

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.671-679>

УДК 636.93:636.082

**Сравнительная характеристика биохимических параметров у диких и разводимых на промышленных зверофермах лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) с использованием методов PCA и корреляционного анализа**© 2025. Ю. А. Березина¹✉, О. Ю. Беспярых^{1, 2}, И. А. Домский¹, А. С. Сюткина¹, С. Ф. Стреляный¹¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Российская Федерация,²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация

Проведено комплексное исследование биохимического профиля диких и разводимых на промышленных зверофермах лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) разных окрасов (серебристо-черных и красных «Огнёвка вятская») с применением методов главных компонент (PCA) и корреляционного анализа. Анализ выявил существенные метаболические различия между группами, связанные с эффектами одомашнивания и половым диморфизмом. Метод PCA показал, что у диких лисиц факторная структура биохимических параметров более распределена (82,1 % дисперсии объясняется тремя компонентами), тогда как у разводимых на промышленных зверофермах, особенно красных лисиц «Огнёвка вятская», наблюдается консолидация метаболических процессов (до 70,1 % дисперсии в первой компоненте). У диких особей выявлены специфические связи: положительные нагрузки АсАТ с креатинином ($r_s = 0,823$; $p < 0,01$) у самок и сильная положительная корреляция АсАТ с альбумином ($r_s = 0,985$; $p < 0,01$) у самцов, отражающие адаптивные механизмы в природных популяциях. Разводимые на промышленных зверофермах лисицы демонстрируют более упорядоченный метаболизм с сильными корреляциями между печеночными ферментами (АлАТ-АсАТ: $r_s = 0,975$; $p < 0,01$ у красных самок). Особенно показательно различие в азотистом обмене: у диких самок обнаружена уникальная отрицательная корреляция мочевины с креатинином ($r_s = -0,891$; $p < 0,01$), тогда как у разводимых на зверофермах особей эти параметры положительно связаны. Исследование подтверждает, что процесс одомашнивания приводит к реорганизации метаболических сетей, снижая их вариабельность и усиливая интеграцию ключевых физиологических параметров. Выявленные различия отражают адаптацию диких лисиц к изменчивым природным условиям и специализацию разводимых на промышленных зверофермах особей в стабильной среде содержания и кормления. Полученные данные важны для понимания физиологических последствий одомашнивания зверей и могут быть использованы при разработке критериев оценки статуса животных, разводимых на специализированных зверофермах.

Ключевые слова: представители семейства Canidae, содержание в неволе, цветовые типы, биохимические показатели крови

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (тема FNWS-2022-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Березина Ю. А., Беспярых О. Ю., Домский И. А., Сюткина А. С., Стреляный С. Ф. Сравнительная характеристика биохимических параметров у диких и разводимых на промышленных зверофермах лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) с использованием методов PCA и корреляционного анализа. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):671–679. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.671-679>

Поступила: 23.04.2025

Принята к публикации: 17.06.2025

Опубликована онлайн: 30.06.2025

Comparative characteristics of biochemical parameters in wild and commercially bred foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758) using PCA and correlation analysis methods

© 2025. Yuliya A. Berezina¹✉, Oleg Yu. Bespyatykh^{1, 2}, Igor A. Domskiy¹, Anna S. Syutkina¹, Sergey F. Strelyaniy¹

¹Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russian Federation

²Vyatka State University, Kirov, Russian Federation

*A comprehensive study of the biochemical profile of wild and commercially bred foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758) of different colors (silver-black and red Ognevka Vyatskaya) was carried out using the methods of principal components (PCA) and correlation analysis. The analysis revealed significant metabolic differences between the groups related to the effects of domestication and sexual dimorphism. The PCA method showed that the factor structure of biochemical parameters in wild foxes is more distributed (82.1 % of the variance is explained by three components), whereas consolidation of metabolic processes is observed in bred on industrial fur farms, especially red Ognevka Vyatskaya foxes (up to 70.1 % of the variance in the first component). Specific associations were found in wild individuals: positive AsAT loads with creatinine ($r_s = 0.823$; $p < 0.01$) in females and a strong positive correlation of AsAT with albumin ($r_s = 0.985$; $p < 0.01$) in males, reflecting adaptive mechanisms in natural populations. Foxes bred on industrial fur farms demonstrate a more orderly metabolism with strong correlations between liver enzymes (ALT-AsAT: $r_s = 0.975$; $p < 0.01$ in red females). The difference in nitrogen metabolism is particularly significant: in wild females, a unique negative correlation of urea with creatinine ($r_s = -0.891$; $p < 0.01$) was found, whereas in animals bred on animal farms, these parameters are positively related. The study confirms that the process of domestication leads to the reorganization of metabolic networks, reducing their variability and enhancing the integration of key physiological parameters. The revealed differences reflect the adaptation of wild foxes to changing natural conditions and the specialization of individuals bred on industrial animal farms in a stable environment of maintenance and feeding. The data obtained are important for understanding the physiological consequences of animal domestication and can be used in developing criteria for assessing the status of animals bred on specialized animal farms.*

Keywords: representatives of the Canidae family, captive animals, colors types, biochemical parameters of blood

Acknowledgements: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (topic FNWS-2022-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Berezina Yu. A., Bespyatykh O. Yu., Domskiy I. A., Syutkina A. S., Strelyaniy S. F. Comparative characteristics of biochemical parameters in wild and commercially bred foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758) using PCA and correlation analysis methods. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):671–679. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.671-679>

Received: 21.04.2025

Accepted for publication: 17.06.2025

Published online: 30.06.2025

Изучение биохимических показателей крови животных представляет собой важный аспект в оценке физиологических процессов, здоровья и адаптационных механизмов различных видов. Работы в этой области помогают глубже понять, как внутренние процессы организма животного изменяются в зависимости от условий его жизни, рациона, климатических факторов и даже стадии развития [1, 2]. Одним из наиболее интересных объектов для такого анализа являются лисицы, которые занимают ключевую роль в экосистемах северных и умеренных широт. Эти животные, благодаря разнообразию экологических ниш и уникальным биологическим особенностям, представляют значительный интерес для сравнительных исследований [3, 4]. Особенно ценным является анализ биохимических показателей крови лисиц, позволяющий оценить влияние условий их обитания – дикой среды и содержания в неволе.

Дикie лисицы обитают в условиях открытой природы, где их жизнь зависит от факторов окружающей среды, таких как доступность пищи, климатические условия, а также взаимодействие с другими видами [3]. Лисицы на специализированных промышленных зверофермах живут в условиях ограниченного пространства клеточного содержания, стабильного источника пищи и минимизации воздействия инфекционных заболеваний.

Эти различия в условиях жизни предполагают возможные изменения в физиологическом состоянии организма, которые могут находить отражение в биохимических показателях крови.

Современные исследования в области природоохранной медицины и экологии всё активнее используют концепцию индикаторных видов для оценки состояния экосистем. А. А. Агирре (A. A. Aguirre, 2009) в своей статье

отмечает: «перспективы и научные открытия природоохранной медицины вносят вклад в биомедицинское образование, а также в политику и управление экосистемами, местами обитания и видами, находящимися под угрозой исчезновения». Согласно данной концепции, индикаторный вид – это тот, который позволяет оценить общее состояние экосистемы, учитывая такие факторы, как болезни, паразиты, токсины, изменение климата и разрушение среды обитания [3].

Лисицы, как представители семейства *Canidae*, занимают широкий спектр экологических ниш и демонстрируют высокую чувствительность к изменениям окружающей среды.

Именно благодаря этим особенностям лисица становится отличным индикатором для изучения состояния экосистем. Анализ биохимических показателей крови лисиц позволяет не только выявить специфические адаптационные механизмы, но и служит важным инструментом для мониторинга влияния антропогенных и природных стрессоров на состояние природных сообществ.

Исследование биохимического состава крови является важным инструментом для оценки физиологического состояния животных, отражая функциональное состояние печени, почек, обмен белков и других метаболических процессов [5, 6, 7, 8].

Исследования В. А. Берестова, Л. К. Кожевниковой [9] и Д. М. Бенна с соавт. (D. M. Benn et al.) [10] предоставили первые значения гематологических и биохимических показателей для лисиц, содержащихся на специализированных зверофермах.

Последующие исследования [11, 12] расширили представление о вариативности показателей крови у различных популяций лисиц, выявляя существенные различия между дикими и клеточными особями. В то же время исследования Х. Иноуэ с соавт. (H. Inoue et al.) [13] и Х. Лескано с соавт. (J. Lescano et al.) [14] подчеркивают важность установления референтных интервалов для гематологических и биохимических показателей, особенно для видов, находящихся под угрозой исчезновения, таких как островная лисица.

Особое внимание необходимо уделять мониторингу состояния исчезающих видов, так как их ограниченная популяция и уязвимость к заболеваниям могут иметь катастрофические последствия для биоразнообразия.

В работе Д. Радд с соавт. (J. Rudd et al.) [15] продемонстрировано, как саркоптоз (чесотка) существенно влияет на физиологическое состояние калифорнийских лисиц (*Vulpes macrotis mutica*) – редкого подвида, находящегося под угрозой исчезновения. Исследование показало важность биохимического мониторинга при реабилитации инфицированных животных. В работе А. Талукдар с соавт. (A. Talukdar et al.) представлены гематологические и биохимические показатели крови рыжей лисицы из Ладакха, что свидетельствует о региональных различиях в физиологических характеристиках животных, обитающих в экстремальных климатических условиях [16].

Современные исследования также акцентируют внимание на влиянии патогенных микроорганизмов и эндопаразитов на биохимический профиль лисиц, что дополнительно подчеркивает необходимость комплексного анализа крови [17, 18]. В руководстве В. А. Берестова излагаются стандартизированные методы лабораторного анализа гематологических и биохимических показателей крови пушных зверей (включая лисиц, норок и нутрий), описываются требования к забору проб, приготовлению реактивов и калибровке оборудования, а также даются рекомендации по клинической интерпретации выявленных отклонений, что особенно важно при сравнительном анализе диких и клеточных популяций¹.

К. Маркс (C. Marks) в своем исследовании продемонстрировал, что методы захвата и отстрела существенно влияют на гематологические и биохимические показатели крови рыжей лисицы (*Vulpes vulpes*). Автор показал, что стресс, возникающий в результате различных процедур, приводит к значительным изменениям в уровнях ферментов, белков и азотистых соединений, что может исказить интерпретацию физиологических данных. Эти выводы подчеркивают необходимость строгой стандартизации методик сбора образцов крови при проведении сравнительного анализа диких и клеточных популяций [19].

Цель исследования – сравнительный анализ биохимических показателей крови диких и содержащихся на специализированной звероферме лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758), что позволит выявить особенности метаболической адаптации, связанные с условиями обитания и содержанием в неволе.

¹Берестов В. А. Клиническая биохимия пушных зверей: справочное пособие. Петрозаводск: Карелия, 2005, 159 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002806073/

Научная новизна – результаты исследования могут быть использованы для разработки новых методов оценки здоровья лисиц как в дикой природе, так и в условиях разведения в неволе. Проведённый сравнительный анализ биохимических показателей крови различных популяций открывает перспективы для дальнейших исследований в области физиологии и экологии, а также углубляет понимание адаптационных механизмов к разным условиям среды. Полученные данные могут стать основой для создания референтных интервалов и систем мониторинга физиологического состояния, что позволит точнее оценивать влияние внешних факторов на метаболизм у данного вида.

Материал и методы. Пробы биоматериала (кровь) от диких лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) отбирали в научно-опытном охотничьем хозяйстве ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова, Кировская область), которое располагается в северной части ареала – на северо-востоке Европейской части России. Кровь от диких лисиц в количестве 20 проб (10 самок и 10 самцов) получена в сроки, разрешенные для охоты на них (декабрь – январь). Все животные были взрослыми (в возрасте 9-10 месяцев) и при внешнем осмотре клинически здоровы.

Отбор проб крови у лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758), содержащихся на промышленной звероферме, проводили в ООО «Зверохозяйство «Вятка» (Кировская обл.), также расположенное на северо-востоке Европейской части России.

В зверохозяйстве разводят два основных цветовых типа лисиц: серебристо-черный и красный «Огнёвка вятская», которые заметно различаются между собой по экстерьерным, интерьерным, этологическим и другим биологическим характеристикам.

Зверей на звероферме содержали в стандартных условиях, кормили один раз в сутки в соответствии с рекомендациями², поение осуществляли *ad libitum* из индивидуальных поилок.

Из клинически здоровых лисиц серебристо-черного и красного окрасов сформировали 2 группы по 30 самок и 30 самцов в каждой. У зверей в возрасте 8 месяцев утром натошак

отбирали кровь из латеральной подкожной вены голени.

Работа выполнена с соблюдением международных принципов Хельсинской декларации о гуманном отношении к животным (2013), принципов гуманности, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС «О защите животных, используемых для научных целей»³.

Из крови получали сыворотку путем центрифугирования в течение 20 минут при 1500 об/мин. Исследования выполнены в лаборатории ветеринарии ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова на полуавтоматическом анализаторе Biochem SA (США) с помощью наборов реагентов фирмы «Экосервис» (Россия). Функциональное состояние печени оценивали по уровню активности следующих ферментов: аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспартатаминотрансферазы (АсАТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), а также по концентрации общего белка и его альбуминовой фракции. Функцию почек контролировали по концентрации креатинина и мочевины.

Все данные были обработаны с использованием программного обеспечения MS Excel 2019 (Microsoft, США) и IBM SPSS Statistics 26 (IBM, США). Первичная обработка данных включала проверку на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка. Для выявления скрытых закономерностей и снижения размерности данных применили метод главных компонент (РСА). Перед проведением РСА выполнена проверка адекватности выборки с использованием критерия Кайзера-Мейера-Олкина (КМО>0,6) и теста сферичности Бартлетта ($p<0,05$). Компоненты с собственными значениями >1 были сохранены для дальнейшего анализа с применением вращения Варимакс.

Для оценки взаимосвязей между количественными показателями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s), поскольку большинство переменных не соответствовали условиям нормального распределения. Силу корреляционных связей интерпретировали согласно общепринятым критериям: $|r_s|<0,3$ – слабая; $0,3\leq|r_s|<0,7$ – умеренная; $|r_s|\geq 0,7$ – сильная.

²Перельдик Н. Ш., Милованов Л. В., Ерин А. Т. Кормление пушных зверей. М.: Колос, 1981. 392 с.

³Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. «О защите животных, используемых для научных целей». [Электронный ресурс].

URL: <https://base.garant.ru/70350564/> (дата обращения: 21.03.2025).

Результаты и их обсуждение. В результате проведённого анализа показателей крови у самцов и самок диких красных лисиц и лисиц, содержащихся на звероферме, с использованием метода PCA были выявлены значительные различия в структуре метаболических факторов, отражающие как половую дифференциацию физиологических процессов, так и степень влияния одомашнивания на метаболическую организацию животных.

У самок диких лисиц выявлены три значимых компонента, объясняющих 82,1 % совокупной дисперсии биохимических параметров (табл. 1). При этом на долю первой компоненты приходится 39,1 %, второй – 28,6 %, третьей – 14,4 %. В ведущий фактор (1) входят положительные нагрузки по АсАТ (0,88), креатинину (0,97), АлАТ (0,56), отрицательные – по моче-вине (-0,92), что указывает на сбалансиро-ванное участие ферментативных и азотистых метаболитов.

У самок серебристо-черных лисиц, в отличие от диких, совокупная объяснённая дисперсия составляет 100 %, с преобладанием первой компоненты (56,1 %) и значительными вкладами второй (29,7 %) и третьей (14,3 %). Это свидетельствует о более упорядоченной метаболической структуре. Наиболее выра-женные положительные нагрузки приходятся на АлАТ (0,95), АсАТ (0,90), креатинин (0,83), мочевины (0,72), а отрицательные – на общий белок (-0,98), щелочную фосфатазу (-0,91). Самки красных лисиц демонстрируют ещё большую концентрацию физиологических про-цессов: первая компонента объясняет 70,1 % дисперсии; вторая – 22,9 %; суммарно – 93,1 %. Ведущий фактор включает высокие положи-тельные нагрузки по АсАТ (0,99), АлАТ (0,97), альбумину (0,97), общему белку (0,92), креа-тинину (0,96), мочевины демонстрирует отри-цательную связь (-0,93) со вторым компонентом.

У самцов диких лисиц факторная струк-тура биохимических показателей также пред-ставлена тремя значимыми компонентами, объясняющими 100% дисперсии (табл. 2). Первая компонента составляет 54,9 %, вторая – 26,6 %, третья – 18,4 %. Ведущий фактор характеризуется высокими положительными нагрузками по АсАТ (0,98), щелочной фосфа-тазе (0,93), общему белку (0,91), креатинину (0,74), альбумину (0,98), отрицательными – по моче-вине (-0,25). У самцов серебристо-черных лисиц аналогично объяснено 100 % дисперсии (56,1 %, 29,8 и 14,3 % соответ-ственно). При этом ведущий фактор включает АлАТ (0,96), АсАТ (0,87), креатинин (0,83),

мочевину (0,72), отрицательные нагрузки при-ходятся на общий белок (-0,98), щелочную фосфатазу (-0,91). У самцов красных лисиц наблюдается усиленная концентрация дисперсии в первом компоненте – 69,9 %, во втором – 26,3 %, третий компонент практически незначим (3,6 %). Ведущий фактор объединяет АлАТ (0,97), АсАТ (0,99), прямой билирубин (0,99), общий билирубин (0,95), альбумин (0,90), с отрицательными нагрузками – по щелочной фосфатазе (-0,94) и моче-вине (-0,84).

Таким образом, установлено, что у диких красных лисиц (самцы и самки) наблюдается более распределённая и пластичная физиоло-гическая структура, отражающая адаптацию к природной среде с выраженной вариабель-ностью метаболических процессов. У лисиц (в т. ч. и красных «Огнёвка вятская»), содер-жащихся на промышленных зверофермах, метаболизм организован более компактно и согласованно вследствие работы селекционера на уменьшение изменчивости по качеству опушения и окрасу волосяного покрова.

Это подтверждается значительным пре-обладанием первого компонента и высоким процентом объяснённой дисперсии, особенно у красных лисиц обоего пола. Половые разли-чия проявляются в том, что у самцов всех групп отмечены высокие нагрузки по фермен-тативным и белковым показателям, а у самок – выраженная связь с азотистыми метаболитами и билирубином, что отражает различия в интен-сивности обменных процессов.

Сравнительный анализ биохимических корреляций у лисиц, содержащихся на зверо-фермах и диких особей.

Результаты проведенного исследования выявили существенные различия в характере взаимосвязей биохимических параметров у диких лисиц и лисиц различных цветовых типов, содержащихся на зверофермах. Анализ корреляционных матриц позволил иденти-фицировать особые закономерности метаболи-ческих взаимодействий, отражающих адапта-ционные стратегии изучаемых групп.

У диких самок обнаружена слабая взаи-мосвязь АлАТ с другими биохимическими пара-метрами, за исключением достоверной отрица-тельной корреляции с мочевиной ($rs = -0,523$; $p < 0,05$). Примечательно, что АсАТ продемон-стрировал сильную положительную корреля-цию исключительно с креатинином ($rs = 0,823$; $p < 0,01$), что может свидетельствовать о тесной функциональной связи печеночной и почечной систем у данной группы.

Таблица 1 – Нагрузки компонент на биохимические показатели крови у различных групп самок лис /
Table 1 – Component loads on blood biochemical parameters in different groups of female foxes

Показатель / Indicator	Дикие лисы (n = 10) / Wild foxes (n = 10)			Серебристо-черные лисы (n = 30) / Silver-black foxes (n = 30)			Красные лисы «Огне́вка вятская» (n = 30) / Red Foxes «Ognevka Vyatskaya» (n = 30)	
	компонент 1 / component 1	компонент 2 / component 2	компонент 3 / component 3	компонент 1 / component 1	компонент 2 / component 2	компонент 3 / component 3	компонент 1 / component 1	компонент 2 / component 2
АЛАТ / ALAT	0,56	0,35	0,48	0,95	0,96	0,95	0,96	0,19
АсАТ / AsAT	0,88	0,32	0,03	0,90	0,87	0,78	0,99	-0,03
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase	0,42	-0,88	0,16	-0,91	-0,23	0,29	0,67	0,70
Общий белок / Total protein	0,04	0,95	-0,15	-0,98	0,36	0,05	0,92	-0,32
Альбумин / Albumin	0,44	0,66	-0,22	0,76	-0,22	-0,34	0,97	-0,21
Мочевина / Urea	-0,92	0,27	-0,24	0,72	0,65	-0,38	0,32	-0,93
Креатинин / Creatinine	0,97	-0,02	0,03	0,83	0,68	-0,02	0,96	0,12
Общий билирубин / Total bilirubin	-0,30	0,37	0,64	-0,25	-0,21	0,46	0,78	0,52
Прямой билирубин / Direct bilirubin	-0,46	0,12	0,70	0,04	-0,06	-0,32	-0,71	0,50

Таблица 2 – Нагрузки компонент на биохимические показатели крови у различных групп самцов лис /
Table 2 – Component loads on blood biochemical parameters in different groups of male foxes

Показатель / Indicator	Дикие лисы (n = 10) / Wild foxes (n = 10)			Серебристо-черные лисы (n = 30) / Silver-black foxes (n = 30)			Красные лисы «Огне́вка вятская» (n = 30) / Red Foxes «Ognevka Vyatskaya» (n = 30)	
	компонент 1 / component 1	компонент 2 / component 2	компонент 3 / component 3	компонент 1 / component 1	компонент 2 / component 2	компонент 3 / component 3	компонент 1 / component 1	компонент 2 / component 2
АЛАТ / ALAT	0,82	-0,53	-0,21	0,96	0,97	0,86	0,97	0,07
АсАТ / AsAT	0,98	0,14	0,06	0,87	0,90	0,88	0,99	0,12
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase	0,93	0,34	0,14	-0,90	0,35	-0,117	-0,94	0,31
Общий белок / Total protein	0,91	-0,39	-0,15	-0,98	0,41	0,357	0,86	0,35
Альбумин / Albumin	0,98	0,14	0,06	0,76	0,69	0,228	0,90	0,42
Мочевина / Urea	-0,25	0,90	0,35	0,72	0,46	-0,331	-0,84	0,45
Креатинин / Creatinine	0,74	0,62	0,25	0,83	0,59	0,021	0,34	-0,93
Общий билирубин / Total bilirubin	-0,09	-0,22	0,97	-0,25	0,46	-0,326	0,95	-0,26
Прямой билирубин / Direct bilirubin	0,08	-0,74	0,66	0,04	-0,23	0,385	0,99	0,12

Уникальной особенностью диких самок явилась выраженная отрицательная корреляция щелочной фосфатазы с общим белком ($r_s = -0,877$; $p < 0,01$), не наблюдаемая у особей, содержащихся на зверофермах.

В отличие от диких сородичей, серебристо-черные самки характеризовались сильной положительной взаимосвязью АлАТ и щелочной фосфатазы ($r_s = 0,973$; $p < 0,01$), что типично для интенсивного печеночного метаболизма. Оба фермента демонстрировали отрицательные корреляции с билирубином. У красных самок зафиксирована исключительно высокая корреляция между АлАТ и АсАТ ($r_s = 0,975$; $p < 0,01$), указывающая на усиление белкового и аминокислотного обмена, характерного для периода активного роста или подготовки к размножению, что отражает интенсивные адаптивные процессы, обеспечивающие повышенные энергетические и пластические потребности организма.

У диких самцов выявлена сильная положительная корреляция АсАТ с альбумином ($r_s = 0,985$; $p < 0,01$), что может объясняться андроген-опосредованной стимуляцией белкового синтеза. Щелочная фосфатаза показала сильные связи как с АсАТ ($r_s = 0,976$; $p < 0,01$), так и с креатинином ($r_s = 0,937$; $p < 0,01$), отражая комплексное участие в печеночно-почечных взаимодействиях. У серебристо-черных самцов обнаружена практически полная отрицательная корреляция между АлАТ и общим белком ($r_s = -0,980$; $p < 0,01$), характерная для состояний с подавлением белкового синтеза на фоне катаболических процессов.

Анализ белкового обмена выявил существенные межгрупповые различия. У диких самок общий белок демонстрировал только отрицательную связь с щелочной фосфатазой, тогда как у серебристо-черных наблюдались отрицательные корреляции как с АлАТ, так и с щелочной фосфатазой. Самки красной лисицы отличались практически идентичной динамикой альбумина и общего белка ($r_s = 0,973$; $p < 0,01$), отражающей стабильность белкового обмена.

У самцов диких лисиц выявлена сильная положительная корреляция АсАТ с альбумином ($r_s = 0,985$; $p < 0,01$). Серебристо-черные самцы характеризовались резкой отрицательной взаимосвязью общего белка с АлАТ, типичной для стресс-индуцированных метаболических сдвигов. В группе самцов красных лисиц альбумин коррелировал как с АлАТ ($r_s = 0,926$; $p < 0,01$), так и с билирубином ($r_s = 0,940$; $p < 0,01$),

что может отражать адаптацию к повышенным метаболическим нагрузкам.

Наиболее выраженные межгрупповые различия обнаружены в характере взаимосвязей показателей азотистого обмена. У самок диких лисиц зарегистрирована необычная отрицательная корреляция мочевины как с АсАТ ($r_s = -0,764$; $p < 0,01$), так и с креатинином ($r_s = -0,891$; $p < 0,01$), что может указывать на альтернативные пути выведения азотистых соединений. В отличие от этого, у серебристо-черных самок креатинин положительно коррелировал с АсАТ ($r_s = 0,897$; $p < 0,01$) и альбумином ($r_s = 0,751$; $p < 0,01$). Высокая корреляция отражает синхронизацию метаболических процессов в печени и мышцах, общие регуляторные механизмы (например, гормональный контроль), а также демонстрирует тесную функциональную интеграцию органов и подчеркивает единство метаболических путей.

У самцов диких лисиц креатинин показал значимые связи с АсАТ и щелочной фосфатазой, но не с мочевиной, тогда как у лисиц, разводимых в неволе, преобладали корреляции креатинина с АсАТ (положительные) и мочевиной (отрицательные). Эти различия могут отражать различную стратегию регуляции азотистого обмена у диких красных лисиц и лисиц, содержащихся на звероферме.

Анализ гепатобилиарного транспорта и экскреции билирубина выявил минимальные корреляции у диких особей: у самок отсутствовали связи билирубина с другими параметрами; у самцов отмечена взаимосвязь только между общим и прямым билирубином ($r_s = 0,797$; $p < 0,01$). У лисиц, содержащихся на ферме, билирубин демонстрировал сложные взаимосвязи с печеночными ферментами: отрицательные – у серебристо-черных; разнонаправленные – у красных особей.

Выводы. 1. Установлены существенные различия в биохимических параметрах между дикими лисицами и лисицами, разводимыми на промышленных зверофермах, обусловленные половым диморфизмом и эффектами одомашнивания.

2. У лисиц, разводимых в неволе (особенно красного окраса «Огнёвка вятская»), выявлена более консолидированная факторная структура метаболического профиля: доминирование первой главной компоненты (70,1 % дисперсии); высокая суммарная объяснённая дисперсия (до 100 %); упрощение и унификация

метаболических процессов как результат искусственного отбора.

3. Для диких лисиц характерна более распределённая и пластичная организация метаболизма, 82,1 % дисперсии объясняется тремя компонентами, выраженная адаптивная вариабельность в естественной среде.

4. Обнаружены значительные половые различия: у самцов выражены ассоциации с ферментативными (АсАТ, АлаТ) и белковыми показателями (общий белок, альбумин), у самок преобладают взаимосвязи с азотистыми метаболитами (мочевина, креатинин) и билирубином.

References

1. Срослова Г. А., Постнова М. В., Зими́на Ю. А. Особенности адаптации живых организмов. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2017;7(4):32–38. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.4.5> EDN: XPSPTN
1. Sroslova G. A., Postnova M. V., Zimina Yu. A. Features of adaptation of living organisms. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Estestvennye nauki*. 2017;7(4):32–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.4.5>
2. Kokore B. A., Bleyere H. M., Kamagate S., Yapo P. A. Blood biochemical parameters exploration in broilers and local chickens in Korhogo, Côte d'Ivoire. *American Journal of Food and Nutrition*, 2021;9(2):82–86. DOI: <https://doi.org/10.12691/ajfn-9-2-4>
3. Aguirre A. A. Wild canids as sentinels of ecological health: a conservation medicine perspective. *Parasites & Vectors*. 2009;2(Suppl 1):S7. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-2-S1-S7>
4. Akbaba B., Kucukyildirim S., Ünal H. Comparison of the red fox gut microbiota among different habitat types in southern Anatolia. *Mammal Research*. 2025;70:175–182. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13364-025-00783-4>
5. Kuznetsov Y. E., Lunegov A. M., Ponamarev V. S., Romashova E. B. Indicators of biochemical blood parameters of minks (*Mustela vison*) with shed keeping in the Tver region climate. *Journal of Agriculture and Environment*. 2022;7(27):1–4. DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.27.7.002>
6. Radkowska I., Herbut E. Hematological and biochemical blood parameters in dairy cows depending on the management system. *Animal Science Papers and Reports*. 2014;32(4):317–325. URL: <https://www.igbzpan.pl/uploaded/FSiBundleContentBlockBundleEntityTranslatableBlockTranslatableFilesElement/filePath/327/str317-326.pdf>
7. Березина Ю. А., Беспяты́х О. Ю., Сюткина А. С., Плотников И. А., Окулова И. И., Перевозчикова М. А., Домский И. А. Биохимические показатели крови помесных лисиц цветового типа красная снежная в зависимости от возраста. Кролиководство и звероводство. 2024;(2):41–48. DOI https://doi.org/10.52178/00234885_2024_2_41 EDN: VVNZPO
7. Berezina Yu. A., Bespyatykh O. Yu. Syutkina A. S., Plotnikov I. A., Okulova I. I., Perevozchikova M. A., Domskiy I. A. Age-related biochemical blood indices of crossbred foxes of red snow color type. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2024;(2):41–48. (In Russ.). DOI https://doi.org/10.52178/00234885_2024_2_41
8. Березина Ю. А., Кокорина А. Е., Плотников И. А., Окулова И. И., Бельтюкова З. Н., Кошурникова М. А., Беспяты́х О. Ю. Сезонные особенности гематологических показателей крови у взрослого вуалевгого песца в условиях Волго-Вятского региона. Дальневосточный аграрный вестник. 2019;(1):32–37. DOI: <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2019-1-32-37> EDN: ZDPODB
8. Berezina Yu. A., Kokorina A. E., Plotnikov I. A., Okulova I. I., Bel'tyukova Z. N., Koshurnikova M. A., Bespyatykh O. Yu. Seasonal characteristics of hematological parameters of blood in grown-up blue fox in the climate of Volgo-Vyatskiy region. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2019;(1):32–37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2019-1-32-37>
9. Берестов В. А., Кожевникова Л. К. Ферменты крови пушных зверей. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1981. 184 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001050524>
9. Berestov V. A., Kozhevnikova L. K. Blood enzymes of fur animals. Leningrad: *Nauka: Leningr. otd-nie*, 1981. 184 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001050524>
10. Benn D. M., McKeown D. B., Lumsden J. H. Hematology and biochemistry reference values for the ranch fox. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 1986;50(1):54–58. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1255159/>
11. Crooks K. R. S., Scott C. A., Bowen L., van Vuren D. Hematology and serum chemistry of the island fox on Santa Cruz Island. *Journal of Wildlife Diseases*. 2000;36(2):397–404. DOI: <https://doi.org/10.7589/0090-3558-36.2.397>
12. Gelli D., Gerardi G., Lai O., Stefani A., Contiero B., Segato S. Hematologic and biochemistry reference intervals for rescued red foxes (*Vulpes vulpes*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2023;54(2):374–378. DOI: <https://doi.org/10.1638/2022-0131>
13. Inoue H., Clifford D. L., Vickers T. W., Coonan T. J., Garcelon D. K., Borsjesson D. L. Biochemical and hematological reference intervals for the endangered island fox (*Urocyon littoralis*). *Journal of Wildlife Diseases*. 2012;48(3):583–592. DOI: <https://doi.org/10.7589/0090-3558-48.3.583>
14. Lescano J., Quevedo M., Villalobos M., Gavidia C. Hematology and serum biochemistry of free-ranging and captive Sechuran foxes (*Lycalopex sechurae*). *Veterinary Clinical Pathology*. 2018;47(1):29–37. DOI: <https://doi.org/10.1111/vcp.12568>

15. Rudd J., Clifford D., Richardson D., Cyphers B., Westall T., Kelly E. et al. Hematologic and serum chemistry values of endangered San Joaquin kit foxes (*Vulpes macrotis mutica*) with sarcoptic mange. Journal of Wildlife Diseases. 2019;55(2):410–415. DOI: <https://doi.org/10.7589/2017-10-270>
16. Talukdar A., Ghosal S., Raina P. Hematological and blood chemistry values in red fox (*Vulpes vulpes*) from Ladakh, India. Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika. 2021;36(2):156–157. DOI: <https://doi.org/10.18805/BKAP319>
17. Di Cataldo S., Hidalgo-Hermoso E., Sacristán I., Cevidanes A., Napolitano C., Hernández C. V. et al. Hemoplasmas are endemic and cause asymptomatic infection in the endangered Darwin's fox (*Lycalopex fulvipes*). Appl Environ Microbiol. 2020;86(12):1–16. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00779-20>
18. Mohamed A. E. A., Mohamed M. M., Fawaz M. M., Fereig R. M. Diversity of external and gastrointestinal parasites and the associated clinical, hematological, and biochemical findings in red fox (*Vulpes vulpes*) of Egyptian Wilderness. German Journal of Veterinary Research. 2024;4(3):110–125. DOI: <https://doi.org/10.51585/gjvrs.2024.3.0103>
19. Marks C. Hematological and biochemical responses of red foxes (*Vulpes vulpes*) to different capture methods and shooting. Animal Welfare. 2010;19(3):223–234. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600001603>

Сведения об авторах

✉ **Березина Юлия Анатольевна**, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5082-716X>, e-mail: uliya180775@bk.ru

Беспятых Олег Юрьевич, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, заведующий кафедрой физической культуры ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д.36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4539-7385>

Домский Игорь Александрович, член-корреспондент РАН, доктор вет. наук, директор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1633-1341>

Сюткина Анна Сергеевна, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3234-8602>

Стреляный Сергей Филиппович, заведующий научно-опытного хозяйства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru

Information about the authors

✉ **Yulya A. Berezina**, PhD in Veterinary Science, senior researcher, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5082-716X>, e-mail: uliya180775@bk.ru

Oleg Yu. Bespyatykh, DSc in Biological Science, leading researcher, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, Head of the Department of Physical Education, Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4539-7385>

Igor A. Domskiy, DSc in Veterinary Science, corresponding member of RAS, director, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1633-1341>

Anna S. Syutkina, PhD in Veterinary Science, senior researcher, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3234-8602>

Sergey F. Strelyaniy, Head of the Scientific and Experimental farm, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author