
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

**БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЫВОРОТКИ КРОВИ САМЦОВ
АМЕРИКАНСКИХ НОРОК (*NEOGALE VISON*) ПРИ ОТБОРЕ НА РУЧНОЕ
И АГРЕССИВНОЕ ПОВЕДЕНИЕ**

© 2025 г. Э. В. Панова^{1,*}, С. Н. Калинина¹, О. В. Трапезов², В. А. Илюха³

¹Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук,
Петрозаводск, Россия

²Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, Россия

³Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,
пос. Борок, Ярославская обл., Россия

*E-mail: panova550@gmail.com

Поступила в редакцию 25.04.2025 г.

После доработки 19.05.2025 г.

Принята к публикации 19.05.2025 г.

Искусственный отбор животных, направленный на усиление или ослабление оборонительной реакции на человека, влияет на изменчивость функционального состояния регуляторных систем, физиологических функций организма и на сезонность биологических циклов размножения и обмена веществ. Модельным объектом в исследовании влияния отбора на физиологические функции млекопитающих служит сезонно размножающийся хищник семейства Mustelidae американская норка *Neogale vison*. В ходе многолетнего отбора по оборонительной реакции на человека за 27 поколений были созданы две линии норок с ярко выраженными агрессивным и ручным типами поведения, нехарактерными для животных промышленных популяций. Исследования биохимической картины сыворотки крови млекопитающих для оценки состояния обменных процессов организма в условиях отбора по поведению ранее не проводились. Цель работы – анализ биохимических параметров сыворотки крови ручных и агрессивных американских норок клеточного разведения в летний и осенний периоды года. Показано, что как сезон года, так и тип поведения животных оказывают влияние на биохимические параметры крови. Так, содержание общего белка, билирубина, глюкозы и мочевой кислоты были выше, а активность щелочной фосфатазы (ЩФ) – ниже в сыворотке крови животных в осенний период по сравнению с летним независимо от типа поведения. Кроме этого, у агрессивных животных наблюдались более высокие активность амилазы, уровень триглицеридов, но более низкая активность липазы осенью по сравнению с летним периодом. У ручных норок активность аспартатаминотрансферазы (АСТ) и уровень холестерина были выше в осенний период по сравнению с летним. Агрессивные животные по сравнению с ручными характеризовались более высокими уровнями альбумина, глюкозы и холестерина, а также активности АСТ, лактатдегидрогеназы (ЛДГ), липазы в летний период и более высокими уровнями глюкозы и ЛДГ, но более низкими – мочевины и ЩФ осенью. Таким образом, в ходе многолетней селекции американских норок по поведению меняются показатели обмена веществ при одновременном сохранении сезонных колебаний отдельных биохимических параметров крови, что отражает эволюционно сложившуюся адаптивную особенность норок к циклическим изменениям условий среды.

Ключевые слова: американская норка, отбор по поведению, биохимия крови, доместикация

ВВЕДЕНИЕ

Процесс одомашнивания диких животных и растений, ознаменовавший начало неолитической революции, можно считать самым первым интеллектуальным достижением человечества [1]. При одомашнивании изначально дикие популяции животных адаптируются к антропогенной среде благодаря генетическим изменениям, затрагивающим изменение поведения [2–4].

Однако на сегодняшний день физиологические механизмы данного процесса остаются не до конца изученными [5–7]. Большое количество исследований сущности процесса одомашнивания животных разных таксонов позволило выделить основные закономерности этого явления. Во-первых, искусственный отбор происходит под контролем человека, и успешность размножения в антропогенных условиях становится важным признаком селекции. Во-вторых, одомашниваемые животные характеризуются усилением темпов и размаха изменчивости по различным признакам и даже появлением признаков *de novo*, которые прежде не встречались в эволюционной истории вида, кроме того, у взрослых особей могут сохраняться ювенильные признаки (неотения). В-третьих, у одомашненных особей развивается так называемый одомашнивающий синдром [8], при котором у животных проявляются некоторые признаки, ценимые человеком, но опасные для животных в естественной среде обитания (например, окраска волосяного покрова). И в-четвертых, одомашненные животные утрачивают сезонность размножения, фотопериодизм и приспособленность к определенному суточному ритму [5].

В середине прошлого столетия академиком Беляевым был предложен оригинальный подход в изучении генетико-эволюционных механизмов одомашнивания, идея которого заключалась в организации контролируемого отбора по принципу коррелятивной изменчивости в заранее указанном направлении. Беляев отмечал, что ведущую роль в эволюции и селекции играют коррелятивные связи, входящие в эволюционно сложившуюся систему регуляции онтогенеза [9]. При этом он подчеркивал, что ускорение темпов одомашнивания зависит от систематического отбора животных по поведению относительно реакции на человека, а также от формирования эмоционально-положительных реакций на него [9]. В многолетнем эксперименте Беляева и Трут по отбору на одомашнивающее поведение серебристо-черных лисиц (*Vulpes vulpes*) была смоделирована ситуация, которая демонстрирует процессы исторической одомашнивания животных [6]: возникновение особенностей коммуникативного поведения, морфологических и физиологических изменений, характерных для домашних собак, а также появление пегостей на кожно-меховом покрове вследствие замедления темпов развития эмбриональных предшественников меланоцитов [10].

Клеточное пушное звероводство является относительно молодой отраслью животноводства, созданной в начале XX века. Самому жесткому отбору пушные животные подверглись на ранних этапах одомашнивания – при отлове из дикой природы и перемещении в антропогенную среду. На начальных стадиях в условиях промышленного разведения пушных зверей происходили морфологические и функциональные изменения, а также наблюдались различия в поведенческих реакциях [11]. Важными факторами сначала естественного, а затем и искусственного отбора в условиях одомашнивания стал отбор на стрессоустойчивость по отношению к человеку, генетическую адаптацию и способность давать потомство в новых условиях [11]. Начальный период одомашнивания пушных зверей в первую очередь коснулся изменений типа высшей нервной деятельности [12].

В 1970-х годах было установлено, что мутантные формы норки (hedlund white – *h/h*, aleutian – *a/a*, royal pastel – *b/b*, american palomino – *k/k*, sapphire – *a/a p/p*) в сравнении с носителями окраски дикого типа Standard dark brown (+/+) отличались более ручным поведением [13, 14]. Беляевым [9] и Трут [15, 16] на серебристо-черных лисицах было

показано, что характер оборонительного поведения и способность к приручению хорошо наследуются. Однако на процесс отбора по поведению могут влиять средовые условия [12].

Удобным объектом для исследования физиологических функций у млекопитающих разных поведенческих типов является американская норка *Neogale vison* (Carnivora, Mustelidae). Наличие уникальных моделей агрессии и коммуникативности американской норки позволяет провести сравнительный анализ функционирования организма у животных, не являющихся лабораторными, отличающихся от привычных модельных организмов и содержащихся на звероферме в одинаковых условиях. Ранее было показано, что селекция норок по оборонительной реакции на человека сопровождается изменениями в интенсивности пигментации волосяного покрова, роста и развития, метаболизма нейромедиаторов (серотонина и катехоламинов), стресс-реактивности, функциональной активности репродуктивной системы, активности пищеварительных ферментов [17–19]. Отбор по поведению вызывает коррелятивные перестройки регуляторных систем и физиологических функций организма [9, 20–30].

Кровь является наиболее распространенным материалом исследования в лабораторной диагностике. Основное внимание при этом уделяется биохимическому анализу сыворотки крови, который отражает состояние обмена веществ [31], что позволяет применять этот анализ для ранней диагностики заболеваний и выявления нарушений в работе внутренних органов, а мониторинг за состоянием здоровья животных способствует повышению сохранности поголовья и его продуктивности [32]. Обмен веществ и энергии составляет основу процессов жизнедеятельности организма и включает в себя совокупность изменений, которые претерпевают вещества от момента их поступления в пищеварительный тракт до образования конечных продуктов распада.

Для многих лабораторных животных установлены определенные половозрастные нормы биохимических показателей сыворотки крови [32], тем не менее существуют некоторые трудности при установлении референсных значений биохимических показателей для американских норок. Ограниченное количество работ [12, 33–36] посвящено изучению биохимических показателей крови при нарушениях обмена веществ при различных заболеваниях пушных зверей [37]. Противоречия в имеющихся немногочисленных данных объясняются различными методиками взятия и исследования крови, получением крови от животных различных фенотипов, полов и возрастов [37]. Кроме того, под влиянием отбора по поведению у животных происходят перестройки регуляторных систем и физиологических функций организма, что также может сказываться на биохимических показателях сыворотки крови. Эталонные величины этих параметров, определенные для американской норки, не являются стабильными из-за физиологических перестроек и/или изменения диеты животных на зверофермах. Данные биохимические значения могут изменяться в течение 10–15 лет [38]. Кроме того, у норок гематологические показатели белкового, липидного и углеводного обменов зависят от генотипа [39]. Цель данной работы состояла в изучении влияния отбора на ручное и агрессивное поведение на биохимические параметры сыворотки крови норок в летний и осенний периоды.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Животные. В эксперимент были взяты самцы американской норки ($n = 50$; возраст – 1–2 года; фенотип – Standard dark brown (+/+)) клеточного разведения, содержащиеся на экспериментальной звероферме Института цитологии и генетики СО РАН. Рацион был составлен в соответствии с рекомендациями для данного вида. Животные

в пятимесячном возрасте были протестированы на оборонительную реакцию на человека (агрессия, страх, ручное поведение) согласно методике *hand catch test* [40]. Каждый тип поведения соотносился со значениями на условной шкале, где 0 обозначает реакцию страха, значения от -1 до -4 свидетельствуют об агрессивном поведении, а значения от $+1$ до $+6$ – о ручном. В данном исследовании использовались 2 группы норок из 19–27-го поколений селекции по оборонительной реакции на человека – с агрессивным -3 и ручным $+6$ поведением. Группа -3 отличается активным нападением вне укрытия. Группа $+6$ характеризуется уникальным ручным поведением, которое возникает *de novo* и никогда не встречается среди норок в исходной промышленной популяции, не затронутой специальным отбором по поведению, звери сами проявляют активность по отношению к человеку и исследуют его руки. Взятие биоматериала осуществлялось у ручных и агрессивных животных летом (июнь) (по $n = 15$), после сезона размножения, в период полового покоя и осенью (октябрь) (по $n = 10$), перед сезоном размножения, в период подготовки организма к зиме.

Забор крови. Образцы крови брали между 9:00 и 13:00 ч, до кормления. Забор крови осуществлялся согласно учебно-методическим рекомендациям по работе с пушными животными [41] без использования седативных средств или анестетиков с соблюдением правил асептики и антисептики. Для получения образцов крови американской норки животное фиксировали, выстригали волосы на расстоянии 1 см от кончика хвоста, кожные покровы обрабатывали спиртом и ножницами отсекали около 3 мм хвоста. Кровь собирали в центрифужные пробирки, контролируя, чтобы она стекала по внутренней стенке, не соприкасаясь с волосатым покровом для исключения гемолиза. Кровотечение останавливали путем наложения лигатуры с последующей обработкой кончика хвоста стрептоцидом [41]. Пробирки с образцами центрифугировали через 1.5 ч в течение 30 мин при 3000 об/мин. После центрифугирования образовавшуюся сыворотку отделяли и аликвоты хранили в герметичных полипропиленовых микроцентрифужных пробирках при температуре -80°C до проведения анализа.

Определение биохимических показателей. Лабораторные исследования проводились с использованием оборудования Центра коллективного пользования Карельского научного центра РАН. С помощью соответствующих наборов реактивов производства “Вектор-Бест” (Россия) исследовали содержание альбумина, билирубина, глюкозы, креатинина, мочевины, мочевой кислоты, общего белка, триглицеридов (ТГ), холестерина, а также активности аланинаминотрансферазы (АЛТ), α -амилазы, аспартатаминотрансферазы (АСТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), липазы, щелочной фосфатазы (ЩФ). Анализы проводились на мультимодальном планшетном ридере SuPerMax 3100 (Shanghai Flash Spectrum Biotechnology Co., LTD, Китай).

Статистическая обработка данных. Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами статистики в программе Statgraphics Centurion 19. Выборки имели распределение, отличающееся от нормального, поэтому данные представлены в виде медиан, а также нижнего и верхнего квартилей – Me [Q1; Q3]. Для оценки влияния факторов “сезон” и “тип поведения” на исследуемые показатели использовали многофакторный дисперсионный анализ с оценкой достоверности различий по непараметрическому критерию Краскела – Уоллиса. Расчет силы влияния фактора (η) производился по формуле: $\text{Sum of Squares between group/Total (Corr.)} \times 100$ и выражался в процентах. Для выявления взаимосвязей, а также оценки их силы и направленности между изучаемыми показателями использовали корреляционный анализ (ранговый критерий Спирмена, r). Для получения небольшого количества линейных комбинаций и объяснения большей части изменчивости данных применяли метод главных компонент (РСА). Также применяли дискриминантный анализ. Статистически значимыми считали различия с $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе работы нами были получены данные, характеризующие биохимическую картину сыворотки крови американских норок двух типов поведения в период полового покоя и начала подготовки к сезону размножения (табл. 1).

Таблица 1. Биохимические показатели сыворотки крови агрессивных и ручных американских норок (*Neogale vison*) в период полового покоя (лето) и начала подготовки к сезону размножения (осень) (Ме [Q1; Q3])

Биохимические показатели	Единицы измерения	Лето		Осень	
		Агрессивные <i>n</i> = 15	Ручные <i>n</i> = 15	Агрессивные <i>n</i> = 10	Ручные <i>n</i> = 10
АЛТ	Ед/л	120.20 [107.80; 150.30]	108.70 [97.24; 129.10]	152.90 [123.80; 222.80]	130.80 [111.40; 238.0]
Альбумин	г/л	45.77 [42.02; 50.22]	36.98* [33.38; 38.64]	40.59 [37.76; 44.03]	43.96 [39.52; 45.13]
Амилаза	Ед/л	230.10 [215.50; 266.5]	261.40 [211.70; 270.30]	327.35▲ [279.90; 386.30]	290.70 [221.20; 342.30]
АСТ	Ед/л	113.20 [100.80; 130.80]	99.01* [93.70; 107.80]	129.10 [114.90; 169.70]	152.05▲ [122.80; 252.80]
Билирубин	мкмоль/л	6.54 [5.26; 8.45]	4.58 [4.09; 5.90]	15.30▲ [13.89; 19;33]	15.78▲ [14.01; 18.24]
Глюкоза	ммоль/л	8.23 [7.82; 9.40]	6.51* [5.92; 7.38]	11.17▲ [9.84; 11.80]	8.13*▲ [6.61; 8.87]
Креатинин	мкмоль/л	—	—	48.73 [31.52; 61.30]	60.44 [38.23; 99.67]
ЛДГ	Ед/л	1239.00 [1048.00; 1424.00]	665.8* [613.10; 1009.00]	1107.50 [903.10; 1417.00]	735.00* [646.00; 804.20]
Липаза	МЕ/л	56.59 [46.12; 61.10]	27.58* [19.31; 53.80]	31.36▲ [28.75; 35.46]	47.79 [44.39; 52.03]
Мочевая кислота	мкмоль/л	276.56 [268.42; 282.96]	269.25 [254.66; 308.38]	319.33▲ [289.57; 387.99]	309.22▲ [295.21; 321.98]
Мочевина	ммоль/л	7.91 [4.47; 8.99]	3.11 [2.94; 8.93]	7.29 [6.63; 7.63]	8.47* [8.28; 8.66]
Общий белок	г/л	65.23 [61.95; 71.09]	65.09 [59.58; 68.41]	74.43▲ [67.79; 78.90]	71.36▲ [67.18; 75.47]
ТГ	ммоль/л	1.28 [1.19; 1.38]	1.30 [1.12; 1.39]	1.71▲ [1.53; 1.98]	1.38 [1.32; 1.47]
Холестерол	ммоль/л	5.99 [4.97; 6.75]	3.73* [3.31; 4.66]	6.01 [5.42; 6.45]	6.17▲ [5.62; 7.02]
ЩФ	Ед/л	82.71 [77.75; 100.60]	96.09 [86.85; 107.20]	68.09▲ [63.41; 73.89]	88.64*▲ [76.92; 96.50]

Различия показателей статистически значимы ($p < 0.05$): * – между агрессивными и ручными животными в одном сезоне; ▲ – у одной и той же поведенческой группы животных, исследованной в разные периоды года; “—” – показатель не измеряли.

Обнаружено статистически значимое изменение изученных показателей под влиянием (критерий Краскела – Уоллиса, $p < 0.05$) воздействия как сезона года, так и типа поведения животных. Так, содержание общего белка, билирубина, глюкозы и мочевой кислоты были выше, а активность ЩФ – ниже в сыворотке крови американских норок

в осенний период по сравнению с летним независимо от типа поведения. Помимо этого, осенью у агрессивных животных наблюдались более высокие активность амилазы, уровень ТГ, но более низкая активность липазы, чем летом. У ручных норок активность АСТ и уровень холестерина были выше в осенний период по сравнению с летним.

Различия биохимических показателей между американскими норками двух типов поведения состояли в следующем. Агрессивные животные по сравнению с ручными характеризовались более высокими уровнями альбумина, глюкозы, холестерина, активности АСТ, ЛДГ и липазы в летний период, а также более высокими уровнями глюкозы и ЛДГ, но более низкими – мочевины и ЩФ осенью.

В результате применения метода главных компонент было установлено, что две из них (первая и четвертая) значимо коррелируют с изучаемыми факторами – сезоном и типом поведения. Первая главная компонента была связана с обоими факторами, а четвертая – только с типом поведения. Первая главная компонента характеризовала 29.37% изменчивости и формировалась такими параметрами, как альбумин, билирубин, глюкоза, мочевины, мочевиная кислота, ТГ и холестерол, а также активностью АЛТ, АСТ, α -амилазы и ЛДГ. Четвертая главная компонента формировалась за счет уровня общего белка и креатинина, а также активности липазы (с отрицательным значением) и ЩФ и снимала 8.98% общей дисперсии. Распределение групп животных по изученным показателям в пространстве двух главных компонент отражено на рис. 1.

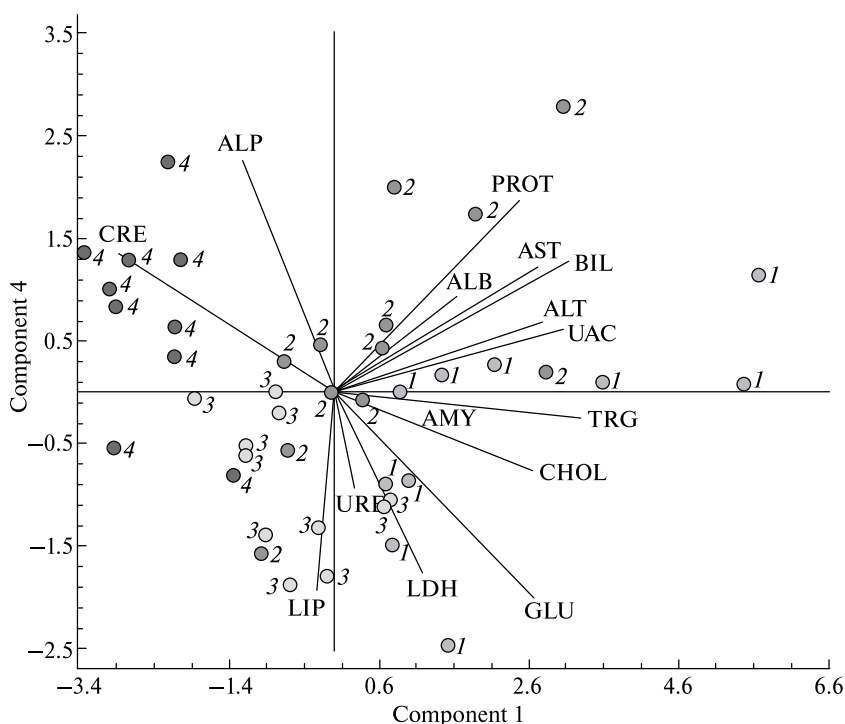


Рис. 1. Расположение экспериментальных групп животных для пула исследованных показателей сыворотки крови норок на плоскости двух главных компонент. Обозначения: Component 1, 4 – главные компоненты 1 и 4; группы животных: 1 – агрессивные, лето; 2 – ручные, лето; 3 – агрессивные, осень; 4 – ручные, осень. ALB – альбумин, г/л; ALP – щелочная фосфатаза, Ед/л; ALT – аланинаминотрансфераза, Ед/л; AMY – α -амилаза, Ед/л; AST – аспартатаминотрансфераза, Ед/л; BIL – билирубин, мкмоль/л; CHOL – холестерол, ммоль/л; CRE – креатинин, мкмоль/л; GLU – глюкоза, ммоль/л; LDH – лактатдегидрогеназа, Ед/л; LIP – липаза, МЕ/л; PROT – общий белок, г/л; TRG – триглицериды, ммоль/л; UAC – мочевиная кислота, мкмоль/л; URE – мочевина, ммоль/л.

При анализе экспериментальных данных было выявлено статистически значимое влияние сезонного фактора (рис. 2) на такие показатели сыворотки крови, как АСТ ($\eta = 18.68\%$), билирубин ($\eta = 51.81\%$) и холестерол ($\eta = 17.85\%$). Уровень этих биохимических показателей крови норок был выше в осенний период по сравнению с летним. В биохимической картине крови исследуемых животных отмечаются межгрупповые различия (рис. 2), которые заключаются в более высоком содержании глюкозы ($\eta = 33.14\%$), креатинина ($\eta = 28.71\%$), холестерола ($\eta = 10.12\%$) и активности ЛДГ ($\eta = 23.13\%$) у агрессивных норок по сравнению с ручными. Совместное статистически значимое влияние факторов “тип поведения” и “сезон” (рис. 2) было установлено для содержания холестерола ($\eta = 17.24\%$), активностей АСТ ($\eta = 7.40\%$) и липазы ($\eta = 17.71\%$).

В ходе корреляционного анализа было обнаружено, что в сыворотке крови самцов американских норок обоих поведенческих типов, взятой в летний период, выявляется большее число корреляционных плед, чем в сыворотке крови животных в осенний период (рис. 3). Наибольшее число корреляций между биохимическими показателями сыворотки крови было выявлено у агрессивных самцов летом, минимальное – у ручных самцов осенью. У агрессивных самцов в летний период года преобладали отрицательные корреляции (7 из 13), в то время как в других группах преобладали положительные (у ручных летних – 6 из 8, у агрессивных осенних – 4 из 7, у ручных осенних – 6 из 6). У самцов доместикационного типа поведения были обнаружены замкнутые циклы положительных корреляций: летний период – “альбумин – АСТ – ЛДГ”, осенний период – “альбумин – АЛТ – ЛДГ”, тогда как у агрессивных самцов в летний период – замкнутый цикл из двух отрицательных и одной положительной корреляции: “АСТ – мочевины – ЛДГ”.

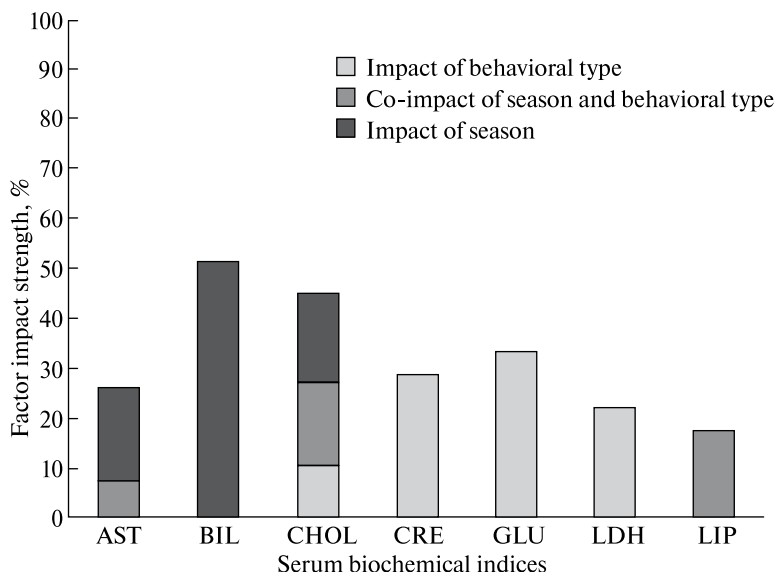


Рис. 2. Влияние факторов “тип поведения” и “сезон” на биохимические показатели сыворотки крови американских норок. Обозначения: Strength of influence of the factor, % – Сила влияния фактора, %; Biochemical parameter of blood serum – Биохимические параметры сыворотки крови; ||| – влияние фактора “тип поведения”, /// – влияние фактора “сезон”, – – – совместное влияние факторов “тип поведения” и “сезон”; AST – аспартатаминотрансфераза, Ед/л; BIL – билирубин, мкмоль/л; CHOL – холестерол, ммоль/л; CRE – креатинин, мкмоль/л; GLU – глюкоза, ммоль/л; LDH – лактатдегидрогеназа, Ед/л; LIP – липаза, МЕ/л. На рисунке представлены статистически значимые показатели сыворотки крови американских норок ($p < 0.05$).

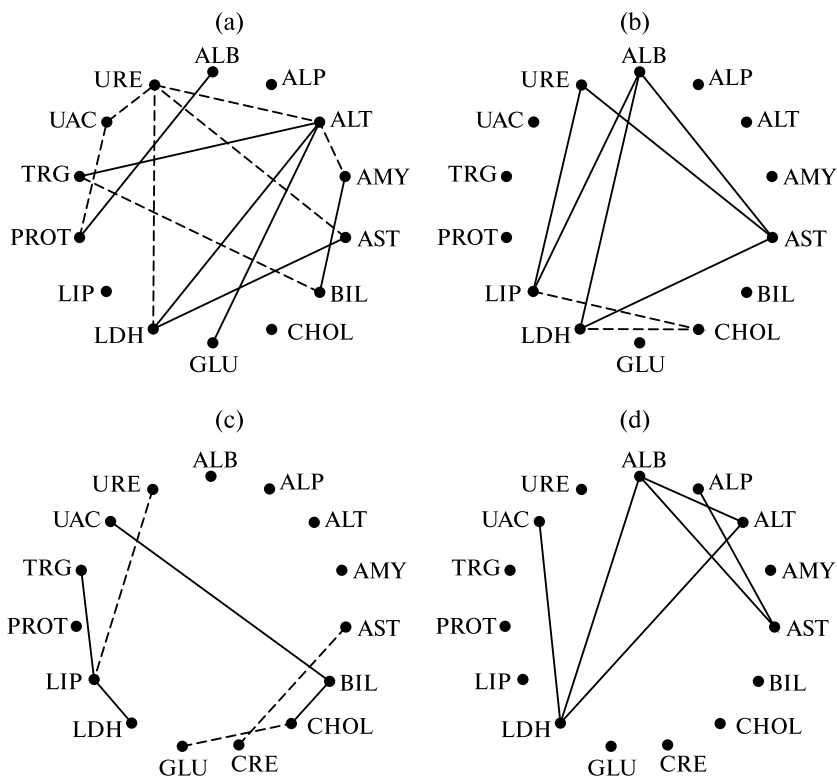


Рис. 3. Корреляционные плеяды биохимических показателей сыворотки крови американских норок двух типов поведения в разные сезоны ($p < 0.05$). Обозначения: (а) – У агрессивных животных в летний период. (б) – У ручных животных в летний период. (с) – У агрессивных животных в осенний период. (д) – У ручных животных в осенний период. Сплошная линия – положительная корреляция; пунктирная линия – отрицательная корреляция; ALB – альбумин, г/л; ALP – щелочная фосфатаза, Ед/л; ALT – аланинаминотрансфераза, Ед/л; AMY – α -амилаза, Ед/л; AST – аспартатаминотрансфераза, Ед/л; BIL – билирубин, мкмоль/л; CHOL – холестерин, ммоль/л; CRE – креатинин, мкмоль/л; GLU – глюкоза, ммоль/л; LDH – лактатдегидрогеназа, Ед/л; LIP – липаза, МЕ/л; PROT – общий белок, г/л; TRG – триацилглицерины, ммоль/л; UAC – мочевая кислота, мкмоль/л; URE – мочевины, ммоль/л.

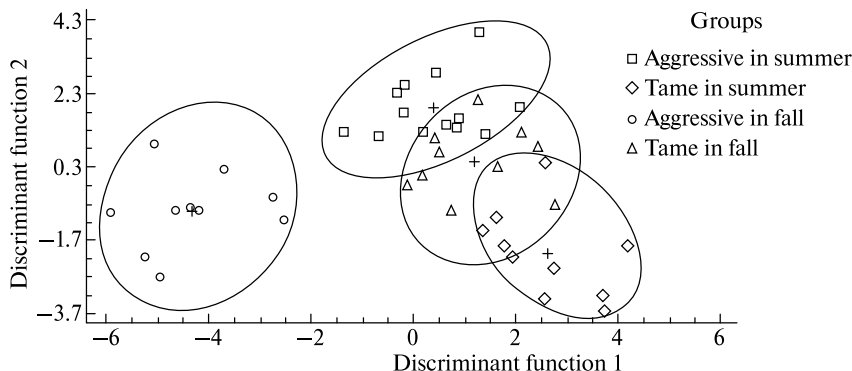


Рис. 4. Расположение экспериментальных групп животных на плоскости двух дискриминантных функций. Обозначения: Discriminant function 1, 2 – дискриминантные функции 1 и 2; $\square$ – агрессивные норки летом; $\diamond$ – ручные норки летом; $\circ$ – агрессивные норки осенью; Δ – ручные норки осенью.

В ходе пошагового дискриминантного анализа было установлено, что, базируясь на таких показателях, как уровни глюкозы, билирубина, холестерина, активности АЛТ, ЛДГ и липазы, можно корректно классифицировать изученных норок по четырем группам в 97.67% случаев. Расположение экспериментальных групп на плоскости двух дискриминантных функций достаточно четко выявляет влияние типа поведения и сезона на исследуемые показатели (рис. 4). Группы агрессивных норок были удалены друг от друга, занимали отдельные, различные неперекрывающиеся позиции. Две группы ручных норок занимали близкое перекрывающееся положение между собой. Кроме того, группа агрессивных летних животных пересекалась с группой ручных летних норок, в то время как агрессивные осенние самцы находились в стороне от других групп.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенного исследования дают дополнительную информацию о сезонной изменчивости биохимических показателей сыворотки крови у половозрелых самцов американской норки с агрессивным и ручным поведением по отношению к человеку. Несмотря на то что линии агрессивных и ручных животных относятся к 19–27-м поколениям отбора по поведению, сезон существенно влияет на биохимические показатели сыворотки крови исследованных животных.

Американские норки, как и другие сезонно размножающиеся животные умеренных широт, характеризуются периодом покоя в апреле – сентябре, началом подготовки к размножению с ноября по декабрь и активной фазой в январе – марте [42]. Обмен веществ у животных также подвержен сезонным изменениям, что является эволюционно сложившейся адаптивной особенностью организма для преодоления в естественных условиях недостатка пищи путем накопления питательных жировых запасов осенью [43]. Это, несомненно, отражается на колебаниях большинства биохимических показателей с их увеличением в зимний период и снижением – в летний, что отмечалось ранее другими исследователями [12, 33, 43, 44].

Гематологические и биохимические показатели отражают физиологическое состояние животного на момент забора крови. На эти параметры влияют несколько факторов, включая пол и возраст животного, стресс и сезон [45].

У американских норок, содержащихся на звероферме в Забайкальском крае, в зимний период показатели общего белка, билирубина, глюкозы, мочевины, холестерина и ТГ были выше по сравнению с летним, а концентрации креатинина, общих липидов и мочевой кислоты не различались [43]. В исследовании Lasota с соавт. [45] было выявлено, что у самцов американских норок (фенотипы Black и Sapphire) значения уровней глюкозы, белка, холестерина, а также активность АСТ повышались в репродуктивный сезон (январь – март) по сравнению со значениями вне периода размножения (сентябрь – ноябрь).

У норок клеточного содержания отмечаются сезонные метаболические колебания, так, например, максимальный расход энергии характерен для летнего периода, минимальный – для зимнего [46]. Со скоростью обмена веществ отрицательно коррелирует масса тела – наибольшая зимой и наименьшая летом [47]. В нашем исследовании было выявлено, что в летний период у норок обоих поведенческих типов количество коррелирующий между биохимическими показателями выше, чем осенью. Данная сезонная цикличность может быть связана с накоплением жира в осенне-зимний период и утратой его весной и ранним летом [47].

Сезонный характер углеводного обмена у американских норок был установлен в работах Берестова [33] и Петровой [44], характеризующийся постепенным снижением концентрации глюкозы в сыворотке крови с февраля по сентябрь и дальнейшим ее нарастанием к зиме. В исследовании Берестова и Кожевниковой [12] были

выявлены сезонные колебания активности амилазы в крови с наименьшими показателями в летний период и постепенным увеличением к зиме. Сезонность интенсивности углеводного обмена у американских норок может быть обусловлена исторически сложившейся приспособленностью животных к изменяющимся условиям среды и характеру питания [33, 44, 48]. Выявленный нами характер противоположно направленного взаимодействия трансаминаз находит подтверждение в работе Берестова и Кожевниковой [12], где у норок была также обнаружена зависимость активностей АЛТ и АСТ от сезона года – активность АСТ увеличивалась к лету, тогда как активность АЛТ, наоборот, уменьшалась. Подобный характер изменений указанных ферментов был также отмечен у бычков и ягнят [49, 50]. Следовательно, степень изменения активности данных трансаминаз в зависимости от сезона года указывает на специфичность этих энзимов, регулирующих перераспределение аминокислотного фонда в строго определенное время года [12]. Аминотрансферазы играют центральную роль в белковом обмене [31]. Активность трансаминаз в сыворотке крови пушных зверей колеблется в значительных пределах, что может быть обусловлено мышечным напряжением и возбуждением, вызванным отловом и последующей фиксацией зверя [33]. Так, например, в работе Берестова [33] приводится следующее значение для АСТ – 154 ± 8.48 Ед/л, что согласуется с нашими данными, характерными для ручных норок в октябре.

Основным показателем состояния углеводного обмена является содержание глюкозы в крови. Поскольку глюкоза равномерно распределена между плазмой и форменными элементами крови, то ее концентрацию можно определить как в сыворотке, так и в цельной крови [31]. Естественная диета американских норок в дикой природе основана в основном на добыче, содержащей малое количество углеводов. Поэтому норки эволюционно адаптированы к использованию преимущественно белков и жиров в качестве источников энергии. Облигатным хищникам, к которым относятся и американская норка, приходится использовать белок для поддержания концентрации глюкозы в крови даже при его ограниченном источнике в рационе, поскольку глюкоза является наиболее важным углеводом, характеризующим энергетические запасы организма, а также косвенно свидетельствующим об относительно спокойном состоянии организма в отсутствие стресса [32, 51]. При приеме пищи, содержащей углеводы, увеличивается приток крови к скелетным мышцам, что, в свою очередь, увеличивает доставку и запасание глюкозы в виде гликогена в мышцах, снижение липолиза и увеличение запасов ТГ в адипоцитах [52]. Уровень гликемии в каждый конкретный момент времени зависит от: скорости, с которой глюкоза поступает в циркулирующую кровь; скорости, с которой она распределяется по всему кровообращению; скорости, с которой она распределяется между эритроцитами и плазмой; скорости, с которой она удаляется из кровообращения [52]. Содержание глюкозы в крови регулируется центральной нервной системой [31]. Сниженный уровень глюкозы в крови возбуждает в гипоталамусе области, участвующие в активации адренокортикотропной функции гипофиза [53]. У людей низкий уровень глюкозы у человека (относительно нормы) в крови коррелирует с повышенной агрессией и импульсивностью, возможно, из-за отсутствия адекватных энергетических субстратов для поддержания нейронного и, следовательно, поведенческого торможения [54, 55]. В нашем исследовании было установлено, что концентрация глюкозы у агрессивных животных была выше, чем у ручных во все сезоны, что может быть связано с более интенсивным обменом веществ у агрессивных норок по сравнению с ручными, а также с гормональными различиями между животными двух типов поведения, поскольку адреналин, глюкагон, АКТГ, СТГ, глюкостероиды повышают уровень глюкозы в крови [31].

ЛДГ является ферментом, катализирующим последний этап гликолиза, при котором под воздействием кофермента НАД пируват восстанавливается до лактата, выделяющегося в кровь [56]. ЛДГ содержится во всех органах и тканях животных и человека, однако его активность в органах различна. Так, например, самая высокая активность

ЛДГ характерна для почек и сердца, а самая низкая – для сыворотки крови [57]. Под влиянием внешних и внутренних факторов, таких как воздействие низких и высоких температур на организм, мышечные нагрузки, а также различные патологии, активность ЛДГ может возрастать [12]. В нашем исследовании было обнаружено влияние типа поведения на активность ЛДГ в сыворотке крови американских норок, однако влияние сезона выявлено не было. Берестовым и Кожевниковой [12] была выявлена сезонная динамика активности ЛДГ – у норок *Standard dark brown* (+/+) активность непрерывно снижалась в период с зимы до осени, достигая минимального значения в осенний период. Выявленные нами различия в активности ЛДГ у американских норок разных поведенческих фенотипов могут быть связаны с тем, что ручные животные обладают более низким основным обменом и интенсивностью потребления кислорода, чем агрессивные. Кроме того, более низкая активность ЛДГ у ручных животных может свидетельствовать о снижении общей доли гликолиза в энергетическом обмене организма. Межгрупповые различия активности ЛДГ в сыворотке могут быть связаны также с гормональным фактором. Так, например, было установлено, что у енотовидной собаки повышение активности щитовидной железы сопровождается увеличением потребления кислорода, отсюда же вытекает зависимость активности ЛДГ от уровня гормонов [58].

Креатинин является конечным продуктом азотистого обмена, характеризующим функциональную активность почек и мышечной массы [59, 60]. Уровень креатинина в крови зависит от многих факторов – например, его снижение может наблюдаться во время голодания, при снижении мышечной массы и после употребления кортикостероидов [59]. Сывороточный креатинин может меняться не только в зависимости от скорости клубочковой фильтрации, но и от мышечной массы, поскольку он является продуктом катаболизма мышц [61–63]. Концентрация креатинина в плазме прямо пропорционально связана с содержанием тестостерона и обратно пропорционально – с уровнем кортизола [64]. В литературе приводятся следующие диапазоны стандартных величин для данного показателя у американских норок: 50.9 ± 2.2 мкмоль/л [32], 48–69.2 мкмоль/л [36]. Полученные в ходе нашего исследования результаты демонстрируют более низкий уровень креатинина в сыворотке крови у ручных американских норок по сравнению с агрессивными. Данное межгрупповое различие может быть связано с тем, что источником креатинина является пищевой белок, содержащийся в первую очередь в мясных кормах. Можно предположить, что поскольку у агрессивных норок активнее функционирует протеолитическая ферментная цепь, нежели у животных с доместикационным типом поведения [19], то усвоение креатинина из пищи у них происходит в большем объеме.

Основной чертой холестеролового обмена у хищных млекопитающих является его устойчивая сбалансированность: содержание холестерина в сыворотке крови в норме с возрастом практически не изменяется [33]. Повышение или снижение данного показателя в крови может свидетельствовать о различных патологиях внутренних органов, некоторых инфекционных и вирусных заболеваниях [65]. Скорость окисления холестерина регулируется на начальной стадии, катализируемой 7 α -гидроксилазой, которая, в свою очередь, находится под гормональным контролем. Так, половые гормоны и тироксин активируют фермент, увеличивая скорость окисления холестерина [31]. Выдвигается предположение, что низкое содержание холестерина в крови связано с повышенной агрессией, характерной в том числе и для приматов, осуществляющейся через вовлечение в процесс центральной серотонинергической активности [66]. Все чаще высказывается мнение о взаимосвязи повышенного риска агрессивного поведения людей и приема препаратов, понижающих уровень холестерина, а также с бедным пищевым рационом или отсутствием аппетита [67, 68]. Однако нами было выявлено, что для агрессивных норок характерен более высокий уровень холестерина по сравнению с ручными. Полученные нами значения данного показателя у агрессивных норок

летом и осенью и у ручных норок осенью попадают в диапазон референсных значений, указанных другими авторами (5.9 ± 0.1 ммоль/л [69], 6.5 ± 0.58 ммоль/л [43]), в то время как уровень холестерина у американских норок в летний период заметно ниже. Вероятно, что у животных данного поведенческого типа по сравнению с агрессивными снижается эффективность липидного обмена, о чем может свидетельствовать более низкая активность липаз в различных отделах пищеварительной системы [19].

Результаты данного исследования позволяют предположить, что плеiotропное действие генов, контролирующих поведение, также вовлечено в регуляцию биохимических показателей сыворотки крови американских норок, отбираемых по поведению. Таким образом, в ходе длительной селекции американских норок по поведению показатели обмена веществ существенно меняются, однако сохраняются некоторые сезонные колебания отдельных биохимических параметров крови, что отражает эволюционно сложившуюся адаптивную особенность норок.

ВКЛАДЫ АВТОРОВ

Идея работы и планирование эксперимента (О. В. Т.), сбор биологического материала (О. В. Т., С. Н. К., Э. В. П.), проведение лабораторных анализов (Э. В. П.), статистическая обработка данных (Э. В. П., В. А. И.), написание первого варианта статьи (Э. В. П.), обсуждение и редактирование статьи – все авторы.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра РАН (FMEN-2022-0003), Института цитологии и генетики СО РАН (FWNR-2022-0023), Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (№ 124032500016-4).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям Комиссии по биоэтике Института биологии Карельского научного центра РАН (протокол № 3, 07.12.2022 г.). Были соблюдены все применимые международные, национальные и институциональные рекомендации по уходу за животными и их этическому использованию. Были приложены все усилия, чтобы свести к минимуму количество используемых животных и их страдания.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дарвин Ч* (1941) Изменения животных и растений в домашнем состоянии. Сельхозгиз. Москва. [*Darvin Ch* (1941) Changes in animals and plants in domestic conditions. Sel'khozgiz. Moskva. (In Russ)].
2. *Price EO, King JA* (1968) Domestication and adaptation. ESE Hafes (ed) Adaptation of Domestic Animals. 34–45.
3. *Ratner SC, Boice R* (1975) Effects of domestication on behavior. ESE Hafes (ed) 3 ed. The Behavior of Domestic Animals. 3–19.

4. Price EO (1984) Behavioural aspects of animal domestication. *Qurt Rev Biol* 59(1): 1–32.
5. Трапезов ОВ (2013) Доместикация как самое раннее интеллектуальное достижение человечества. Вавилов журн генетики селекции 7(4/2): 872–883. [Trapezov OV (2013) Domestication as the earliest intellectual achievement of mankind. *Vavilov zhurn genetiki seleksii* 7(4/2): 872–883. (In Russ)].
6. Трапезов ОВ (2014) Генетические основы доместикации. Мол приклад генетика 18: 118–131. [Trapezov OV (2014) Genetic bases of domestication. *Mol priklad genetika* 18: 118–131. (In Russ)].
7. Purugganan MD (2022) What is domestication? *Trends Ecol Evol* 37(8): 663–671. <https://doi.org/0.1016/j.tree.2022.04.006>
8. Wilkins AS, Wrangham R, Fitch WT (2021) The neural crest/domestication syndrome hypothesis, explained: reply to Johnsson, Henriksen, and Wright. *Genetics* 219(1): 1–7. <https://doi.org/10.1093/genetics/iyab098>
9. Беляев ДК (1962) О некоторых проблемах коррелятивной изменчивости и ее значении для теории эволюции и селекции животных. Известия Сиб отдел АН СССР 10: 111–124. [Belyayev DK (1962) On some problems of correlative variability and its significance for the theory of evolution and selection of animals. *Izvest Sibirsk otdel AN SSSR* 10: 111–124. (In Russ)].
10. Трут ЛН (2007) Доместикация животных в историческом процессе и в эксперименте. Информ вестн ВОГиС 11(2): 273–289. [Trut LN (2007) Domestication of animals in the historical process and in experiment. *Inform vestn VOGiS* 11(2): 273–289. (In Russ)].
11. Колдаева ЕМ, Колдаев НА (2007) Доместикация и хозяйственно полезные признаки у пушных зверей. Вестн ВОГиС 11(1): 62–75. [Koldayeva EM, Koldayev NA (2007) Domestication and economically useful traits in fur animals. *Vestn VOGiS* 11(1): 62–75. (In Russ)].
12. Берестов ВА, Кожевникова ЛК (1981) Ферменты крови пушных зверей. Наука. Ленинград. [Berestov VA, Kozhevnikova LK (1981) Blood enzymes of fur animals. *Nauka. Leningrad*. (In Russ)].
13. Афанасьев ВА (1972) Изменение пушных зверей при разведении в клетке. Пробл доместик животн растен: 33–37. [Afanasyev VA (1972) Changes in fur animals during cage breeding. *Probl domestik zhivotn rasten*: 33–37. (In Russ)].
14. Вайн-Риб МА, Сегаль АН (1974) Влияние двигательной активности на энергетический метаболизм американской норки. Физиол исслед адает природ факторам выс широт: 153–157. [Wein-Reeb MA, Segal AN (1974) Effect of locomotor activity on energy metabolism in the American mink. *Fiziol issled adapt prirod faktorom vys shirot*: 153–157. (In Russ)].
15. Трут ЛН (1969) Некоторые новые данные по селекции серебристо-черных лисц (*Vulpes fulvus* Dems.) по свойствам их оборонительного поведения. Генет повед: 107–119. [Trut LN (1969) Some new data on the selection of silver foxes (*Vulpes fulvus* Dems.) for defensive behavior. *Genet poved*: 107–119. (In Russ)].
16. Трут ЛН (1978) Очерки по генетике поведения. Новосибирск. [Trut LN (1978) Essays on the genetics of behavior. *Novosibirsk*. (In Russ)].
17. Трапезов ОВ, Трапезова ЛИ, Алехина ТА, Иванов ЮН (2009) Влияние моно- и дирекссивности по мутациям, затрагивающим окраску меха, на уровень содержания моноаминов в мозге у американской норки. Генетика 45(12): 1641–1645. [Trapezov OV, Trapezova LI, Alekhina TA, Ivanov YuN (2009) Effect of mono- and direciveness of mutations affecting fur color on the monoamine content in the brain of the American mink. *Genetika* 45(12): 1641–1645. (In Russ)].
18. Kulikov AV, Bazhenova EY, Kulikova EA, Fursenko DV, Trapezova LI, Terenina EE, Mormede P, Popova NK, Trapezov OV (2016) Interplay between aggression, brain monoamines and fur color mutation in the American mink. *Genes Brain Behav* 15(8): 733–740. <https://doi.org/10.1111/gbb.12313>
19. Калинина СН, Илюха ВА, Трапезов ОВ, Морозов АВ, Трапезова ЛИ, Некрасова МА, Степанова МА, Сысоева ЕА (2022) Активность пищеварительных ферментов у американских норок (*Neovison vison*) при отборе на агрессивное и ручное поведение. Журн эвол биохим физиол 58(1): 61–68. [Kalinina SN, Ilyukha VA, Trapezov OV, Morozov AV, Trapezova LI, Nekrasova MA, Stepanova MA, Sysoyeva EA (2022) Digestive enzyme activity in American minks (*Neovison vison*) during selection for aggressive and tame behavior. *Zhurn evol biokhim fiziol* 58(1): 61–68. (In Russ)]. <https://doi.org/10.31857/S0044452922010028>
20. Belyayev DK (1969) Domestication of animals. *Science J (UK)* 5: 47–52.

21. *Беляев ДК* (1970) Биологические аспекты domestikации животных. Генетика и селекция новых пород сельскохозяйственных животных. Мат Всесоюз совещ 24–26 окт 1968 г. Наука. Алма-Ата. 30–44. [*Belyaev DK* (1970) Biological aspects of animal domestication. Genetics and selection of new breeds of farm animals. Mat Vsesoyuz soveshch 24–26 okt 1968 g. Nauka. Alma-Ata. 30–44. (In Russ)].
22. *Беляев ДК* (1972) Генетические аспекты domestikации животных: Проблемы domestikации животных и растений. Наука. Москва. [*Belyaev DK* (1972) Genetic aspects of animal domestication: Problems of domestication of animals and plants. Nauka. Moskva. (In Russ)].
23. *Беляев ДК* (1974) О некоторых вопросах стабилизирующего и дестабилизирующего отбора: История и теория эволюционного учения. Наука. Ленинград. [*Belyaev DK* (1974) On some issues of stabilizing and destabilizing selection: History and theory of evolutionary teaching. Nauka. Leningrad. (In Russ)].
24. *Беляев ДК* (1979) Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при domestikации. Природа 2: 36–45. [*Belyaev DK* (1979) Destabilizing selection as a factor of variability during domestication. Priroda 2: 36–45. (In Russ)].
25. *Belyaev DK, Khvostova VV* (1974) Domestication, Plant and Animal. Encyclop Britan: 936–942.
26. *Belyaev DK* (1979) Destabilizing selection as a factor in domestication. J Heredity 70: 301–308.
27. *Трут ЛН, Науменко ЕВ, Беляев ДК* (1972) Изменение гипофизарно-надпочечниковой функции серебристо-черных лисиц при селекции по поведению. Генетика 8(5): 35–43. [*Trut LN, Naumenko EV, Belyaev DK* (1972) Changes in the pituitary-adrenal function of silver foxes during selection for behavior. Genetika 8(5): 35–43. (In Russ)].
28. *Трут ЛН* (1986) Пути развития концепции дестабилизирующего отбора: Биография эволюционных идей академика Д.К. Беляева (1917–1985). Журн общей биол 47(4): 435–444. [*Trut LN* (1986) [Paths of development of the concept of destabilizing selection: Biography of evolutionary ideas of academician DK Belyaev (1917–1985). Zhurn obshch biol 47(4): 435–444. (In Russ)].
29. *Никулина ЭМ, Трапезов ОВ, Харламова АА, Попова НК* (1993) Аффективное защитное поведение норок: воздействия на серотонергическую и дофаминергическую системы. Сибир биол журн 3: 9–12. [*Nikulina EM, Trapezov OV, Kharlamova AA, Popova NK* (1993). Affective defensive behavior of minks: effects on the serotonergic and dopaminergic systems. Sibir biol zhurn 3: 9–12. (In Russ)].
30. *Гулевич РГ, Трапезов ОВ, Маслова ЛН, Харламова АВ* (1995) Функция надпочечников у норок *Mustela vison*, селекционируемых по типу поведения. Журн эвол биохим физиол 31(4): 444–448. [*Gulevich RG, Trapezov OV, Maslova LN, Kharlamova AV* (1995) Adrenal function in minks *Mustela vison* selected for behavior. Zhurn evol biokhim fiziol 31(4): 444–448. (In Russ)].
31. *Бородин ЕА* (1991) Биохимический диагноз (физиологическая роль и диагностическое значение биохимических компонентов крови и мочи). Учеб пособие в 2-х частях. Часть 1. Благовещенск. [*Borodin EA* (1991) Biochemical diagnosis (physiological role and diagnostic value of biochemical components of blood and urine). Ucheb posobiye v 2-kh chastyakh. Chast' 1. Blagoveshchensk. (In Russ)].
32. *Березина АН, Беспятных ОЮ, Кокорина АЕ* (2011) Биохимическая картина сыворотки крови молодняка норки. Аграр наука Евро-Северо-Востока 2(21): 39–42. [*Berezina AN, Bespyatnykh OY, Kokorina AE* (2011) Biochemical picture of blood serum of young mink. Agrar nauka Yevro-Severo-Vostoka 2(21): 39–42. (In Russ)].
33. *Берестов ВА* (1971) Биохимия и морфология крови пушных зверей. Петрозаводск. [*Berestov VA* (1971) Biochemistry and morphology of blood of fur animals. Petrozavodsk. (In Russ)].
34. *Унжаков АР, Антонова ЕП, Сергина СН, Баишникова ИВ, Чернобровкина НП, Робонен ЕВ* (2017) Влияние обогащенного L-аргинином хвойного экстракта на биохимические показатели крови щенков-гипотрофиков норки. Кроликовод зверовод 3: 104–105. [*Unzhakov AR, Antonova EP, Sergina SN, Baishnikova IV, Chernobrovkina NP, Robonen EV* (2017) Effect of L-arginine-enriched coniferous extract on biochemical parameters of blood of hypotrophic mink puppies. Krolikovod zverovod 3: 104–105. (In Russ)].
35. *Окулова ИИ, Беспятых ОЮ, Домский ИА, Березина ЮА, Бельтюкова ЗН, Кошурникова МА* (2019) Биохимические показатели крови у норки под действием биопрепаратов. Учен запис Казан гос акад ветерин мед им НЭ Баумана: 185–189. [*Okulova II, Bespyatnykh OYu, Domskiy IA, Berezina YuA, Bel'tyukova ZN, Koshurnikova MA* (2019) Biochemical blood parameters in minks under the influence of biopreparations. Uchon zapis Kazan gos akadem veterin med im NE Bauman: 185–189. (In Russ)].

36. Сухинин АА, Гумберидзе ММ (2022) Биохимическая картина крови больных алеутской болезнью норок под действием аллоферона. Междунар вестн ветерин 4(42): 42–47. [Sukhinin AA, Gumberidze MM (2022) Biochemical picture of blood of minks sick with Aleutian disease under the influence of alloferon. Mezhdunar vestn veterinar 4(42): 42–47. (In Russ)]. <https://doi.org/10.52419/ISSN2072-2419.2022.4.42>
37. Перельдик ДН, Губский ВВ, Куликов НЕ (1980) Биохимические показатели крови норок. Кроликовод зверовод 4: 30–31. [Pereldik DN, Gubskiy VV, Kulikov NE (1980) Biochemical indices of mink blood. Krolikovod zverovod 4: 30–31. (In Russ)].
38. Тютюнник НН, Кожевникова ЛК (1996) Биохимическое тестирование как способ оценки физиологического состояния пушных зверей, разводимых в промышленных комплексах. Сельскохозяйств биол 2: 39–49. [Tyutyunnik NN, Kozhevnikova LK (1996) Biochemical testing as a method for assessing the physiological state of fur animals bred in industrial complexes. Sel'skokhoz biol 2: 39–49. (In Russ)].
39. Берестов ВА, Тютюнник НН (1969) Уровень липидов, холестерина и липопротеидов в сыворотке крови пушных зверей. Учен запис Петрозавод гос универ 17(4): 21–29. [Berestov VA, Tyutyunnik NN (1969) Level of lipids, cholesterol and lipoproteins in the blood serum of fur animals. Uchon zapis Petrozavod gos univer 17(4): 21–29. (In Russ)].
40. Trapezov OV, Voitenko NN, Kulikov VA (2004) Have fur bearers become domesticated (behavioral and brain biochemistry aspects). Notes Group Edit 1: 24–32.
41. Ковалёнок ЮК (2019) Взятие крови у животных: учебно-методическое пособие для студентов высшего образования, обучающихся по специальностям 1-74 03 02. Ветерин мед. ВГАВМ. Витебск. [Kovalonok YuK (2019) Taking blood from animals: a teaching aid for students of higher education studying in specialties 1-74 03 02. Veterin med. VGAVM. Vitebsk. (In Russ)].
42. Чащухин ВА (2009) Норка американская. Товарищ научн издан. КМК. Москва. [Chashchukhin VA (2009) American mink. Tovarithsch nauchn izdan. KMK. Moskva. (In Russ)].
43. Батоев ЦЖ, Санжиева СЕ, Бердников ПП, Мантатова НВ (2013) Экологическое значение сезонной изменчивости биохимических показателей крови американских норок и серебристо-черных лисц. Вестн Бурятск гос универ. Биология. География 4: 179–184. [Batoyev TsZh, Sanzhiyeva SE, Berdnikov PP, Mantatova NV (2013) Ecological significance of seasonal variability of biochemical parameters of blood of American minks and silver-black foxes. Vestn Buryatsk gos univer. Biologiya. Geografiya 4: 179–184. (In Russ)].
44. Петрова ГГ (1971) Возрастная и сезонная динамика гематологических показателей норок *Mustela vison* Busson с различной окраской меха. Автореф дис канд биол наук. Петрозаводск. [Petrova GG (1971) Age and seasonal dynamics of hematological parameters of minks *Mustela vison* Busson with different fur colors. Abstract of Cand Biol Sci Dissert Petrozavodsk. (In Russ)].
45. Lasota B, Maslowska A, Felska-Blaszczyk L, Seremak B, Dziadosz M, Mandziak B (2014) Blood biochemical parameters in Male American Mink (*Neovison vison*) before and During the Breeding Season. Pakistan Veterin J 34(2): 197–200.
46. Перельдик НШ, Титова МИ (1950) Экспериментальное обоснование норм кормления племенных норок. Каракулевод зверовод 2: 29–35. [Pereldik NSh, Titova MI (1950) Experimental substantiation of feeding standards for breeding minks. Karakulevod zverovod 2: 29–35. (In Russ)].
47. Сегаль АН (1975) Очерки экологии и физиологии американской норки. Наука. Новосибирск. [Segal AN (1975) Essays on the ecology and physiology of the American mink. Nauka. Novosibirsk. (In Russ)].
48. Абрамов МД (1974) Норководство. Москва. [Abramov MD (1974) Mink breeding. Moskva. (In Russ)].
49. Санников МИ, Казановский СА, Анфигенова ТА (1973) Ферментативная активность крови у помесных и чистопородных животных с различной энергией роста. Докл ВАСХНИЛ 1: 34–37. [Sannikov MI, Kazanovskiy SA, Anfigenova TA (1973) Enzymatic activity of blood in crossbred and purebred animals with different growth energy. Dokl VASKHNIL 1: 34–37. (In Russ)].
50. Heidler W, Lindemann E (1973) Untersuchungen uber die Beziehungen zwischen den wiederholtbestimmten Transaminasenaktivitaten des Blutserums und den Mastund Schlachtleistungen bei Jungbullen. Arch Tierzucht 16(6): 479–487.
51. Zoran DL (2002) The carnivore connection to nutrition in cats. J Am Veterin Med Associat 221(11): 1559–1567. <https://doi.org/10.2460/javma.2002.221.1559>

52. Zierler K (1999) Whole body glucose metabolism. *Am J Physiol* 276(3): 409–426.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.1999.276.3.E409>
53. Генес СГ (1970) Гипогликемия, гипогликемический симптокомплекс. Москва. [Genes SG (1970) Hypoglycemia, hypoglycemic symptom complex. Moskva. (In Russ)].
54. Gailliot MT, Baumeister RF (2007) The physiology of willpower: Linking blood glucose to self-control. *Personal Soc Psychol Rev* 11(4): 303–327.
<https://doi.org/10.1177/1088868307303030>
55. Bushman BJ, Dewall CN, Pond RS, Hanus MD (2014) Low glucose relates to greater aggression in married couples. *Proc Natl Acad Sci U S A* 111(17): 6254–6257.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1400619111>
56. Ленинджер А (1976) Биохимия. Москва. [Lehninger A (1976) Biochemistry. Moskva. (In Russ)].
57. Wroblewski F (1957) The clinical significance of alterations in lactic dehydrogenase activity of body fluids. *Am J Med Sci* 234(3): 301–312.
58. Соколов ЕА (1949) Сезонные изменения в основном в гистологической структуре щитовидной и половой желез у енотовидной собаки. Труды Московск пушно-мехов инст 2: 28–50. [Sokolov EA (1949) Seasonal changes mainly in the histological structure of the thyroid and sex glands in the raccoon dog. Trudy Moskovsk pushno-mekh inst 2: 28–50. (In Russ)].
59. Назаренко ЭА, Сергеева ТА, Солдаткин АП (2009) Креатинин и методы его определения. *Biotechnol Acta* 2(1): 107–111. [Nazarenko EA, Sergeyeva TA, Soldatkin AP (2009) Creatinine and methods for its determination. *Biotechnol Acta* 2(1): 107–115. (In Russ)].
60. Hessels L, Koopmans N, Gomes Neto AW, Volbeda M, Koeze J, Lansink-Hartgring AO (2018) Urinary creatinine excretion is related to short-term and long-term mortality in critically ill patients. *IntensivCare Med* 44: 1699–1701.
<https://doi.org/10.1007/s00134-018-5359-6>
61. Heymsfield SB, Arteaga C, McManus C, Smith J, Moffitt S (1983) Measurement of muscle mass in humans: validity of the 24-hour urinary creatinine method. *Am J Clin Nutr* 37(3): 478–494.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/37.3.478>
62. Spencer K (1986) Analytical reviews in clinical biochemistry: the estimation of creatinine. *Ann Clin Biochem* 23(1): 1–25.
<https://doi.org/10.1177/000456328602300101>
63. Perrone RD, Madias NE, Levey AS (1992) Serum creatinine as an index of renal function: new insights into old concepts. *Clin Chem* 38(10): 1933–1953.
64. Arazi H, Rahmanina F, Hosseini K, Asadi A (2015) Effects of short-term creatine supplementation and resistance exercises on resting hormonal and cardiovascular responses. *Science and Sports* 30(2): 105–109.
<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2014.03.006>
65. Brandt A (1989) Hematology and clinical chemistry of fur animals. *Lipids – A current Treatias*. Finland.
66. Kaplan JR, Manuch SB, Shively C (1991) The effects of fat and cholesterol on social behavior in monkeys. *Psychosomat Med* 53: 634–642.
<https://doi.org/10.1097/00006842-199111000-00005>
67. Brown S (1996) Lowered serum cholesterol and low mood. *BMJ* 313: 637–638.
<https://doi.org/0.1136/bmj.313.7058.637>
68. Wardle J, Armitage J, Collins R, Wallendszus K, Keech A, Lawson A (1996) Randomised placebo controlled trial of effect on mood of lowering cholesterol concentration. *BMJ* 313: 75–78.
<https://doi.org/10.1136/bmj.313.7049.75>
69. Kuznetsov YuE, Lunegov AM, Ponamarev VS, Romashova EB (2024) Serum total bile acids correlate with blood biochemical parameters in minks (*Mustela vison* Schreber, 1777) under fatty liver degeneration and toxic hepatitis. *Agricult Biol* 59(2): 375–384.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.2.375eng>

**Biochemical Indicators of Blood Serum of Male American Minks (*Neogale Vison*)
Involved in Selection for Tame and Aggressive Behavior**

E. V. Panova^{a,*}, S. N. Kalinina^a, O. V. Trapezov^b, and V. A. Ilyukha^c

^a*Institute of Biology, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia*

^b*Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

^c*Institute of Biology of Inland Waters named after I.D. Papanin of the Russian Academy of Sciences,
Borok settlement, Yaroslavl region, Russia*

^{*}*e-mail: panova550@gmail.com*

Artificial selection of animals aimed at strengthening or weakening the defensive reaction to humans affects the variability of the functional state of regulatory systems, physiological functions of the body and the seasonality of biological cycles of reproduction and metabolism. The model object in the study of the influence of selection on the physiological functions of mammals is the seasonally breeding predator of the Mustelidae family, the American mink *Neogale vison*. In the course of many years of selection for a defensive reaction to humans, two lines of mink with pronounced aggressive and tame types of behavior, not typical for animals of industrial populations, were created over 27 generations. Studies of the biochemical picture of the blood serum of mammals to assess the state of metabolic processes in the body, under conditions of selection for behavior, have not been previously conducted. The aim of the work is to analyze the biochemical parameters of the blood serum of tame and aggressive American mink of cage breeding in the summer and autumn periods of the year. It is shown that both the season of the year and the type of animal behavior affect the biochemical parameters of the blood. Thus, the content of total protein, bilirubin, glucose and uric acid were higher, and the activity of alkaline phosphatase (ALP) was lower in the blood serum of animals in the autumn period compared to the summer, regardless of the type of behavior. In addition, aggressive animals had higher amylase activity, triglyceride levels, but lower lipase activity in the autumn compared to the summer period. In tame mink, the activity of aspartate aminotransferase (AST) and cholesterol levels were higher in the autumn period compared to the summer. Aggressive animals, compared to tame ones, were characterized by higher levels of albumin, glucose and cholesterol, as well as the activity of AST, lactate dehydrogenase (LDH), lipase in the summer and higher levels of glucose and LDH, but lower levels of urea and ALP in the fall. Thus, in the course of many years of selection of American mink for behavior, metabolic rates change while seasonal fluctuations in individual biochemical parameters of the blood are maintained, which reflects the evolutionary adaptive feature of mink to cyclic changes in environmental conditions.

Keywords: American mink, selection by behavior, blood biochemistry, domestication