гг. на территории

государственного природного заповедника «Кологривский лес» (южнотаежный ельник, Костромская область, Кологривский район) и Костромского лесничества ОПХ «Минское» (смешанный лес, Костромская область, Костромской район). Отлов микромаммалий проводили с безвозвратным изъятием с помощью живоловок, принцип расположения которых основан на методе ловушко-линий [Шефтель, 2018]. Всего исследовано 260 мышевидных грызунов: 161 особь рыжей полевки (92 грызуна на территории Кологривского леса – 47 самцов и 45 самок; 69 грызунов на территории Костромского лесничества – 34 самца и 35 самок) и 99 особей малой лесной мыши (53 – в Кологривском лесу: 27 самцов и 26 самок; 46 – в Костромском лесничестве: 23 самца и 23 самки).

Забор крови у объектов исследования осуществлялся путем пункции сердца после слабого наркоза эфиром [Diehl et al., 2001; Сорокина и др., 2019; Амиров и др., 2020]. Для сохранения образцов крови с целью последующего анализа использовали вакуумные пробирки с антикоагулянтом (ЭДТА). Все манипуляции с мелкими млекопитающими проводили в соответствии с Международными рекомендациями (этическим кодексом) по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (1985 г.), а также этическими стандартами, утвержденными правовыми актами РФ и международными принципами Базельской декларации о гуманном отношении к животным и правил проведения работ с использованием экспериментальных животных (2010 г.).

У каждой особи определяли пол, массу тела (с точностью до 0,01 г), морфометрические и морфофизиологические показатели, репродуктивный статус [Шварц и др., 1968; Карасева и др., 2008; Оленев, 2009; Оленев, Григоркина, 2019]. Изготовление мазков крови проводили по стандартной методике [Лабораторные..., 1987]. Для каждой особи приготовлены препараты крови не менее чем в трех повторностях. Идентификация форменных элементов крови проводилась по атласам клеток крови сельскохозяйственных и лабораторных животных [Риган и др., 2000; Theml et al., 2004].

Количество эритроцитов и лейкоцитов определяли в камере Горяева, их морфологические особенности – на мазках крови, окрашенных по Паппенгейму красителем-фиксатором Мая – Грюнвальда и красителем Романовского (MiniMed, Россия). Измерение диаметра эритроцитов (мкм) проводили прямым микрометрическим методом с помощью винтового окуляр-микрометра МАВ при увеличении 100х

на сухих окрашенных препаратах крови, с использованием микроскопа Биомед-3 с масляной иммерсией.

Уровень гемоглобина в крови измеряли с помощью портативного анализатора крови EasyTouch GCHb (Тайвань, Китай). Гематокрит определяли, используя метод центрифугирования, по числу делений в гематокритном капилляре, занимаемых форменными элементами. Цветной показатель (в ед.) вычисляли путем деления утроенного числа гемоглобина (г/л) на первые три цифры числа эритроцитов (млн). Средний объем эритроцитов рассчитывали путем деления гематокритной величины 1 мм³ крови на число эритроцитов (10¹²/л). Среднее содержание гемоглобина в эритроците (в %) вычисляли делением величины гемоглобина (г/л) на число эритроцитов (10¹²/л). Среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците (в %) рассчитывали путем деления гемоглобина крови (г/л) на гематокрит (%) [Theml et al., 2004; Тарахтий, Давыдова, 2007; Тарахтий и др., 2007; Сабанова, 2008, 2010; Гудова и др., 2017; Полозюк, Ушакова, 2019; Сорокина и др., 2019; Амиров и др., 2020; Емкужева и др., 2021]. Для установления наличия долговременных стрессовых воздействий на организм грызунов вычисляли показатель «отношение сегментоядерных нейтрофилов к лимфоцитам» [Davis et al., 2008; Климова, Сиротина, 2024].

Статистическая обработка данных проведена с применением пакета программ Microsoft Office Excel и Statistica 10 [Усманов, 2020]. Описательная статистика включала в себя среднее арифметическое (\bar{X}), ошибку среднего арифметического ($S_{\bar{x}}$), коэффициент вариации (Cv). Степень достоверности межгрупповых различий определена с помощью непараметрического дисперсионного анализа Краскела – Уоллиса (Kruskal-Wallis H-теста), с post-hoc тестом по Манну – Уитни, использовали поправку на множественность сравнений FDR (false discovery rate) [Унгурияну, Гржибовский, 2014; Баврина, 2021]. Различия считались статистически достоверными при $p < 0,05$. Для оценки скоррелированности изученных показателей применяли ранговый непараметрический коэффициент Спирмена (r_s) при уровнях значимости $p < 0,05$ [Гржибовский, 2008]. Для определения силы и значимости влияния различных факторов на исследуемые показатели крови применялся метод многофакторного дисперсионного анализа (MANOVA), статистически достоверными считались результаты при $p < 0,05$ [Коросов, Горбач, 2017].

Результаты и обсуждение

Рыжая полевка и малая лесная мышь, будучи систематически близкими видами, различаются по уровню базального метаболизма, который в значительной степени определяется кислород-транспортными возможностями крови и зависит от многих факторов: массы тела, особенностей питания, таксономии, климата, среды обитания. Филогенез определяет границы ответной реакции «красной» крови. При этом выраженность физиологического ответа на различные факторы будет определяться условиями окружающей среды [McNab, 2008]. Так, различия в степени влияния массы тела на размер эритроцитов зависят и от других эндогенных и экзогенных факторов [Kizhina et al., 2020]. Например, согласно последним сообщениям, размер эритроцитов фенотипически пластичен и существенно зависит от температуры и времени года [Тарахтий, Давыдова, 2007; Goodman, Neah, 2010].

По результатам многофакторного дисперсионного анализа установлено, что наибольший вклад в дисперсию содержания эритроцитов и гематокрита в крови исследуемых видов грызунов вносит локация отлова, в содержание гемоглобина – пол, в диаметр эритроцитов – вид (табл.).

Данные факторы, а также специфика репродуктивной стратегии грызунов, масса тела особей, стадия популяционного цикла и их взаимо-

действие на 40–75 % объясняют дисперсию показателей системы «красной» крови грызунов.

Существенное влияние на количество эритроцитов оказывает такой фактор, как локация отлова, на их диаметр – масса тела особей. Кроме того, установлено, что видовая принадлежность грызуна влияет на количество и диаметр эритроцитов, содержание гемоглобина в крови. Половая принадлежность также значительно влияла на три указанных выше показателя и на уровень гематокрита. Особенность репродуктивной стратегии оказывала влияние только на количество и диаметр эритроцитов. Стадия популяционного цикла влияла на все исследуемые показатели.

Также отмечено, что значимое ($p < 0,001$) совместное действие представленных факторов на показатели системы «красной» крови в ряде случаев превышает 10 %.

Графическая иллюстрация межпопуляционных различий показателей крови рыжей полевки и малой лесной мыши, обитающих на территории заповедника и опытно-производственного хозяйства, в зависимости от пола приведена на рис. 1 и 2.

Половой диморфизм по исследуемым характеристикам «красной» крови более выражен у грызунов обоих видов, обитающих на территории ОПХ «Минское». На территории Костромского лесничества установлено, что у самцов рыжей полевки такие показатели крови, как содержание гемоглобина ($p = 0,001$ при $U = 35$),

Результаты анализа влияния различных факторов на показатели «красной» крови цикломорфных грызунов на территории Костромской области методом MANOVA (type III)

Results of the analysis of various factors influence on the «red» blood counts of cyclomorphic rodents in the Kostroma Region by the MANOVA method (type III)

Фактор Factor	Показатели крови Blood counts			
	Содержание эритроцитов в крови, млн в мкл Content of red blood cells in the blood, million in μ l	Содержание гемоглобина в крови, г/л Hemoglobin content in the blood, g/l	Уровень гематокрита в крови, % Hematocrit level in the blood, %	Диаметр эритроцитов, мкм Erythrocyte diameter, μ m
А	$\eta^2 = 2,14 \%$ F = 11,39 $p < 0,001$	$\eta^2 = 5,19 \%$ F = 73,9 $p < 0,001$	-	$\eta^2 = 9,63 \%$ F = 38,03 $p < 0,001$
Б	$\eta^2 = 1,33 \%$ F = 7,08 $p < 0,01$	$\eta^2 = 11,89 \%$ F = 169,3 $p < 0,001$	$\eta^2 = 0,99 \%$ F = 12,10 $p < 0,001$	$\eta^2 = 1,48 \%$ F = 5,83 $p < 0,05$
В	$\eta^2 = 5,00 \%$ F = 3,47 $p < 0,01$	$\eta^2 = 1,89 \%$ F = 2,36 $p < 0,05$	-	$\eta^2 = 4,30 \%$ F = 2,99 $p < 0,01$
Г	$\eta^2 = 21,74 \%$ F = 115,84 $p < 0,001$	$\eta^2 = 5,70 \%$ F = 81,2 $p < 0,001$	$\eta^2 = 5,30 \%$ F = 64,87 $p < 0,001$	-

Окончание табл.
Table (continued)

Фактор Factor	Показатели крови Blood counts			
	Содержание эритроцитов в крови, млн в мкл Content of red blood cells in the blood, million in μl	Содержание гемоглобина в крови, г/л Hemoglobin content in the blood, g/l	Уровень гематокрита в крови, % Hematocrit level in the blood, %	Диаметр эритроцитов, мкм Erythrocyte diameter, μm
Д	$\eta^2 = 3,32\%$ F = 14,79 $p < 0,001$	-	-	$\eta^2 = 2,50\%$ F = 8,92 $p < 0,01$
Е	$\eta^2 = 5,72\%$ F = 15,24 $p < 0,001$	$\eta^2 = 0,96\%$ F = 6,8 $p < 0,01$	$\eta^2 = 2,16\%$ F = 13,18 $p < 0,001$	$\eta^2 = 3,84\%$ F = 7,59 $p < 0,001$
А-Б	-	$\eta^2 = 16,74\%$ F = 238,5 $p < 0,001$	-	-
А-В	$\eta^2 = 3,09\%$ F = 2,15 $p < 0,05$	-	-	-
Б-В	-	-	$\eta^2 = 5,73\%$ F = 2,36 $p < 0,05$	-
А-Г	$\eta^2 = 4,57\%$ F = 24,34 $p < 0,001$	$\eta^2 = 1,17\%$ F = 16,70 $p < 0,001$	$\eta^2 = 18,76\%$ F = 229,44 $p < 0,001$	$\eta^2 = 10,12\%$ F = 39,97 $p < 0,001$
Г-Е	$\eta^2 = 1,07\%$ F = 5,71 $p < 0,05$	$\eta^2 = 0,97\%$ F = 13,8 $p < 0,001$	$\eta^2 = 0,62\%$ F = 7,62 $p < 0,01$	$\eta^2 = 1,09\%$ F = 11,16 $p < 0,001$
А-Е	-	$\eta = 1,49\%$ F = 10,6 $p < 0,001$	$\eta^2 = 7,89\%$ F = 48,22 $p < 0,001$	-
Б-Е	-	-	$\eta^2 = 4,39\%$ F = 26,89 $p < 0,001$	-
Д-Е	$\eta^2 = 2,79\%$ F = 6,21 $p < 0,01$	-	$\eta^2 = 3,32\%$ F = 6,77 $p < 0,01$	-
В-Г	$\eta^2 = 1,45\%$ F = 3,87 $p < 0,05$	$\eta^2 = 1,04\%$ F = 7,4 $p < 0,001$	$\eta^2 = 1,50\%$ F = 26,86 $p < 0,001$	-
А-Б-Г	$\eta^2 = 1,23\%$ F = 6,54 $p < 0,05$	$\eta^2 = 0,53\%$ F = 7,6 $p < 0,01$	$\eta^2 = 10,82\%$ F = 132,32 $p < 0,001$	$\eta^2 = 2,83\%$ F = 11,16 $p < 0,001$
А-Б-Е	-	-	$\eta^2 = 0,75\%$ F = 4,58 $p < 0,05$	-
А-Г-Е	-	$\eta^2 = 1,01\%$ F = 7,20 $p < 0,001$	$\eta^2 = 8,50\%$ F = 51,99 $p < 0,001$	-
Б-Г-Е	-	-	$\eta^2 = 1,84\%$ F = 11,24 $p < 0,001$	-
А-Д-Е	-	-	-	$\eta^2 = 4,07\%$ F = 7,28 $p < 0,001$

Примечание. η^2 – степень влияния фактора; F – коэффициент; p – уровень значимости различий; факторы: А – видовая принадлежность; Б – пол; В – масса тела особей; Г – локация отлова; Д – репродуктивная стратегия особей; Е – стадия популяционного цикла; А-Б, А-В, Б-В, А-Г, Г-Е, А-Е, Б-Е, Д-Е, А-Б-Г, А-Б-Е, А-Г-Е, Б-Г-Е, А-Д-Е – совместное действие факторов; представлено только достоверное влияние факторов по данным дисперсионного анализа.

Note. η^2 – degree of the factor influence; F – coefficient; p – level of the differences significance; factors: А – species; Б – sex; В – body weight of individuals; Г – capture location; Д – reproductive strategy of individuals; Е – stage of the population cycle; А-Б, А-В, Б-В, А-Г, Г-Е, А-Е, Б-Е, Д-Е, А-Б-Г, А-Б-Е, А-Г-Е, Б-Г-Е, А-Д-Е – combined effect of the factors; the table provides only significant influences of the factors according to the data of analysis of variance.

уровень гематокрита ($p = 0,001$ при $U = 655$), диаметр эритроцитов ($p = 0,001$ при $U = 948,50$), средний объем эритроцитов ($p = 0,001$ при $U = 909$), достоверно выше по сравнению с самками (рис. 1). При этом средняя концентрация гемоглобина в эритроците, напротив, выше у самок ($p < 0,004$ при $U = 683$). На территории заповедника у самцов достоверно выше содержание гемоглобина ($U = 39,50$; $Z = 7,95$; $p = 0,001$), цветной показатель ($U = 737$; $Z = 2,50$; $p = 0,012$), среднее содержание гемоглобина в эритроците ($U = 382$; $Z = 5,27$; $p < 0,001$) и средняя концентрация гемоглобина в эритроците ($U = 683$; $Z = 2,92$; $p < 0,004$). В то время как диаметр эритроцитов, напротив, выше у самок ($U = 736,5$; $Z = -2,50$; $p = 0,012$). Поскольку в основе изменчивости показателей «красной» крови лежит энергетический механизм [Калабухов, 1969], следует предположить, что высокая кислородная емкость крови у самцов обусловлена повышенной их активностью и подверженностью влиянию различных факторов по сравнению с самками в период исследования [Геодакян, 1974; Грищенко, 2002].

Межпопуляционные достоверные различия грызунов установлены для шести исследуемых признаков. Значения таких показателей, как количество эритроцитов ($U = 1640,5$; $Z = 5,24$; $p = 0,001$), содержание гемоглобина ($U = 1889,5$; $Z = 4,39$; $p = 0,001$), диаметр эритроцитов ($U = 2109,5$; $Z = 3,64$; $p = 0,001$) и средняя концентрация гемоглобина в эритроците ($U = 1872$; $Z = 4,45$; $p = 0,001$), значимо выше у грызунов, обитающих на территории заповедника. Средний объем эритроцитов ($U = 1354$; $Z = -6,22$; $p = 0,001$) и среднее содержание гемоглобина в эритроците ($U = 2347,5$; $Z = -2,82$; $p = 0,005$), напротив, достоверно выше у грызунов, обитающих на территории Костромского лесничества. Уменьшение количества эритроцитов в крови грызунов при высоком их насыщении гемоглобином является одним из механизмов повышения кислородной емкости крови для обеспечения кислородного запроса рыжей полевки в условиях ОПХ «Минское» [Скоркина, 2003; Емкужева, 2013; Емкужева и др., 2021; Волошан и др., 2023].

Аналогичный анализ гематологических параметров проведен для субдоминантного вида цикломорфных грызунов Кологривского и Костромского района Костромской области – малой лесной мыши (рис. 2). Установлено, что на территории опытно-производственного хозяйства такие показатели, как количество эритроцитов ($U = 130$; $Z = -2,94$; $p = 0,003$), уровень гематокрита ($U = 81$; $Z = -4,02$; $p = 0,001$) и диаметр эритроцитов ($U = 133,5$; $Z = -2,87$;

$p = 0,004$), достоверно выше у самок популяции по сравнению с самцами. В данном случае высокий уровень гематокрита у самок по сравнению с самцами обусловлен повышением количества и объема эритроцитов [Емкужева, 2013]. Цветной показатель ($U = 140,5$; $Z = 2,71$; $p = 0,007$), среднее содержание гемоглобина в эритроците ($U = 140,5$; $Z = 2,71$; $p = 0,007$) и средняя концентрация гемоглобина в эритроците ($U = 90$; $Z = 3,82$; $p = 0,001$), напротив, выше у самцов по сравнению с самками, которые обеспечивают большую кислородную емкость крови. На территории же Кологривского заповедника у самцов достоверно выше уровень гематокрита ($U = 111$; $Z = 4,26$; $p = 0,001$), а также средний объем эритроцитов ($U = 175$; $Z = 3,12$; $p = 0,002$), в то время как средняя концентрация гемоглобина в эритроците ($U = 92$; $Z = -4,60$; $p = 0,001$) выше у самок. По остальным приведенным признакам достоверных различий не установлено.

Межпопуляционные достоверные различия у малой лесной мыши установлены для 7 признаков из 8 исследуемых. У грызунов, обитающих на территории биосферного резервата, количество эритроцитов в крови ($U = 20$; $Z = 8,41$; $p = 0,001$), содержание гемоглобина ($U = 644,5$; $Z = 4,03$; $p = 0,001$) и уровень гематокрита ($U = 71$; $Z = 8,05$; $p = 0,001$) достоверно выше по сравнению с особями, обитающими на территории ОПХ «Минское». Цветной показатель, диаметр эритроцитов, среднее содержание гемоглобина в эритроците и средняя концентрация гемоглобина в эритроците, напротив, достоверно выше у мышевидных грызунов на территории лесничества ($p < 0,001$).

В связи с достоверными видовыми различиями показателей крови у грызунов ($p < 0,05$) корреляции рассчитывались отдельно для каждого вида.

Цветной показатель, средний объем эритроцитов, среднее содержание и концентрация гемоглобина в эритроцитах при оценке сопряженности не брались в учет, так как зависят от указанных выше показателей системы «красной» крови.

Установлены достоверные корреляционные связи показателей системы «красной» крови (количество эритроцитов, содержание гемоглобина, уровень гематокрита, диаметр эритроцитов) грызунов с полом, годом исследований, локацией отлова, долей лимфоцитов и нейтрофилов в крови, массой тела особей, индексом селезенки, репродуктивной стратегией грызунов, плотностью популяции и стадией популяционного цикла (рис. 3 и 4).

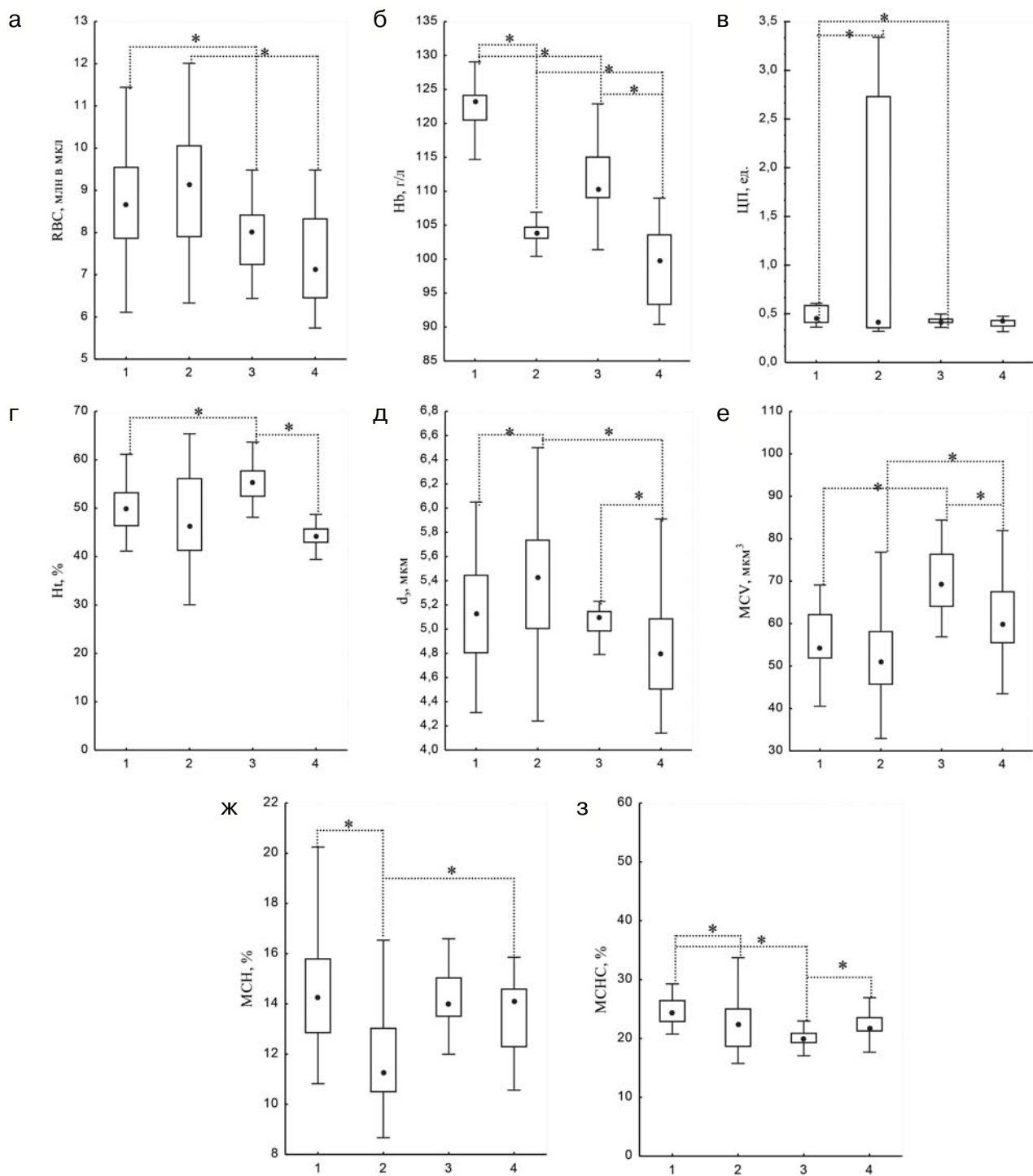


Рис. 1. Значения параметров «красной» крови самцов и самок рыжей полевки на сопредельных территориях Костромской области.

Здесь и на рис. 2: 1, 2 – самцы и самки на территории заповедника; 3, 4 – самцы и самки на территории лесничества; а – количество эритроцитов; б – гемоглобин; в – цветной показатель; г – гематокрит; д – диаметр эритроцитов; е – средний объем эритроцитов; ж – среднее содержание гемоглобина в эритроците; з – средняя концентрация гемоглобина в эритроците; точка – медиана; вертикальная черта – пределы колебаний; \square – 25%–75% квантили; * – достоверные различия ($p < 0,05$), критерий Манна – Уитни

Fig. 1. Values of the parameters of the «red» blood of male and female red voles in the adjacent territories of the Kostroma Region.

Here and in Fig. 2: 1, 2 – males and females on the territory of the reserve; 3, 4 – males and females on the territory of the forestry; а – red blood cells; б – hemoglobin; в – color indicator; г – hematocrit; д – erythrocyte diameter; е – average volume of red blood cells; ж – mean hemoglobin concentration; з – mean corpuscular hemoglobin concentration; dot – median; vertical line – limits of fluctuations; \square – 25%–75% quartiles; * – significant differences ($p < 0.05$), Mann – Whitney U test

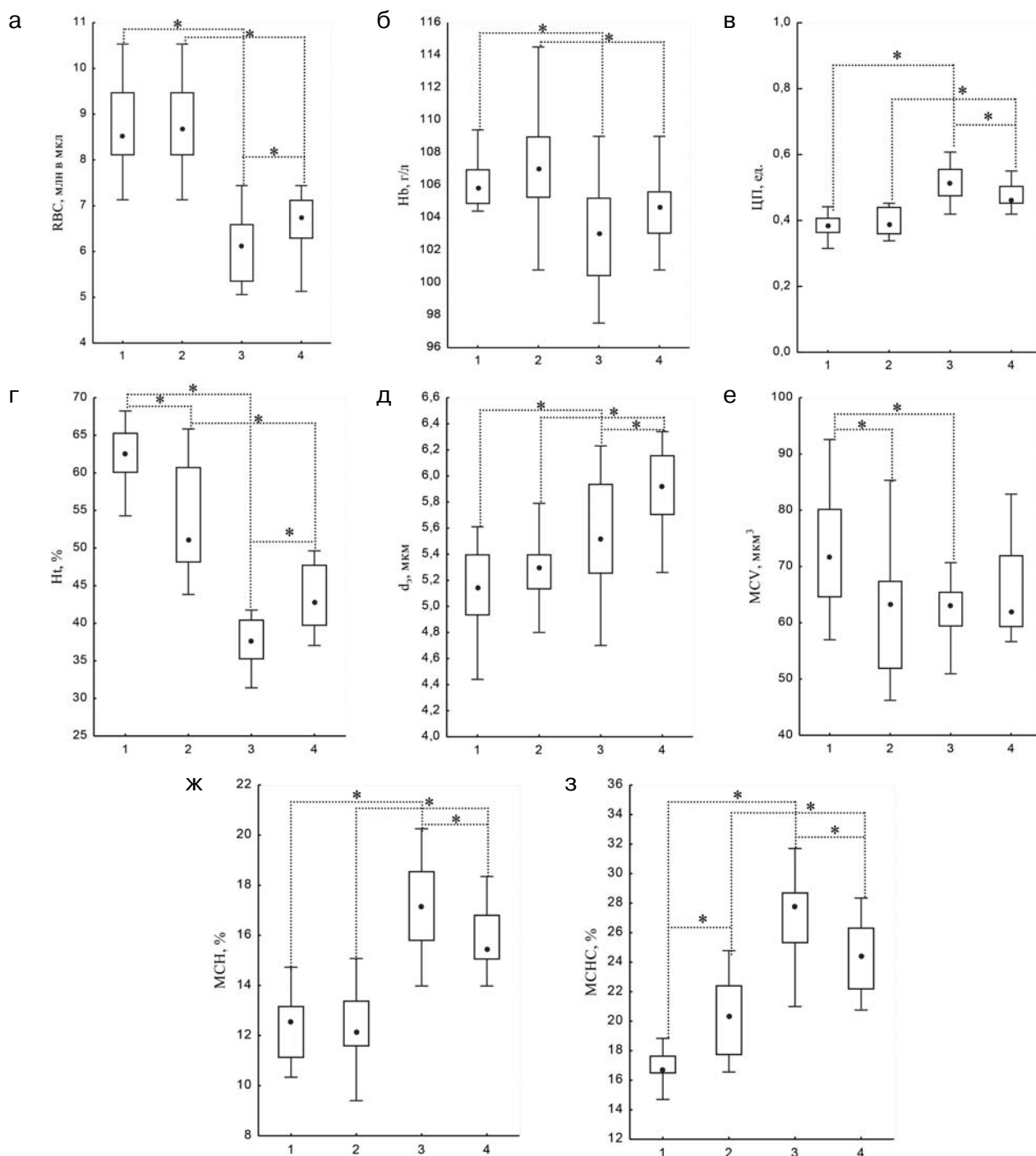
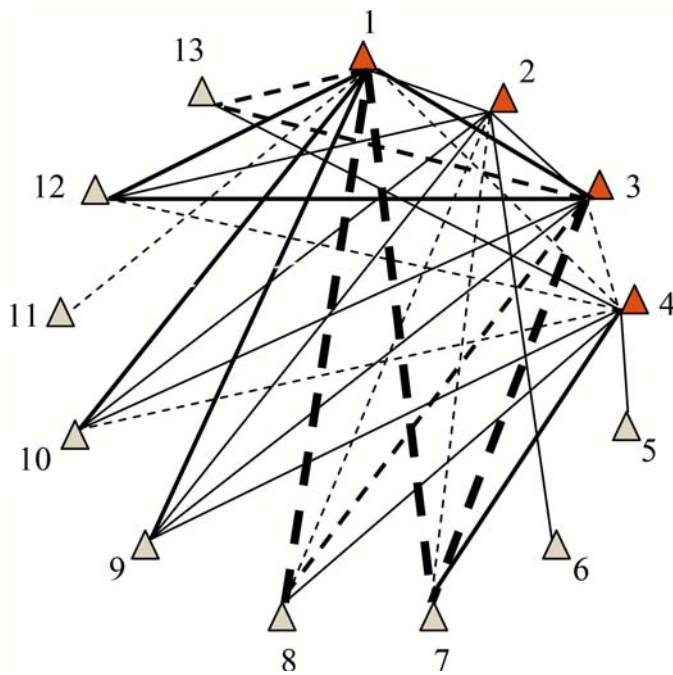


Рис. 2. Значения параметров «красной» крови самцов и самок малой лесной мыши на сопредельных территориях Костромской области

Fig. 2. Values of the parameters of the «red» blood of male and female lesser forest mice in the adjacent territories of the Kostroma Region

При оценке степени сопряженности показателей системы «красной» крови между собой установлено высокое количество зависимостей. Так, отмечено наличие прямой корреляционной связи содержания гемоглобина и уровня гематокрита в крови от количества эритроцитов (для рыжей полевки коэффициенты

корреляции Спирмена равны 0,26 и 0,21 соответственно, для малой лесной мыши – 0,39 и 0,70). Зависимость данных показателей от диаметра эритроцитов для рыжей полевки прямая (коэффициенты корреляции равны 0,19 и 0,33 соответственно), для малой лесной мыши – обратная ($r_s = -0,09$ и $-0,43$).



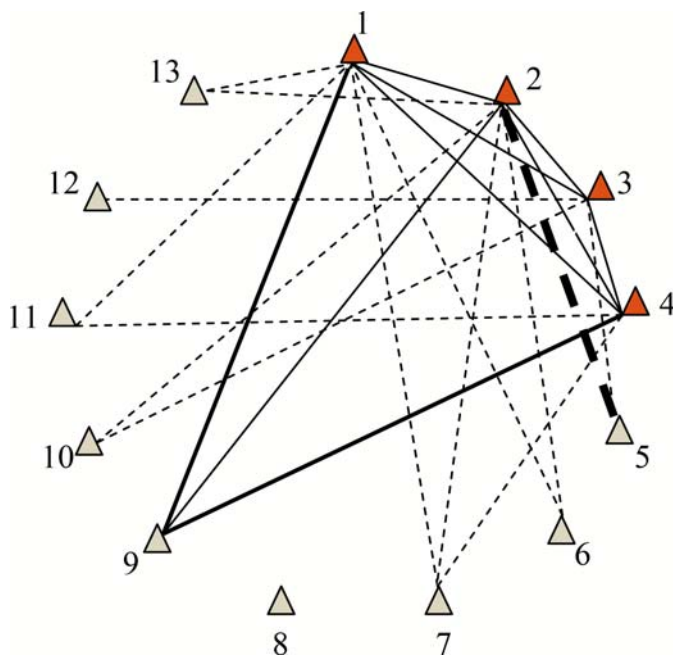
- 1 – Количество эритроцитов / Red blood cells
- 2 – Содержание гемоглобина в крови / Hemoglobin content in the blood
- 3 – Уровень гематокрита в крови / Hematocrit level in the blood
- 4 – Диаметр эритроцитов / Erythrocyte diameter
- 5 – Пол / Sex
- 6 – Год исследований / Year of research
- 7 – Локация отлова / Capture location
- 8 – Соотношение сегментоядерных нейтрофилов к лимфоцитам / Ratio of segmented neutrophils to lymphocytes
- 9 – Масса тела особей / Body weight of individuals
- 10 – Индекс селезенки / Spleen index
- 11 – Репродуктивная стратегия / Reproductive strategy
- 12 – Плотность популяции / Population density
- 13 – Стадия популяционного цикла / Stage of the population cycle

Рис. 3. Корреляция параметров «красной» крови рыжей полевки на сопредельных территориях Костромской области.

Здесь и на рис. 4: красные треугольники – показатели «красной» крови; серые треугольники – факторы. Сплошная линия – положительная корреляция; пунктирная линия – отрицательная корреляция. Толщина линии отражает силу связи – слабые ($|r_s| < 0,50$), средние ($0,50 < |r_s| < 0,75$) и сильные ($|r_s| > 0,75$). Отражены только значимые зависимости ($p < 0,05$)

Fig. 3. Correlation of the parameters of the «red» blood of the red vole in the adjacent territories of the Kostroma Region.

Here and in Fig. 4: red triangles – indicators of «red» blood; gray triangles – factors. The solid line is a positive correlation; the dotted line is a negative correlation. The line thickness reflects the strength of the connection – weak $|r_s| < 0.50$, medium ($0.50 < |r_s| < 0.75$) and strong ($|r_s| > 0.75$). Only significant dependencies are presented ($p < 0.05$)



- 1 – Количество эритроцитов / Red blood cells
- 2 – Содержание гемоглобина в крови / Hemoglobin content in the blood
- 3 – Уровень гематокрита в крови / Hematocrit level in the blood
- 4 – Диаметр эритроцитов / Erythrocyte diameter
- 5 – Пол / Sex
- 6 – Год исследований / Year of research
- 7 – Локация отлова / Capture location
- 8 – Соотношение сегментоядерных нейтрофилов к лимфоцитам / Ratio of segmented neutrophils to lymphocytes
- 9 – Масса тела особей / Body weight of individuals
- 10 – Индекс селезенки / Spleen index
- 11 – Репродуктивная стратегия / Reproductive strategy
- 12 – Плотность популяции / Population density
- 13 – Стадия популяционного цикла / Stage of the population cycle

Рис. 4. Корреляция параметров «красной» крови малой лесной мыши на сопредельных территориях Костромской области

Fig. 4. Correlation of the parameters of the «red» blood of a small wood mouse in the adjacent territories of the Kostroma Region

Сопряженность содержания эритроцитов в крови и их диаметра представлена достоверной прямой корреляцией у рыжей полевки ($r_s = 0,57$) и обратной у малой лесной мыши ($r_s = -0,23$). Уменьшение доли «маленьких» эритроцитов у малой лесной мыши можно рассматривать как один из подходов к аэрации крови путем достижения более высокой степени насыщения клеток гемоглобином (коэффициент корреляции количества эритроцитов и среднего содержания гемоглобина в эритроците равен $-0,99$, диаметра эритроцитов и среднего содержания гемоглобина – $0,24$). Рыжая полевка демонстрирует иную стратегию достижения насыщения крови кислородом: у нее более мелкие эритроциты с более высоким содержанием гемоглобина ($r_s = -0,71$), при этом в периферической крови их меньше ($r_s = -0,85$).

В свою очередь, исследования, проведенные Н. А. Ореховой, Ю. А. Давыдовой и Г. Ю. Смирновым, выявили у полевок обратную корреляцию между количеством эритроцитов и их размером [Orekhova et al., 2022]. Расхождение результатов может быть связано с различием в половозрастной структуре выборок.

Так, установлена обратная корреляционная связь содержания гемоглобина в крови у рыжей полевки с полом ($r_s = -0,43$). При этом для малой лесной мыши данной корреляции между показателями не обнаружено. В работе [Kostelecka-Myrcha, 2002] при исследовании отношения количества гемоглобина к общей площади поверхности эритроцитов млекопитающих зависимости концентрации гемоглобина (Hb, %) от массы тела мелких млекопитающих не выявлено, в то время как настоящими исследованиями установлена достоверная слабая прямая корреляция данных показателей.

Данные литературы о влиянии пола на размеры эритроцитов у млекопитающих довольно противоречивы: одни исследователи указывают на их отсутствие [Sealander, 1965], другие отмечают более крупные клетки у самок по сравнению с самцами [Miller et al., 1961]. Настоящими исследованиями установлена достоверная корреляция диаметра эритроцитов и пола только у малой лесной мыши ($r_s = 0,27$), у рыжей полевки она не выявлена.

Кроме того, для популяции малой лесной мыши установлены сильные обратные корреляции количества эритроцитов и уровня гематокрита с местом отлова ($r_s = -0,85$ и $-0,81$ соответственно). Для полевки установлены слабые корреляционные связи ($|r_s| < 0,41$), при этом уровень гематокрита находится в прямой зависимости от локации отлова ($r_s = 0,12$).

Данный результат связан с различными метаболическими потребностями, в частности, с изменением у грызунов потребности переносить большое количество кислорода во время поиска кормов [Koteja, Weiner, 1993; McNab, 2008; Orekhova et al., 2022].

Для оценки наличия длительного стресса нами было рассмотрено соотношение сегментоядерных нейтрофилов к лимфоцитам, увеличение которого обусловлено возможным увеличением частоты встреч особей друг с другом, усилением конкуренции за убежища и кормовые ресурсы, увеличением среди грызунов доли гельминтозов и инфекционных заболеваний [Климова, Сиротина, 2024].

В популяции малой лесной мыши установлены достоверные отрицательные корреляции содержания эритроцитов и уровня гематокрита в крови грызунов с показателем «отношение сегментоядерных нейтрофилов к лимфоцитам» ($r_s = -0,72$ и $-0,67$ соответственно), в то время как для рыжей полевки достоверных корреляций не выявлено. Сопряженность содержания эритроцитов и различных форм лейкоцитов подтверждают также исследования зарубежных авторов [Feldman et al., 2000; Stockham, Scott, 2002], которые установили, что длительный стресс не приводит к изменению содержания эритроцитов в крови грызунов, в то время как острые бактериальные инфекции, хронические бактериальные и протозойные инфекции, вирусы и протеобактерии приводят к снижению числа «красных» клеток, а выброс адреналина, напротив, к их повышению (в зависимости от вида).

Рядом авторов отмечаются высокие параметры эритроцитов преимущественно у половозрелых сеголеток и перезимовавших особей, что обусловлено более высокими энергетическими потребностями для роста и размножения данных групп [Orekhova, 2022; Patel et al., 2024]. В настоящей работе выявлена преимущественно обратная корреляционная связь рассматриваемых показателей системы «красной» крови со спецификой репродуктивной стратегии особей. Так, для доли эритроцитов коэффициенты корреляции составляют $-0,17$ (у рыжей полевки) и $-0,42$ (у малой лесной мыши).

При этом количество и диаметр эритроцитов в крови грызунов исследуемых видов находятся в прямой зависимости от массы тела особей (коэффициенты корреляции для данных показателей равны у рыжей полевки $0,68$ и $0,72$, у малой лесной мыши – $0,51$ и $0,23$ соответственно). Аналогичный результат получен при исследовании морфометрических параметров эритроцитов у некоторых видов отряда Rodentia А. Г. Кижиной с соавт. [2019].

Среди основных факторов, оказывающих влияние на размер эритроцитов, авторы отмечали размеры тела, местообитание и филогенетическое положение животных.

Заключение

Таким образом, количественные и качественные показатели системы «красной» крови грызунов видоспецифичны и могут выступать в качестве интегральных показателей состояния популяций, а их изменения демонстрируют процесс адаптации грызунов к постоянно изменяющимся условиям внешней среды. Проведенный многофакторный анализ позволил установить влияние физиологических (масса тела особей, пол, репродуктивная стратегия) и экологических (стадия популяционного цикла, локация отлова, наличие инфекций) факторов на количество эритроцитов в крови, содержание гемоглобина, уровень гематокрита, диаметр эритроцитов. Совместное действие представленных факторов на показатели системы «красной» крови в ряде случаев может превышать 10 %. Наиболее сильное влияние на характеристики «красной» крови оказывают особенности местообитания животных (локация отлова).

Настоящие исследования расширяют знания о роли факторов окружающей среды в дыхательной функции крови, их результаты могут быть полезны в экологическом мониторинге природных и антропогенно трансформированных экосистем, а также при изучении влияния антропогенных факторов на параметры кровеносной системы и состояние организмов и популяций в целом у мышевидных грызунов.

Литература

- Амиров Д. Р., Тамимдаров Б. Ф., Шагеева А. Р. Клиническая гематология животных: Учебное пособие. Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2020. 134 с.
- Баврина А. П. Современные правила применения параметрических и непараметрических критериев в статистическом анализе медико-биологических данных // Медицинский альманах. 2021. Т. 1, № 66. С. 64–73.
- Боттаева З. Х. Сравнительная характеристика эритронов двух видов полевок в условиях субальпийского пояса терского варианта поясности на Центральном Кавказе // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19, № 5. С. 30–35.
- Волошан О. А., Горшков Д. А., Петрова О. В., Иванов П. А., Никулина Д. М. Определение показателей крови лабораторных крыс с формированием регионального протокола для экспериментальных исследований // Астраханский медицинский журнал. 2023. Т. 18, № 2. С. 47–54. doi: 10.29039/1992-6499-2023-2-47-54
- Геодакян В. А. Дифференциальная смертность и нормы реакции мужского и женского пола. Онтогенетическая и филогенетическая пластичность // Журнал общей биологии. 1974. Т. 34, № 3. С. 376–385.
- Гржибовский А. М. Корреляционный анализ // Экология человека. 2008. № 9. С. 50–60.
- Грищенко А. Е. Особенности экологии рыжей полевки в северо-восточном Приладожье: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2002. 21 с.
- Гудова М. С., Берсекова З. А., Емжуева М. М., Боттаева З. Х., Чапаев А. Х., Дышекова Л. С. Популяционная изменчивость малой лесной мыши (Mammalia, Rodentia) в трех вариантах поясности Центрального и Западного Кавказа // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19, № 5. С. 48–50.
- Емжуева М. М. Сравнительный анализ адаптивных реакций системы крови и интерьерных признаков дикоживущих и синантропных грызунов семейства Muridae к условиям гор центральной части Северного Кавказа: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2013. 20 с.
- Емжуева М. М., Темботова Ф. А., Берсекова З. А., Боттаева З. Х., Чапаев А. Х. Сезонная динамика системы красной крови малой лесной мыши (*Apodemus uralensis*) в горах Центрального Кавказа // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2021. Т. 57, № 5. С. 392–401. doi: 10.31857/S0044452921040033
- Емжуева М. М., Пузаченко А. Ю., Темботова Ф. А., Боттаева З. Х., Берсекова З. А., Чапаев А. Х. Разнообразие параметров системы красной крови у малой лесной и домовый мышью (Rodentia, Muridae) в Приэльбрусье: многомерный и информационный анализ // Известия РАН. Сер. биол. 2023. № 8. С. 69–83. doi: 10.31857/S1026347023600681
- Калабухов Н. И. Периодические (сезонные и годичные) изменения в организме грызунов, их причины и последствия. Л.: Наука, 1969. 249 с.
- Карасева Е. В., Телицына А. Ю., Жигальский О. А. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М.: Наука, 2008. 416 с.
- Кижина А. Г., Сергина С. Н., Узенбаева Л. Б., Илюха В. А., Печорина Э. Ф., Антонова Е. П., Якимова А. Е., Панченко Д. В. Морфометрические параметры эритроцитов у некоторых видов отряда Rodentia // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 6. С. 123–132. doi: 10.17076/eb940
- Климова А. С., Сиротина М. В. Сравнительная характеристика популяционной организации *Myodes glareolus* Schreber и *Apodemus uralensis* Pallas на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына // Самарский научный вестник. 2022. № 11(3). С. 69–78. doi: 10.55355/snv2022113108
- Климова А. С., Сиротина М. В. Лейкоциты крови грызунов на территории заповедника «Кологривский лес» и Костромского лесничества // Трансформация экосистем. 2024. Т. 7, № 2. С. 189–207. doi: 10.23859/estr-231021
- Козинец Г. И., Высоцкий В. В., Захаров В. В., Оприщенко С. А., Погорелов В. М. Кровь и экология. М.: Практическая медицина, 2007. 432 с.

Коросов А. В., Горбач В. В. Компьютерная обработка биологических данных: Учебное электронное пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2017. 97 с.

Лабораторные методы исследования в клинике. Справочник / Ред. В. В. Меньшиков. М.: Медицина, 1987. 368 с.

Моисеева Т. А. Показатели белой крови рыжих полевок, обитающих на территории Северного Приладожья // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. Т. 4, № 157. С. 76–77.

Оленев Г. В. Определение возраста цикломорфных грызунов, функционально-онтогенетическая детерминированность, экологические аспекты // Экология. 2009. № 2. С. 103–115.

Оленев Г. В., Григоркина Е. Б. Метод морфофизиологических индикаторов и функционально-онтогенетический подход при решении экологических задач (на примере спленомагалии у грызунов) // Экология. 2019. № 2. С. 112–124. doi: 10.1134/S0367059719020082

Полозюк О. Н., Ушакова Т. М. Гематология: Учебное пособие. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. 159 с.

Риган В., Сандерс Т., Деникола Д. Атлас ветеринарной гематологии. М.: Аквариум ЛТД, 2000. 136 с.

Сабанова Р. К. Сезонные изменения гематологических показателей у грызунов, отражающие их адаптационные возможности // Сельскохозяйственная биология. 2008. Т. 43, № 4. С. 117–119.

Сабанова Р. К. Изменчивость гематологических параметров лесной мыши в зависимости от среды обитания // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. 2010. № 2(156). С. 104–106.

Скоркина М. Ю. Компенсаторно-приспособительные реакции системы эритрона у птиц при стрессовых воздействиях: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Белгород, 2003. 20 с.

Сорокина А. В., Алексеева С. В., Еремина Н. В., Дурнев А. Д. Опыт проведения клинико-лабораторных исследований в доклинической оценке безопасности лекарств (ч. 1: Гематологические исследования) // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2019. Т. 9, № 3. С. 197–206. doi: 10.30895/1991-2919-2019-9-3-197-206

Тарахтий Э. А., Давыдова Ю. А. Сезонная изменчивость показателей системы крови рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) разного репродуктивного состояния // Известия РАН. Сер. биол. 2007. № 1. С. 14–25.

Тарахтий Э. А., Давыдова Ю. А., Кшнясев И. А. Межгодовая изменчивость показателей системы крови флуктуирующей популяции европейской рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) // Известия РАН. Сер. биол. 2007. № 6. С. 755–764.

Тарахтий Э. А., Сумин М. Н., Давыдова Ю. А. Изменчивость показателей «красной» крови рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) в зависимости от сезона и репродуктивного состояния особей // Успехи современной биологии. 2009. Т. 129, № 2. С. 191–197.

Тарахтий Э. А., Жигальский О. А. Исследование системы крови мелких млекопитающих, обитающих на территориях с низкой плотностью радиационного

загрязнения // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134. № 4. С. 424–432.

Унгурияну Т. Н., Гржибовский А. М. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса в программе STATA // Экология человека. 2014. Т. 24. № 6. С. 55–58. doi: 10.17816/humeco17232

Усманов Р. Р. Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «Statistica»: учебно-методическое пособие. М.: РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2020. 177 с.

Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринский Л. Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск: Урал. фил. АН СССР, 1968. 378 с.

Шефтель Б. И. Методы учета численности мелких млекопитающих // Экология. 2018. Т. 3, № 3. С. 1–21. doi: 10.21685/2500-0578-2018-3-4

Beldomenico P. M., Telfer S., Gebert St., Lukomski L., Bennett M., Begon M. The dynamics of health in wild field vole populations: a haematological perspective // Journal of Animal Ecology. 2008. Vol. 77, no. 5. P. 984–997. doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01413.x

Brown T. J., Hammers M., Taylor M., Dugdale H. L., Komdeur J., Richardson D. S. Hematocrit, age, and survival in a wild vertebrate population // Ecol. Evol. 2021. Vol. 11, no. 1. P. 214–226. doi: 10.1002/ece3.7015

Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists // Funct. Ecol. 2008. Vol. 22, no. 5. P. 760–772. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x

Diehl K., Morton D., Pfister R., Rabemampianina Y., Smith D., Vidal J., Vorstenbosch C. Good practice guide to the administration of substances and removal of blood, including routes and volumes // J. Appl. Toxicol. 2001. Vol. 21, no. 1. P. 15–23. doi: 10.1002/jat.727

Feldman B. F., Zinkl J. G., Jain N. C. Schalm's veterinary hematology. Philadelphia: Lippincott, 2000. 1344 p.

Goodman R. M., Heah T. P. Temperature-induced plasticity at cellular and organismal levels in the lizard *Anolis carolinensis* // Integr. Zool. 2010. Vol. 5. P. 208–217. doi: 10.1111/j.1749-4877.2010.00206.x

Huitu O., Jokinen I., Korpimäki E., Koskela E., Mappes T. Phase dependence in winter physiological condition of cyclic voles // Oikos. 2007. Vol. 116, no. 4. P. 565–577. doi: 10.1111/j.0030-1299.2007.15488.x

Kizhina A. G., Kalinina S. N., Uzenbaeva L. B., Panchenko D. V., Lapinski St., Ilyukha V. A., Pechorina E. F., Fokina V. O. Comparative study of erythrocyte morphology and size in relation to ecophysiological adaptations in Rodentia species // Russian Journal of Theriology. 2020. Vol. 19, no. 2. P. 161–171. doi: 10.15298/rusjtheriol.19.2.06

Kostelecka-Myrcha A. Regularities of variations of the hematological values characterizing the respiratory function of blood in mammals // Acta Theriol. 1973. Vol. 18. P. 1–6. doi: 10.4098/AT.ARCH.73-1

Kostelecka-Myrcha A. The ratio of amount of haemoglobin to total surface area of erythrocytes in mammals // Acta Theriol. 2002. Vol. 47. P. 209–220. doi: 10.1007/BF03192488

Koteja P., Weiner J. Mice, voles and hamsters: Metabolic rates and adaptive strategies in muroid rodents // Oikos. 1993. Vol. 66, no. 3. P. 505–514.

Kusumoto K. Humoral immune response of overwintered gray red-backed voles (*Myodes rufocanus bedfordiae*) under cold stress in spring // Bulletin of the Faculty of Agriculture, Saga University. 2015. Vol. 100. P. 15–26.

McNab B. K. An analysis of the factors that influence the level and scaling of mammalian BMR // Comp. Biochem. Physiol. A. 2008. Vol. 151, no. 1. P. 5–28. doi: 10.1016/j.cbpa.2008.05.008

Miller E. R., Ullrey D. E., Ackermann I., Schmidt D. A., Luecke R. W., Hoefler J. A. Swine hematology from birth to maturity. II. Erythrocyte population, size and hemoglobin concentration // J. Anim. Sci. 1961. Vol. 20, no. 4. P. 890–897. doi: 10.2527/jas1961.204890x

Orekhova N. A. Hematological indicators in pygmy wood mouse *Apodemus uralensis* (Muridae, Rodentia) populations as markers of the environmental radiation exposure: East Urals radioactive trace (Russia) // Environ. Sci. Pollut. Res. 2018. Vol. 25, no. 16. P. 16144–16166. doi: 10.1007/s11356-018-1787-7

Orekhova N. A., Davydova Y. A., Smirnov G. Yu. A discriminating ability of haematological indicators: a comparative blood test of sympatric rodent species (*Myodes glareolus*, *Myodes rutilus* and *Craseomys rufocanus*) // Russian Journal of Theriology. 2022. Vol. 21, no. 1. P. 24–37. doi: 10.15298/rusjtheriol.21.1.03

Patel S., Patel S., Kotadiya A., Patel S., Shrimali B., Joshi N., Patel T., Trivedi H., Patel J., Johrapurkar A., Jain M. Age-related changes in hematological and biochemical profiles of *Wistar rats* // Lab. Anim. Res. 2024. Vol. 40, no. 7. P. 1–12. doi: 10.1186/s42826-024-00194-7

Ruiz G., Rosenmann M., Cortes A. Thermal acclimation and seasonal variations of erythrocyte size in the Andean mouse *Phyllotis xanthopygus rupestris* // Comp. Biochem. Physiol. A: Molecular and Integrative Physiology. 2004. Vol. 139. P. 405–409. doi: 10.1016/j.cbpb.2004.03.003

Sealander J. A. The influence of body size, season, sex, age and other factors upon some blood parameters in small mammals // J. Mammal. 1965. Vol. 45, no. 4. P. 598–616. doi: 10.2307/1377331

Stockham S., Scott M. Fundamentals of veterinary clinical pathology. Iowa: State Press, 2002. 610 p.

Tete N., Afonso E., Bouguerra G., Scheiffler R. Blood parameters as biomarkers of cadmium and lead exposure and effects in wild wood mice (*Apodemus sylvaticus*) living along a pollution gradient // Chemosphere. 2015. Vol. 138. P. 940–946. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.12.031

Thieml H. K., Diem H., Haferlach T. Color Atlas of Hematology. Germany: Thieme, Stuttgart, 2004. 198 p.

Williams B. K., Nichols J. D., Conroy M. J. Analysis and management of animal populations. San Francisco: Acad. Press, 2002. 817 p.

References

Amirov D. R., Tamimdarov B. F., Shageeva A. R. Clinical hematology of animals: A textbook. Kazan': Tsentri informatsionnykh tekhnologii KGAVM; 2020. 134 p. (In Russ.)

Bavrina A. P. Modern rules for the use of parametric and nonparametric tools in the statistical analysis of

biomedical data. *Meditsinskii al'manakh = Medical Almanac*. 2021;1(66):64–73. (In Russ.)

Beldomenico P. M., Teffer S., Gebert St., Lukomski L., Bennett M., Begon M. The dynamics of health in wild field vole populations: a haematological perspective. *Journal of Animal Ecology*. 2008;77(5):984–997. doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01413.x

Bottaeva Z. Kh. Comparative characteristic of eritron of two species of vole under the conditions of the subalpine zone of the tersky variant of zonality in the Central Caucasus. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN = Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017;19(5):30–35. (In Russ.)

Brown T. J., Hammers M., Taylor M., Dugdale H. L., Komdeur J., Richardson D. S. Hematocrit, age, and survival in a wild vertebrate population. *Ecol. Evol.* 2021;11(1):214–226. doi: 10.1002/ece3.7015

Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Funct. Ecol.* 2008;22(5):760–772. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x

Diehl K., Morton D., Pfister R., Rabemampianina Y., Smith D., Vidal J., Vorstenbosch C. Good practice guide to the administration of substances and removal of blood, including routes and volumes. *J. Appl. Toxicol.* 2001;21(1):15–23. doi: 10.1002/jat.727

Emkuzheva M. M. Comparative analysis of adaptive reactions of the blood system and interior features of wild-living and synanthropic rodents of the family Muridae to the conditions of the mountains of the central part of the North Caucasus: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Saratov; 2013. 20 p. (In Russ.)

Emkuzheva M. M., Tembotova F. A., Bersekova Z. A., Bottaeva Z. Kh., Chapaev A. Kh. Seasonal dynamics of erythropoiesis in the pygmy wood mouse (*Apodemus uralensis*) of the Central Caucasus mountains. *Zhurnal evolyutsionnoi biokhimii i fiziologii = Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. 2021;57(5):392–401. (In Russ.). doi: 10.31857/S0044452921040033

Emkuzheva M. M., Puzachenko A. Iu., Tembotova F. A., Bottaeva Z. Kh., Bersekova Z. A., Chapaev A. Kh. Diversity of the red blood parameters system in the pigmy field mouse and the house mouse (Rodentia, Muridae) in the Elbrus region: multivariate and information analyses. *Izvestiya RAN. Ser. biol. = Biology Bulletin*. 2023;8:69–83. (In Russ.). doi: 10.31857/S1026347023600681

Feldman B. F., Zinkl J. G., Jain N. C. Schalm's veterinary hematology. Philadelphia: Lippincott; 2000. 1344 p.

Geodakian V. A. Differential mortality and reaction norm of males and females. Ontogenetic and phylogenetic plasticity. *Zhurnal obshchei biologii = Journal of General Biology*. 1974;35(3):376–385. (In Russ.)

Goodman R. M., Heah T. P. Temperature-induced plasticity at cellular and organismal levels in the lizard *Anolis carolinensis*. *Integrative Zoology*. 2010;5:208–217. doi: 10.1111/j.1749-4877.2010.00206.x

Grishchenko A. E. Features of the ecology of the red vole in the northeastern Ladoga region: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk; 2002. 21 p. (In Russ.)

Grijbovski A. M. Correlation analysis. *Ekologiya che-loveka = Human Ecology*. 2008;9:50–60. (In Russ.)

- Gudova M. S., Bersekova Z. A., Emkuzheva M. M., Bottaeva Z. Kh., Chapaev A. Kh., Dyshekova L. S. Population variation of *Apodemus uralensis* (Mammalia, Rodentia) in three variants of vertical zonation in the Central and Western Caucasus. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017;19(5):48–50. (In Russ.)
- Huitu O., Jokinen I., Korpimäki E., Koskela E., Mappes T. Phase dependence in winter physiological condition of cyclic voles. *Oikos*. 2007;116(4):565–577. doi: 10.1111/j.0030-1299.2007.15488.x
- Kalabukhov N. I. Periodic (seasonal and annual) changes in the body of rodents, their causes and consequences. Leningrad: Nauka; 1969. 249 p. (In Russ.)
- Karaseva E. V., Telitsyna A. Iu., Zhigal'skii O. A. The methods of studying rodents in the wild nature. Moscow: Nauka; 2008. 416 p. (In Russ.)
- Kizhina A. G., Kalinina S. N., Uzenbaeva L. B., Panchenko D. V., Lapinski St., Ilyukha V. A., Pechorina E. F., Fokina V. O. Comparative study of erythrocyte morphology and size in relation to ecophysiological adaptations in Rodentia species. *Russian Journal of Theriology*. 2020;19(2):161–171. doi: 10.15298/rusjtheriol.19.2.06
- Kizhina A. G., Sergina S. N., Uzenbaeva L. B., Ilyukha V. A., Pechorina E. F., Antonova E. P., Iakimova A. E., Panchenko D. V. Morphometric parameters of erythrocytes in several Rodentia species. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS*. 2019;6:123–132. (In Russ.). doi: 10.17076/eb940
- Klimova A. S., Sirotnina M. V. Comparative characteristics of the population organization of *Myodes glareolus* Schreber and *Apodemus uralensis* Pallas on the territory of the Kologrivsky Forest State Nature Reserve named after M. G. Sinitsyn. *Samarskii nauchnyi vestnik = Samara Journal of Science*. 2022;11(3):69–78. (In Russ.). doi: 10.55355/snv2022113108
- Klimova A. S., Sirotnina M. V. White blood cells of rodents in the territory of the Kologrivsky Forest Reserve and Kostroma Forestry. *Transformatsiya ekosistem = Ecosystem Transformation*. 2024;7(2): 189–207. (In Russ.). doi: 10.23859/estr-231021
- Korosov A. V., Gorbach V. V. Computer processing of biological data: An electronic textbook. Petrozavodsk: PetrGU; 2017. 97 p. (In Russ.)
- Kostelecka-Myrcha A. Regularities of variations of the hematological values characterizing the respiratory function of blood in mammals. *Acta Theriologica*. 1973;18:1–6. doi: 10.4098/AT.ARCH.73-1
- Kostelecka-Myrcha A. The ratio of amount of haemoglobin to total surface area of erythrocytes in mammals. *Acta Theriologica*. 2002;47:209–220. doi: 10.1007/BF03192488
- Koteja P., Weiner J. Mice, voles and hamsters: Metabolic rates and adaptive strategies in muroid rodents. *Oikos*. 1993;66(3):505–514.
- Kozinets G. I., Vysotskii V. V., Zakharov V. V., Oprishchenko S. A., Pogorelov V. M. Blood and ecology. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2007. 432 p. (In Russ.)
- Kusumoto K. Humoral immune response of overwintered gray red-backed voles (*Myodes rufocanus* bedfordiae) under cold stress in spring. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Saga University*. 2015;100:15–26.
- Men'shikov V. V. (ed.). Laboratory research methods in the clinic. Guide. Moscow: Meditsina; 1987. 368 p. (In Russ.)
- McNab B. K. An analysis of the factors that influence the level and scaling of mammalian BMR. *Comp. Biochem. Physiol. A*. 2008;151(1):5–28. doi: 10.1016/j.cbpa.2008.05.008
- Miller E. R., Ullrey D. E., Ackermann I., Schmidt D. A., Luecke R. W., Hofer J. A. Swine hematology from birth to maturity. II. Erythrocyte population, size and hemoglobin concentration. *J. Anim. Sci.* 1961;20(4):890–897. doi: 10.2527/jas1961.204890x
- Moiseeva T. A. White blood indicators in red voles, inhabiting the Northern Ladoga region. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2016;4(157):76–77. (In Russ.)
- Olenev G. V. Determining the age of cyclomorphic rodents: functional-ontogenetic determination, ecological aspects. *Ekologiya = Russian Journal of Ecology*. 2009;2:103–115. (In Russ.)
- Olenev G. V., Grigorkina E. B. The method of morphophysiological indicators and functional-ontogenetic approach to solving ecological problems (based on the example of splenomegaly in rodents). *Ekologiya = Russian Journal of Ecology*. 2019;2:112–124. (In Russ.). doi: 10.1134/S0367059719020082
- Orekhova N. A. Hematological indicators in pygmy wood mouse *Apodemus uralensis* (Muridae, Rodentia) populations as markers of the environmental radiation exposure: East Urals radioactive trace (Russia). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018;25(16):16144–16166. doi: 10.1007/s11356-018-1787-7
- Orekhova N. A., Davydova Y. A., Smirnov G. Yu. A discriminating ability of haematological indicators: a comparative blood test of sympatric rodent species (*Myodes glareolus*, *Myodes rutilus* and *Craseomys rufocanus*). *Russian Journal of Theriology*. 2022;21(1): 24–37. doi: 10.15298/rusjtheriol.21.1.03
- Patel S., Patel S., Kotadiya A., Patel S., Shrimali B., Joshi N., Patel T., Trivedi H., Patel J., Joharapurkar A., Jain M. Age-related changes in hematological and biochemical profiles of Wistar rats. *Lab. Anim. Res.* 2024;40(7):1–12. doi: 10.1186/s42826-024-00194-7
- Polozhiuk O. N., Ushakova T. M. Hematology: a textbook. Persianovskii: Donskoi GAU, 2019. 159 p. (In Russ.)
- Rigan V., Sanders T., Denikola D. Veterinary hematology: Atlas of common domestic species. London: Manson; 1998. 136 p.
- Ruiz G., Rosenmann M., Cortes A. Thermal acclimation and seasonal variations of erythrocyte size in the Andean mouse *Phyllotis xanthopygus rupestris*. *Comp. Biochem. Physiol. A: Molecular and Integrative Physiology*. 2004;139:405–409. doi: 10.1016/j.cbpb.2004.03.003
- Sabanova R. K. Seasonal changes in rodent hematologic parameters reflecting their adaptive ability. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2008;43(4):117–119. (In Russ.)
- Sabanova R. K. Variability of hematological parameters of the wood mouse depending on the habitat.

Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Ser. Estestvennyye nauki = Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences. 2010;2(156): 104–106. (In Russ.)

Sealander J. A. The influence of body size, season, sex, age and other factors upon some blood parameters in small mammals. *J. Mammal.* 1965;45(4):598–616. doi: 10.2307/1377331

Shvarts S. S., Smirnov V. S., Dobrinskii L. N. The method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates. Sverdlovsk: Ural. fil. AN SSSR; 1968. 378 p. (In Russ.)

Sheftel' B. I. Methods for estimating the abundance of small mammals. *Ekologiya = Russian Journal of Ecology.* 2018;3(3):1–21. (In Russ.) doi: 10.21685/2500-0578-2018-3-4

Skorkina M. Y. Compensatory and adaptive reactions of the erythron system in birds under stress: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Belgorod; 2003. 20 p. (In Russ.)

Sorokina A. V., Alekseeva S. V., Eremina N. V., Durnev A. D. Summary of clinical laboratory studies performed during preclinical safety evaluation of medicinal products (Part I: Haematological studies). *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya = The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products.* 2019;9(3):197–206. (In Russ.). doi: 10.30895/1991-2919-2019-9-3-197-206

Stockham S., Scott M. Fundamentals of veterinary clinical pathology. Iowa: State Press; 2002. 610 p.

Tarakhtii E. A., Davydova Iu. A. Seasonal variation in hematological indices in bank vole (*Clethrionomys glareolus*) in different reproductive states. *Biology Bulletin.* 2007;34(1):9–19. doi: 10.1134/S1062359007010025

Tarakhtii E. A., Davydova Iu. A., Kshniasev I. A. Annual variation in hematological indices in a fluctuating population of bank vole (*Clethrionomys glareolus*).

Biology Bulletin. 2007;34(6):635–643. doi: 10.1134/S1062359007060155

Tarakhtii E. A., Sumin M. N., Davydova Iu. A. Variability of the indicators of the “red” blood of the red vole (*Clethrionomys glareolus*) depending on the season and the reproductive state of individuals. *Uspekhi sovremennoi biologii = Biology Bulletin Reviews.* 2009;129(2): 191–197. (In Russ.)

Tarakhtii E. A., Zhigal'skii O. A. Investigation of the blood system in small mammals from terrains with low radioactive pollution. *Uspekhi sovremennoi biologii = Biology Bulletin Reviews.* 2014;134(4):424–432. (In Russ.)

Tete N., Afonso E., Bouguerra G., Scheifler R. Blood parameters as biomarkers of cadmium and lead exposure and effects in wild wood mice (*Apodemus sylvaticus*) living along a pollution gradient. *Chemosphere.* 2015;138:940–946. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.12.031

Theml H. K., Diem H., Haferlach T. Color Atlas of Hematology. Stuttgart: Thieme; 2004. 198 p.

Unguryanu T. N., Grjibovski A. M. Analysis of three independent groups using non-parametric Kruskal-Wallis test in STATA software. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology.* 2014;06:55–58. (In Russ.)

Usmanov R. R. Statistical processing of agronomic research data in the Statistica program: an educational and methodological guide. Moscow: RGAU; 2020. 177 p. (In Russ.)

Voloshan O. A., Gorshkov D. A., Petrova O. V., Ivanov P. A., Nikulina D. M. Determination of blood parameters of laboratory rats with the formation of a regional protocol for experimental studies. *Astrakhanskii meditsinskii zhurnal = Astrakhan Medical Journal.* 2023;18(2):47–54. (In Russ.). doi: 10.29039/1992-6499-2023-2-47-54

Williams B. K., Nichols J. D., Conroy M. J. Analysis and management of animal populations. San Francisco: Acad. Press; 2002. 817 p.

Поступила в редакцию / received: 10.04.2024; принята к публикации / accepted: 31.05.2024.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Климова Елена Сергеевна

аспирант кафедры биологии и экологии
e-mail: klimova.a.s.ecology@yandex.ru

Сиротина Марина Валерьевна

д-р биол. наук, доцент, заведующая кафедрой биологии и экологии КГУ; научный сотрудник ГПЗ «Кологривский лес»
e-mail: mvsirotnina@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Klimova, Alena

Doctoral Student

Sirotnina, Marina

Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head of Biology and Ecology Department, Kostroma State University; Researcher, Kologrivsky Les State Nature Reserve