

## УГЛЕВОДНЫЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ ОБМЕН У ОВЕЦ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

Email: tapetva@gmail.com

**Для цитирования:** Углеводный и минеральный обмен у овец романовской породы в условиях Западной Сибири / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 207–214. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214.

**Ключевые слова:** овцы, минеральный обмен, углеводный обмен, тяжелые металлы, корреляции.

**Реферат.** Представлены данные углеводного и минерального обменов у овец романовской породы в условиях Кемеровской области. Определены связи макроэлементов с показателями углеводного обмена, уровнем тяжелых металлов в органах и тканях. Вычислены среднее содержание, изменчивость и референсные интервалы глюкозы, амилазы, лактатдегидрогеназы и макроэлементов в сыворотке крови. Изучены взаимосвязи этих показателей с уровнем тяжелых металлов в органах и тканях овец. В зоне разведения романовских овец проанализированы материалы о содержании тяжелых металлов в почве, воде и кормах, которое не превышало ПДК. Содержание макро- и микроэлементов определяли в лаборатории изотопно-геохимических методов анализа Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН методом атомно-эмиссионной спектроскопии с использованием методики анализа НСАМ №450-С. Содержание глюкозы в сыворотке крови равно 6,0 ммоль/л, амилазы – 104,0 ЕД/л и лактатдегидрогеназы – 1086 ЕД/л. Ранг макроэлементов в сыворотке в убывающем порядке расположен следующим образом:  $Na > K > Ca > P > Mg$  в соответствии 90 : 7 : 4 : 3,4 : 1. Уровень  $K$  в крови положительно связан с  $Zn$  в селезенке ( $r = 0,507$ ) и  $Cu$  в семенниках ( $r = 0,535$ ). В то же время  $Na$  отрицательно коррелировал с содержанием  $Zn$  в сердце ( $r = -0,416$ ) и  $Pb$  в крови ( $r = -0,598$ ). Высокая отрицательная связь обнаружена между  $Ca$  в крови и частотой хромосомных разрывов ( $r = -0,752$ ). Уровень глюкозы отрицательно коррелировал с концентрацией  $Cu$  в мышцах ( $r = -0,414$ ),  $Zn$  в почках ( $r = -0,465$ ) и  $Zn$  в сердце ( $r = -0,572$ ), но ее уровень положительно связан с  $Pb$  в мышцах ( $r = 0,568$ ). Показатели углеводного и минерального обменов и корреляции между изученными параметрами важны при комплексной оценке фенотипа породы.

## CARBOHYDRATE AND MINERAL METABOLISM IN ROMANOV SHEEP IN WESTERN SIBERIA

T.V. Konovalova, E.A. Klimanova, E.I. Tarasenko, O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: tapetva@gmail.com

**Keywords:** sheep, mineral, carbohydrate metabolism, heavy metals, correlations.

**Abstract.** The article presents information regarding the metabolism of carbohydrates and minerals in Romanov sheep in the Kemerovo region. The correlations among macro elements and carbohydrate metabolism indices and heavy metal levels in organs and tissues were ascertained. We determined the average content, variability and reference intervals of glucose, amylase, lactate dehydrogenase and macro elements in blood serum. We investigated the relationship between these indices and heavy metal levels in sheep organs and tissues. In the Romanov sheep breeding zone, heavy metal content was analyzed in soil, water, and feed and did not exceed the MAC. The determination of the content of macro- and microelements was carried out in the laboratory of isotope-geochemical methods of analysis at the V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences by atomic emission spectrometry employing the NSAM analysis technique No. 450-S. The level of blood serum glucose is 6.0 mmol/l, the amylase is 104.0 U/l, and the lactate dehydrogenase is 1086 U/l. The order of macro elements in serum is as follows:  $Na > K > Ca > P > Mg$  in accordance with 90 : 7 : 4 : 3.4 : 1. The concentration of  $K$  in the blood exhibits a significant correlation with  $Zn$  in the spleen ( $r = 0.507$ ) and  $Cu$  in the testes ( $r = 0.535$ ). Simultaneously,  $Na$  exhibited a negative correlation with the concentration of  $Zn$  in the heart ( $r = -0.416$ ) and  $Pb$  in the blood ( $r = -0.598$ ). There was a high negative relationship between  $Ca$  in the

*blood and the frequency of chromosomal breaks ( $r = -0.752$ ). The glucose level was negatively correlated with the concentration of Cu in the muscles ( $r = -0.414$ ), Zn in the kidneys ( $r = -0.465$ ), and Zn in the heart ( $r = -0.572$ ), but its level was positively associated with Pb in the muscles ( $r = 0.568$ ). The significance of the indicators of carbohydrate and mineral metabolism, as well as the correlations between the studied parameters, is evident in the comprehensive evaluation of the breeds phenopool.*

При комплексной оценке фенотипа пород сельскохозяйственных животных большое значение придается изучению белкового, жирового и минерального обменов [1–4]. Исследуют содержание макро и микроэлементов в органах и тканях и их связь с параметрами хромосомной нестабильности и биохимическими показателями [5–8].

Макроэлементы играют важную роль в жизнедеятельности животных [9]. Натрий необходим для работы пищеварительных ферментов, водно-солевого обмена, поддержания кислотно-щелочного баланса. Он активизирует работу амилазы, холинестеразы [10–11].

Калий также принимает участие в регуляции кислотно-щелочного равновесия, нормализует работу клеточных стенок, поддерживает осмотическое давление, активизирует нервные и клеточные функции, отвечает за сердечный ритм [12]. Кальций играет важную роль в функционировании костной ткани, свертывании крови, содержании мышечной ткани, в передаче нервных импульсов, работе ядерного аппарата клетки, в митохондриях [13].

Фосфор важен для деления клеток, обмена нуклеиновых кислот, углеводов, жиров и аминокислот, сохранения структуры костной ткани. Магний участвует в более чем триста биохимических реакций. Имеет важное значение для белкового, углеводного и жирового, фосфорного и кальциевого обменов. Принимает, как и фосфор, в синтезе ДНК и РНК. Он важен для усвоения P, Ca, K и ряда витаминов [14]. Приведенные данные свидетельствуют о важной роли макроэлементов в росте и развитии животных.

Свинец является одним из опасных токсикантов. В большой степени он аккумулируется в костной ткани. Влияет отрицательно на иммунную систему. Обладает мутагенным и канцерогенным эффектами. Мишенью для свинца служат нервная ткань и почки, негативно действует на желудочно-кишечный тракт, сердечную и нервную системы. Абсорбцию свинца снижают фосфаты и кальций [15]. Медь является одним из незаменимых макроэлементов, влияет на работу более чем 30 ферментов. Она регулирует углеводный обмен, принимает участие в антиоксидантной защите, влияет на транскрипцию некоторых генов,

повышает устойчивость к некоторым инфекциям [16]. Cd и Zn оказывают влияние на всасывание меди.

Цинк по биологической ценности занимает второе место после Fe [17]. Он содержится в более чем трёхста белках и ферментах. Он участвует в нуклеиновом и белковом обменах репликации и транскрипции ДНК. Он играет важную роль в иммунитете и размножении [18]. Свинец и кадмий вытесняют цинк из организма [19]. Продолжаются исследования уровней макро-и микроэлементов в органах и тканях животных и их связи с биохимическими, физиологическими и молекулярно-генетическими показателями, а также влияние на них окружающей среды.

Цель исследований – изучение углеводного, минерального и элементного обменов у овец романовской породы и их взаимосвязь.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проведены на овцах романовской породы в Кемеровской области. После рождения была отобрана группа баранчиков в количестве 25 голов. Для животных были созданы одинаковые условия кормления и содержания, которые регламентировались постановлением Коллегии экономической комиссии от 13.02.2018 № 27 «Об утверждении единых ветеринарно-санитарных требований, предъявляемых к объектам подлежащим ветеринарному контролю» Рацион состоял из злако-бобового сена, сенажа, концентрированных кормов в соответствии с ГОСТ 10199–2017 «Комбикорм-концентраты для овец и коз. Общие технические условия. Корма давали согласно требованиям МДУ элементов в кормах №123-4/281-8.

Вода для поения была второго класса (ГОСТ 2761–84) и соответствовала требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». На территории районирования популяции овец романовской породы сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН проводился мониторинг почв, воды, кормов. В совместных публикациях показано, что не уста-

новлено превышения уровня ПДК по тяжелым металлам в отобранных образцах [20–24]. По ГОСТ 31777–2012 проведен убой животных в 7–8 месячном возрасте. С учетом технического регламента ТР ТС 021/2011 «О безопасности мяса и мясной продукции», приказ Минсельхоза РФ от 12.03.2014 № 72 «Об утверждении правил в области ветеринарии при убое животных и первичной переработки мяса и иных продуктов убоя непромышленного изготовления на убойных пунктах средней и мелкой мощности.

Для анализа было взято 175 проб крови, мышц, сердца, печени, селезенки, почек семенников. Проведено более 2000 биохимических, физико-химических и цитогенетических анализов.

Уровень тяжелых металлов изучали в лаборатории изотопно-геохимических методов анализа Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Использован метод атомно-эмиссионной спектроскопии (ААС), методика анализа НСАМ №450-С. Биохимические показатели измеряли на полуавтоматическом анализаторе Photometer 5010 V5x. Подготовка препаратов лимфоцитов периферической крови, взятой из *vena jugularis* осуществлялась по методу P.S. Moorhead [et al.] (1960). Препараты метафазных хромосом анализировали на световом микроскопе Biolar 1DPSAZ.

Методом параметрической и непараметрической статистики обработаны данные экспериментов с использованием Excel. По критерию

Шапиро–Уилка определена нормальность распределения. Коэффициент корреляции вычисляли по Пирсену и Спирмену.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метаболизм углеводов включает расщепление дисахаридов в пищеварительном тракте, синтез и распад глюкогена и глюкозы, пентозный цикл, глюконеогенез и т.д. [25].

В табл. 1 приведены показатели углеводного обмена. Отмечено, что уровень глюкозы в сыворотке крови овец романовской породы находится на верхней границе физиологической нормы (табл. 1). Глюкоза подвергается гликолизу для обеспечения клеток организма энергией АТФ. При анаэробном гликолизе, который наиболее характерен для мышечной ткани животных, ферментом конечной реакции является лактатдегидрогеназа (ЛДГ), обеспечивающая превращение пировиноградной кислоты в молочную и наоборот. Кроме того, этот фермент обеспечивает работу глюкозо-аланинового шунта (ГАС). В зависимости от pH среды реакция меняет свое направление: в кислой среде протекает в сторону гликолиза, при щелочном значении pH – идет по пути глюконеогенеза. Таким образом, ЛДГ является регулятором углеводных потоков в организме и компонентом буферной системы [26].

Таблица 1

Показатели углеводного обмена у овец романовской породы  
Carbohydrate metabolism indices in Romanov sheep

| Показатель                       | n  | $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ | Me   | Референсные интервалы |
|----------------------------------|----|---------------------------|------|-----------------------|
| Глюкоза, ммоль/л                 | 25 | 5,96 ± 0,25               | 6,0  | 3,28 – 8,51           |
| Амилаза, ЕД/л                    | 25 | 104,0 ± 12,9              | 90   | 45,8 – 230,9          |
| Лактат-дегидрогеназа (ЛДГ), ЕД/л | 25 | 1086,0 ± 87,0             | 1019 | 121,8 – 1970          |

Кальций-зависимый фермент  $\alpha$ -амилаза способствует расщеплению  $\alpha$ 1,4-гликозидных связей в полисахаридах корма. Активатором для данного фермента служат ионы хлора.

Обмен электролитов (натрия, калия, кальция, магния) тесно сопряжен с углеводным обменом. Так, магний в качестве кофактора ферментов пировиноградной кислоты обеспечивает превращение пировиноградной кислоты в субстрат цикла Кребса, препятствуя накоплению молочной кислоты в клетке, т.е. лактоацидозу. Следует упомянуть об антагонизме магния с

кальцием, где идет конкуренция за каналцевые каналы не только цитоплазматической, но и внутриклеточных мембран. Магний в данном случае рассматривается как мембрано- и цитопро-тективный фактор, обеспечивающий регуляцию мембранного транспорта других электролитов в клетки [1, 27].

Уровень кальция в крови влияет на его концентрацию внутри клеток, что сопровождается изменением порога возбудимости нервных и мышечных клеток, изменению функционирования кальциевого насоса, что влияет на активность

ферментов и соответственно на метаболизм организма в целом.

Фосфор в сыворотке крови находится в виде свободных моно- и полимерных ионов, концентрация которых варьирует в течение суток, что связано непосредственно с их биологической ролью в организме. Так, реакции фосфорили-

рования углеводов делают их доступными для процессов метаболизма. Фосфаты формируют буферные системы, а вместе с кальцием входят в состав костей [28].

Из данных табл. 2 видно, что наибольшая фенотипическая изменчивость характерна для амилазы.

Таблица 2

Показатели изменчивости углеводного обмена  
Indicators of carbohydrate metabolism variability

| Показатель                       | SD   | Q <sub>1</sub> | Q <sub>3</sub> | IQR | Lim       | Отклонение крайних вариант |
|----------------------------------|------|----------------|----------------|-----|-----------|----------------------------|
| Глюкоза, ммоль/л                 | 1,2  | 5              | 6,3            | 1,3 | 4-9       | 1 : 2,2                    |
| Амилаза, ЕД/л                    | 64,4 | 51             | 133            | 82  | 22-281    | 1 : 12,7                   |
| Лактат-дегидрогеназа (ЛДГ), ЕД/л | 434  | 837            | 1383           | 546 | 236 - 412 | 1 : 1,7                    |

Концентрация калия в сыворотке крови характеризует интенсивность секреции инсулина в организме. По данным табл. 3 у овец романовской

породы отмечено незначительное повышение верхней границы нормы калия, что, вероятно, связано с процедурой взятия крови у животных.

Таблица 3

Показатели минерального обмена в сыворотке крови у овец романовской породы, ммоль/л  
Indicators of mineral metabolism in the blood serum of Romanov sheep, mmol/l

| Элемент | n  | $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ | Me   | Lim       | Референсные интервалы |
|---------|----|---------------------------|------|-----------|-----------------------|
| P       | 25 | 3,81±0,24                 | 3,54 | 2,1–6,3   | 1,1–6,3               |
| Ca      | 25 | 4,46±0,17                 | 4,6  | 3,2–6,3   | 2,7–6,2               |
| Na      | 25 | 101,0±8,0                 | 87   | 50–189    | 2,3–180,7             |
| K       | 25 | 7,8±0,3                   | 8,0  | 6–11      | 4,5–10,6              |
| Mg      | 25 | 1,12±0,02                 | 1,1  | 0,98–1,43 | 0,84–1,34             |

В сыворотке крови наибольшее содержание Na, а наименьшее – Mg. Ранжированный ряд макроэлементов расположен в следующем порядке: Na > K > Ca > P > Mg в соответствии 90 : 7 : 4 : 3,4 : 1. Представляют важное значение межпородные различия. Так, в исследованиях было показано, что среди исследованных шести пород овец наибольшая концентрация Na была в сыворотке крови породы иль-де-франс (152,3), наименьшая у лейне (134,8 ммоль/л) [27]. В то же время у ромни марш содержание K было выше (5,52), чем у иль-де-Франс (4,58 ммоль/л). Уровни Ca у всех шести пород (ромни марш, лейне, польского меринуса, черноголовой и иль-де-Франс) был приблизительно одинаковый (2,1–2,4 ммоль/л). Сибирская популяция романовских овец имела более высокое содержание Ca (4,46 ммоль/л).

Все популяции польских овец характеризовались незначительными колебаниями уровня P

(3,0–3,4 ммоль/л). Эти данные сравнимы с показателями романовских овец (3,8 ммоль/л).

По концентрации Mg в сыворотке крови изученные все 6 пород и наши овцы не различались (1,0–1,25 ммоль/л) [27].

Интересно, что польские популяции овец не различались по содержанию Mg в кости (0,83–0,97 ммоль/л в 1 г сухого вещества).

В исследованных популяциях овец из Австрии были получены такие же, как и у других пород концентрации Ca, K и Mg в сыворотке крови [29].

В табл. 4 представлены данные о взаимосвязи между макро- и микроэлементами между разными органами и тканями, а также были найдены корреляции между уровнем тяжелого металла и биохимическими параметрами.

Таблица 4

**Корреляции показателей углеводного обмена и уровня макро- и микроэлементов в органах и тканях овец**  
**Correlations of carbohydrate metabolism indices and the level of macro- and microelements in organs and tissues of sheep**

| Коррелирующие признаки      | <i>n</i> | <i>r</i> ± <i>Sr</i> | <i>P</i> |
|-----------------------------|----------|----------------------|----------|
| К кровь – Pb мышцы          | 24       | -0,424±0,193         | < 0,05   |
| К кровь – Cu печень         | 24       | 0,464±0,189          | < 0,05   |
| Na кровь – Cu семенники     | 24       | 0,535±0,180          | < 0,01   |
| Na кровь – Pb кровь         | 17       | -0,598±0,207         | < 0,05   |
| Na кровь – Zn селезенка     | 24       | 0,507±0,184          | < 0,05   |
| Na кровь – Zn сердце        | 24       | -0,416±0,194         | < 0,05   |
| P кровь – Ca кровь          | 25       | 0,218±0,204          |          |
| Ca кровь – хромосом.разрывы | 18       | -0,752±0,199         | < 0,01   |
| Глюкоза – Cu мышцы          | 24       | -0,414±0,194         | < 0,05   |
| Глюкоза – Pb мышцы          | 24       | 0,568±0,175          | < 0,01   |
| Глюкоза – Zn почки          | 24       | -0,465±0,198         | < 0,05   |
| Глюкоза – Zn сердце         | 24       | -0,572±0,175         | < 0,01   |
| ЛДГ – As селезенка          | 24       | 0,411±0,194          | < 0,05   |
| ЛДГ – Pb селезенка          | 24       | 0,557±0,177          | < 0,01   |
| ЛДГ – холестерин            | 25       | 0,449±0,186          | < 0,05   |
| Амилаза – As кровь          | 17       | -0,551±0,215         | < 0,05   |
| Глюкоза – амилаза           | 25       | 0,029±0,208          |          |
| Амилаза – ЛДГ               | 25       | 0,059±0,208          |          |

Уровень К в крови положительно связан с Zn в селезенке ( $r = 0,507$ ) и Cu в семенниках ( $r = 0,535$ ). В то же время Na отрицательно коррелировал с содержанием Zn в сердце ( $r = -0,416$ ) и Pb в крови ( $r = -0,598$ ).

Высокая отрицательная связь обнаружена между Ca в крови и частотой хромосомных разрывов ( $r = -0,752$ ).

Уровень глюкозы отрицательно коррелировал с концентрацией Cu в мышцах ( $r = -0,414$ ), Zn в почках ( $r = -0,465$ ) и Zn в сердце ( $r = -0,572$ ), но ее уровень положительно связан с Pb в мышцах ( $r = 0,568$ ). Показатели углеводного и минерального обменов и корреляции между изученными параметрами, генетическая обусловленность уровня металлов в организме важны при комплексной оценке фенотипа породы [30, 31].

## ВЫВОДЫ

1. Установлены средние и референсные значения в популяции романовской породы овец по показателям углеводного и минерального обменов в сыворотке крови в условиях Кузбаса. Показано,

что минеральный статус овец многих пород сходен. Однако по некоторым элементам существуют межпородные различия.

2. Выявлены разные по величине и направлению связи параметров углеводного и минерального обмена с концентрацией тяжелых металлов и некоторыми показателями соматической хромосомной нестабильности в органах и тканях.

3. Показано, что увеличение концентрации свинца в мышцах и крови приводит к снижению уровней К и Na в крови ( $r = -0,424$  и  $-0,598$  соответственно). Повышение уровня мышьяка в крови ведет к снижению концентрации амилазы ( $r = -0,551$ ). Точно такая же закономерность в ассоциациях выявлена между уровнем Cu в мышцах, Zn в почках и сердце. Увеличение этих элементов ведет к снижению содержания глюкозы в сыворотке крови ( $r = -0,414$ ;  $r = -0,465$  и  $r = -0,572$  соответственно). Увеличение уровня Ca в сыворотке крови вызывает снижение частоты хромосомных разрывов.

Исследования выполнены по гранту РНФ №24-26-00136.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Биология, генетика и селекция овцы: монография* / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск, 2010. – 524 с.
2. *Populations of Tuvan Shot Fat-Tailed sheep breeds of the Russian Federation* / S.A. Beketov, T.E. Deniskova, [et al.] // *Russian Journal of Genetics*. – 2024. – Т. 60, № 1. – С. 87–99. – DOI: 10.1134/s1022795424010022.
3. *Гормональный и метаболический статус бычков голштинской породы в экологических условиях Кемеровской области* / Л.В. Осадчук, О.И. Себежко, Н.Г. Шишин [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 2 (43). – С. 52–61.
4. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2018. – 126 с.
5. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of west Siberia* / O.S.Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.I. Petukhov [et al.] // *Proceeding of the 10 th World Congress on Genetics Applied to livestock Production*. – 2014.
6. *Камалдинов Е.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л.* Фонд эритроцитарных антигенов и хромосомная нестабильность у якутского скота // *Сельскохозяйственная биология*. – 2011. – Т. 46, № 2. – С. 51–56.
7. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia* / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov, N.S. Yudin // *Proceeding of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. – 2014.
8. *Analysis of trace elements in the hair of with DC ARC excitation* / A.R. Tsygankova, A.V. Kuptsov, A.I. Saprykin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, № 5. – P. 601–605.
9. *Медицинская элементоология: 2-е изд.* / А.В. Скальный, М.Г. Скальная, А.А. Каричук, А.А. Тиньков. – М., 2021. – 199 с.
10. *Zink in animal organism: Areview* / V. Sloup, Jankovska I. Nechybova [et al.] // *Scientia Agricultural Bohemica*. – 2017. – Vol. 48, Is. 1. – P. 13–21.
11. *Changes of macromineral and trace element concentration in the blood of ewes during lactation period* / Z. Antunovic, Z. Klip [et al.] // *Czech Journal of Animal Science*. – 2021. – Vol. 66 (4). – P. 129–136.
12. *Field deficiency of macro and microelements is associated with alterations in hematology, hepatic and kidney functions and electrocardiography in sheep* / R.R. Emam, M.M. Ghanem, Y.M. Abdel-Raof [et al.] // *J. of Advanced Veterinary Research*. – 2024. – Vol. 14, Is. 4. – P. 553–558.
13. *Baranowski P.* Genetic and environmental factors of macroelements concentration in blood serum and osseous tissue of lambs in north-west Poland // *Arch. Tierz., Dummerstorf*. – 2002. – Vol. 45, № 6. – P. 565–574.
14. *Dinamics of biochemical parameters in lambs during the first four month of life* / D.E. de Souza, T.S.S.S. Reijers, S.Gilaverte, T.F. da Cruz [et al.] // *Revista Brasileira de Zootecnia*. – 2020. – Vol. 49. – P. e20190167. – DOI: 10.37496/rbz4920190167.
15. *Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, № 4. – P. 368–374.
16. *Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia)* / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyaev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Т. 44, № 2. – P. 217–220.
17. *Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes* / T.V. Skiba, A.R. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, № 6, P. 958–964.
18. *Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of Western* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Т. 44, № 3. – P. 662–666.
19. *Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia)* / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyaev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2018. – Т. 45, № 4. – P. 866–871.
20. *Baumgartner W.* Clinical propaedeutics of house animals and pets (in Germany) 7<sup>th</sup> end. Parey. – Stuttgart. Xivt. – 525 p.
21. *Changes in the content of certain macro- and microelements in the blood of Karakul sheep exposed to helminth infestation* / A. Varhidova, A. Daminov, E. Muradova // *BIO Web Conference* 95. – 2024. – P. 01008. – DOI: 10.1051/bioconf/20249501008.
22. *Boudebza A., Abdeldjelil M.C.* Reference intervals and physiological variations of the macro-mineral plasma concentrations in Ould Djellal ewes // *Science and Technology*. – 2022. – Vol. 14, № 1. – P. 46–53.
23. *Macromineral and trace element supply in sheep and goats in Austria* / V. Schweinzer, M. Iwersen, M. Drillich [et al.] // *Veterinari Medcicina*. – 2017. – Vol. 62 (02). – P. 62–73. – DOI: 10.17221/243/2015.

24. Коновалова Т.В. Влияние генотипа отцов на содержание меди в печени потомков у крупного рогатого скота // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 1 (70). – С. 196–203. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-96-203.
25. Генетическая детерминация накопления меди в миокарде у крупного рогатого скота Западной Сибири / О.И. Себежко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 10 (199). – С. 160–166. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-160-166.
26. Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in AS1-casein and  $\beta$  lactoglobulin genes in Romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezko, O.S. Korotkevich [et al.] // Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018. – 2018. – P. 47.
27. Briffa J., Srinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // Heliyon. – 2020. – Vol. 6, Is. 9. – P. 1–26.
28. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: ОНИКС 21 век; Мир. – 2004. – 272 с.
29. Chasapis T.C., Ariadni C.L., Chara A.S. Zink and human health: an update // Archives of Toxicology. – 2012. – Vol. 86. – P. 521–534.
30. Zink and its role in immunity and inflammation / P. Bonaventura, G. Benedetti, F. Albareda [et al.] // Autoimmunity Reviews. – 2015. – Vol. 14, Is. 4. – P. 277–285.
31. Zink deficiency and heart failure: a systematic review of the current literature / H. Rosenblum, J.D. Wessler, A. Gupta [et al.] // Journal of Cardiac Failure. – 2020. – Vol. 26, Is. 2. – P. 180–189.

## REFERENCES

1. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petuhov V.L., Dimov G., Storozhuk S.I., *Biologiya, genetika i selekciya ovcy* (Biology, genetics and breeding of sheep), Novosibirsk: NGAU, 2010, 524 p.
2. Beketov S.A., Deniskova T.E., Dostev A.V., Nikolaeva E.A., Zinovieva N.A., Selionova M.I., Stolpovsky Yu.A., Populations of Tuvan Shot FAT-Tailed sheep breeds of the Russian Federation, *Russian Journal of Genetics*, 2024, T. 60, No. 1, pp. 87–99, DOI: 10.1134/s1022795424010022.
3. Osadchuk L.V., Sebezko O.I., Shishin N.G. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 2 (43), pp. 52–61. (In Russ.)
4. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyaciya makroelementov v organah i tkanyah krupnogo rogatogo skota cherno-pestroj porody* (Content, variability and correlation of macroelements in organs and tissues of black-and-white cattle), Novosibirsk, 2018, 126 p.
5. Korotkevich O.S., Lyukhanov M.P., Petukhov V.I. [et al.], Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of west Siberia, *Proceeding of the 10 th World Congress on Genetics Applied to livestock Production*, 2014.
6. Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2011, T. 46, No. 2, pp. 51–56. (In Russ.)
7. Korotkevich O.S., Lyukhanov M.P., Petukhov V.L., Yudin N.S., Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia, *Proceeding of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 2014.
8. Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I. [et al.], Analysis of trace elements in the hair of with DC ARC excitation, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T.9, No. 5, pp. 601–605.
9. Skal'nyj A.V., Skal'naya M.G., Karichuk A.A., Tin'kov A.A., *Medicinskaya elementologiya* (Medical Elementology), Moscow, 2021, 199 p.
10. Sloup V., Jankovska I. Nechybova [et al.], Zink in animal organism: Areview, *Scientia Agricultural Bohemica*, 2017, Vol. 48, Is. 1, pp. 13–21.
11. Antunovic Z., Klip Z. [et al.], Changes of macromineral and trace element concentration in the blood of ewes during lactation period, *Czech Journal of Animal Science*, 2021, Vol. 66 (4), pp. 129–136.
12. Emam R.R., Ghanem M.M., Abdel-Raof Y.M. [et al.], Field deficiency of macro and microelements is associated with alterations in hematology, hepatic and kidney functions and electrocardiography in sheep, *J. of Advanced Veterinary Research*, 2024, Vol. 14, Is. 4, pp. 553–558.
13. Baranowski P., Genetic and environmental factors of macroelements concentration in blood serum and osseous tissue of lambs in north-west Poland, *Arch. Tierz., Dummerstorf.*, 2002, Vol. 45, No. 6, pp. 565–574.
14. De Souza D.F., Reijers T.S.S.S., Gilaverte S. [et al.], Dinamics of biochemical parameters in lambs during the first four month of life, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2020, Vol. 49, pp. e20190167, DOI: 10.37496/rbz4920190167.
15. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S. [et al.], Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T. 9, No. 4, pp. 368–374.
16. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyayev J.I. [et al.], Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2017, T. 44, No. 2, pp. 217–220.

17. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. [et al.], Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T. 9, No. 6, pp. 958–964.
18. Sebezsko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. [et al.], Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of Western, *Indian Journal of Ecology*, 2017, T. 44, No. 3, pp. 662–666.
19. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I. [et al.], Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2018, T. 45, No. 4, pp. 866–871.
20. Baumgartner W., *Clinical propaedeutics of house animals and pets (in Germany) 7th end.* Parey, Stuttgart, Xivt 525 p.
21. Varhidova A., Daminov A., Muradova E., Nurullayev A., Changes in the content of certain macro- and microelements in the blood of Karakul sheep exposed to helminth infestation, *BIO Web Conference* 95, 2024, 01008, DOI: 10.1051/bioconf/20249501008.
22. Boudebza A., Abdeldjelil M.C., Reference intervals and physiological variations of the macro-mineral plasma concentrations in Ould Djellal ewes, *Science and Technology*, 2022, Vol. 14, No. 1, pp. 46–53.
23. Schewinzer V., Iwersen M., Drillich M. [et al.], Macromineral and trace element supply in sheep and goats in Austria, *Veterinarni Medicina*, 2017, Vol. 62 (02), pp. 62–73, DOI: 10.17221/243/2015.
24. Konovalova T.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2024, No. 1 (70), pp. 196–203, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-96-203. (In Russ.)
25. Sebezsko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S. [i dr.], *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 10 (199), pp. 160–166, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-160-166. (In Russ.)
26. Konovalova T.V., Sebezsko O.I., Korotkevich O.S. [et. al.], Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in AS1-casein and  $\beta$  lacto globulin genes in Romanov sheep breed, *Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018*, 2018, pp. 47.
27. Briffa J., Srinagra E., Blundell R., Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon*, 2020, Vol. 6, Is. 9, pp. 1–26.
28. Skal'nyj A.V., Rudakov I.A., *Bioelementy v medicine* (Bioelements in medicine), Moscow: ONIKS 21 vek; Mir, 2004, 272 p.
29. Chasapis T.C., Ariadni C.L., Chara A.S., Zink and human health: an update, *Archives of Toxicology*, 2012, Vol. 86, pp. 521–534.
30. Bonaventura P., Benedetti G., Albarede F. [et al.], Zink and its role in immunity and inflammation, *Autoimmunity Reviews*, 2015, Vol. 14, Is. 4, pp. 277–285.
31. Rosenblum H., Wessler J.D., Gupta A. [et al.], Zink deficiency and heart failure: a systematic review of the current literature, *Journal of Cardiac Failure*, 2020, Vol. 26, Is. 2, pp. 180–189.

#### Информация об авторах:

Т.В. Коновалова, старший преподаватель  
 Е.А. Климанова, научный сотрудник  
 Е.И. Тарасенко, аспирант  
 О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор  
 В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

#### Contribution of the authors:

T.V. Konovalova, Senior Lecturer  
 E.A. Klimanova, Researcher  
 E.I. Tarasenko, Postgraduate  
 O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor  
 V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

#### Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.