

**ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПА БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОСФОРА В ПЕЧЕНИ ПОТОМКОВ**

**М.В. Стрижкова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, О.А. Зайко, А.И. Желтиков, М.Л. Кочнева**

*ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

**E-mail:** mvstrizhkova@yandex.ru

**Для цитирования:** Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков / М.В. Стрижкова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, О.А. Зайко, А.И. Желтиков, М.Л. Кочнева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 272–279. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279.

**Ключевые слова:** фосфор, голштинская порода, генотип быков-производителей, печень.

**Реферат.** Российские и зарубежные ученые продолжают систематизировать знания о накоплении макро- и микроэлементов в организме животных, так как их изучение остается актуальной темой для многих исследований. Также изучаются вопросы о наследственной детерминации уровня макро- и микроэлементов в органах и тканях животных. В настоящее время в статьях российских и зарубежных авторов содержатся отдельные разрозненные сведения о макро- и микроэлементном статусе сельскохозяйственных животных и рыб разных видов. В нашей статье описаны данные о содержании фосфора в печени потомства, полученного от быков-производителей голштинской породы. Исследования проводились в Кузбассе. Исследуемые животные находились в одинаковых условиях содержания и кормления. Группы формировались по принципу аналогов. Для подопытных животных были созданы одинаковые условия кормления и содержания. В зоне их разведения было определено содержание макро- и микроэлементов в почве, воде и кормах. Уровень тяжелых металлов находился в пределах допустимых концентраций. Содержание фосфора в печени определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе ICP AES IRIS. Уровень фосфора в потомстве сыновей разных быков голштинской породы был в пределах 2964–3417 мг/кг. В печени потомков некоторых быков содержание фосфора было в 1,15 раза выше, чем у других. Показатель силы влияния ( $r_w$ ) отцов на содержание фосфора в печени сыновей составил 0,49 ( $P < 0,05$ ). Это свидетельствует о влиянии генотипа отцов на содержание фосфора в печени потомков. Уровень фенотипической изменчивости концентрации фосфора в печени потомков разных быков был в пределах 5,6–11,6 %. Полученные средние значения уровня фосфора можно принять за физиологическую норму для животных голштинской породы в условиях Западной Сибири. Изучение уровня фосфора и других элементов в органах и тканях расширяет представление о химическом статусе животных и является характеристикой интерьера.

**THE EFFECT OF THE GENOTYPE OF HOLSTEIN BULLS ON THE PHOSPHORUS CONTENT IN THE LIVER OF DESCENDANTS**

**M.V. Strizhkova, T.V. Konovalova, O.S. Korotkevich, B.L. Petukhov, O.A. Zaiko, A.I. Zheltikov, M.L. Kochneva**  
*Novosibirsk state agrarian University, Novosibirsk, Russia*

**E-mail:** mvstrizhkova@yandex.ru

**Keywords:** phosphorus, Holstein breed, genotype of breeding bulls, liver.

**Abstract.** Russian and foreign scientists continue to systematize knowledge about the accumulation of macro- and microelements in the body of animals, as their study remains an urgent topic for many studies. Questions about the hereditary determination of the level of macro- and microelements in animal organs and tissues are also being studied. Currently, articles by Russian and foreign authors contain separate, disparate information about the macro- and microelement status of farm animals and fish of different species. Our article describes data on the phosphorus content in the liver of offspring obtained from producing bulls of the Holstein breed. The research was conducted in Kuzbass. The studied animals were in the same conditions of maintenance and feeding. The groups were formed according to the principle of analogues. The same feeding and maintenance conditions were created for the experimental animals. In the animal breeding area, the content of macro- and microelements in soil, water and feed was determined, the level of heavy metals was within acceptable concentrations. The phosphorus

*content in the liver was determined by atomic emission spectrometry on the ICP AES IRIS device. The phosphorus level in the offspring of the sons of different Holstein bulls was in the range of 2964–3417 mg/kg. In the liver of the descendants of some bulls, the phosphorus content was 1.15 times higher than in others. The index of the strength of the influence (RW) of fathers on the phosphorus content in the liver of sons was 0,49 ( $p < 0.05$ ). This indicates the influence of the genotype of fathers on the phosphorus content in the liver of descendants. The level of phenotypic variability of phosphorus concentration in the liver of offspring of different bulls was in the range of 5.6–11.6 %. The obtained average values of phosphorus levels can be taken as the physiological norm for animals of the Holstein breed in Western Siberia. The study of the level of phosphorus and other elements in organs and tissues expands the understanding of the chemical status of animals and is a characteristic of the interior.*

В организме животных содержится около 50 различных макро- и микроэлементов. Макроэлементы – такие как кальций, фосфор, магний, калий, натрий, они требуются организму в больших количествах, и микроэлементы, такие как железо, кобальт, медь, йод, марганец, цинк и селен, являются незаменимыми, поскольку они необходимы в небольших количествах.

Среди макроэлементов фосфор является одним из наиболее распространенных в организме человека и животных, где он находится в виде минеральных и органических соединений [1]. Обмен фосфора в организме тесно связан с обменом кальция. Фосфор играет важную роль во многих биохимических реакциях, таких как энергетический обмен [2]. Он принимает активное участие во многих процессах, которые происходят в организме животных, например: в синтезе макроэргических соединений (АТФ), в обмене аминокислот, нуклеиновых кислот, углеводов и жиров [3, 4]. Органические соединения фосфора принимают участие в процессах хранения генетической информации [5, 6], регуляции активности генов. Соединения фосфора также участвуют в ферментативных процессах, чтобы обеспечить действие витаминов, проведение нервных импульсов, мышечных сокращений [5, 6]. С участием данного макроэлемента поддерживается рН-баланс организма и деятельность центральной нервной системы. Количество фосфора и кальция должно быть сбалансировано, чтобы они могли выполнять свои функции. Оптимальное соотношение кальция и фосфора в организме животных 2 : 1 [4–6].

Уровень неорганического фосфора в сыворотке крови животных – это один из показателей оценки полноценности кормления животных, а также уровня окислительно-восстановительных процессов, которые происходят в организме [5, 6]. Среди различных питательных веществ, содержащихся в печени жвачных животных, минералы имеют фундаментальное значение, поскольку они участвуют во многих жизненно важных функциях организма животных и человека.

Печень принимает активное участие в процессах пищеварения, кроветворения, поддержания обмена веществ в организме животных [6].

В настоящее время важным является комплексная оценка интерьера животных [7–8] для характеристики фенотипа и генофонда пород сельскохозяйственных животных [9–11]. Наряду с этим наименее раскрыта элементология сельскохозяйственных животных [11–13].

В связи с этим изучение, систематизация данных по содержанию макро- и микроэлементов в органах и тканях животных представляет несомненный интерес [12–14]. Как известно, элементный состав органов и тканей организма характеризуется значительной вариабельностью [15–17].

Так, в работах [17, 18] установлены закономерности в содержании и изменчивости свинца, кадмия, меди, цинка, железа в органах и тканях крупного рогатого скота герефордской породы и выявлены их связи между собой, а также с интерьерными показателями.

Установление корреляций между содержанием макро- и микроэлементов в различных органах и тканях животных, выявление наследственной детерминации содержания макро- и микроэлементов в их органах и тканях [17] позволит эффективнее осуществлять отбор и подбор племенных животных с целью получения представителей с физиологически оптимальной концентрацией химических элементов.

Известно, что уровень химических элементов может зависеть от генотипа производителей, генофонда семейств, линий, породы, экологических условий и других факторов. В связи с этим расширяется круг исследований в области элементологии сельскохозяйственных животных. Уровень химических элементов, как и признаки продуктивности, устойчивости к болезням, должны в комплексе включаться в селекционно-генетические программы.

Вместе с тем следует отметить, что исследований по макро- и микроэлементному составу печени у различных видов и пород сельскохо-

зьяственных животных недостаточно, а работ о генетической детерминации этого признака практически нет [18–20].

Цель исследований: определить влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данном исследовании было изучено содержание неорганического фосфора в печени потомков четырех быков-производителей голштинской породы. Исследование проводили в одном из племенных хозяйств Кузбасса. Сформировали четыре группы бычков, которые до убоя в 12–14-месячном возрасте находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Концентрацию фосфора в печени определяли в аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе ICP AES IRIS. В месте разведения голштинского скота проводился комплексный мониторинг элементного состава воды, почвы, растений, органов и тканей животных [21, 22].

В почвах сельхозугодий различных районов Сибири уровень валового содержания микроэлементов находится в пределах агрохимических и биогеохимических норм [22, 23]. В некоторых животноводческих продуктах животных иссле-

довали содержание радионуклидов, значение которых не превышало существующие нормы для Западной Сибири [23].

Для оценки нормальности распределения данных использовали критерий Шапиро–Уилка (W). Статистические параметры определяли по методике Нозо и др. [24]. Оценили плотность распределения вероятностей уровня фосфора у потомков быков-производителей. Генетическую изменчивость вычисляли с использованием однофакторного дисперсионного комплекса с разной численностью вариантов в группах четырех производителей. Определяли коэффициент внутрикласовой корреляции отцовских полусибсов. Дендрограмму сходства потомков четырех отцов по уровню фосфора в печени построили с применением Манхэттенской метрики. Метод Уорда использовали для минимизации внутрикласовых дисперсий [24].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В современной биоэлементологии мало изученным вопросом остается объяснение наследственной обусловленности уровня биоэлементов в органах и тканях животных. Поэтому мы определили роль генетической компоненты в уровне фосфора в печени потомков некоторых быков голштинской породы. В табл. 1 приведены данные о концентрации фосфора в печени сыновей четырех отцов.

Таблица 1

Уровень фосфора в печени сыновей быков голштинской породы, мг/кг  
Phosphorus level in the liver of the sons of Holstein bulls, mg/ kg

Номер отца	<i>n</i>	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Ме
10	6	3417±113	3400
212	9	3189±111	3200
318	11	2964±100	3000
131	8	3388±67	3450

Содержание фосфора в группах потомков разных быков было в пределах 2964–3417 мг/кг. Референтные значения для этого макроэлемента составили 3102–3344 мг/кг. У сыновей быка № 10 концентрация фосфора в печени была в 1,15 раза выше, чем у потомков отца № 318 ( $p < 0,05$ ). Соотношение уровня фосфора в печени потомков быков-производителей было 1 : 1,08 : 1,14 : 1,15.

По данным зарубежных авторов, в ткани печени буйволов было обнаружено высокое содержание фосфора (12 140 мг/кг), что в несколько раз больше, чем в наших исследованиях [25].

По данным других исследователей, содержание фосфора в длинной мышце у бычков-кастратов мясной породы нелоре равно 7356±85 мг/г [26], что более чем в два раза выше, чем в наших исследованиях на печени.

Внутриклассовый коэффициент корреляции полусибсов по отцам показал, что генетическое разнообразие по концентрации фосфора в печени животных составляет 0,49 ( $P < 0,05$ ). Эти данные свидетельствуют о том, что генотип произво-

дителей влияет на уровень фосфора в печени потомков.

Важным вопросом в исследовании является изучение изменчивости содержания фосфора в печени сыновей разных производителей (табл. 2).

Таблица 2

**Изменчивость концентрации фосфора в печени потомков быков голштинской породы**  
**Variability of phosphorus concentration in the liver of descendants of Holstein bulls**

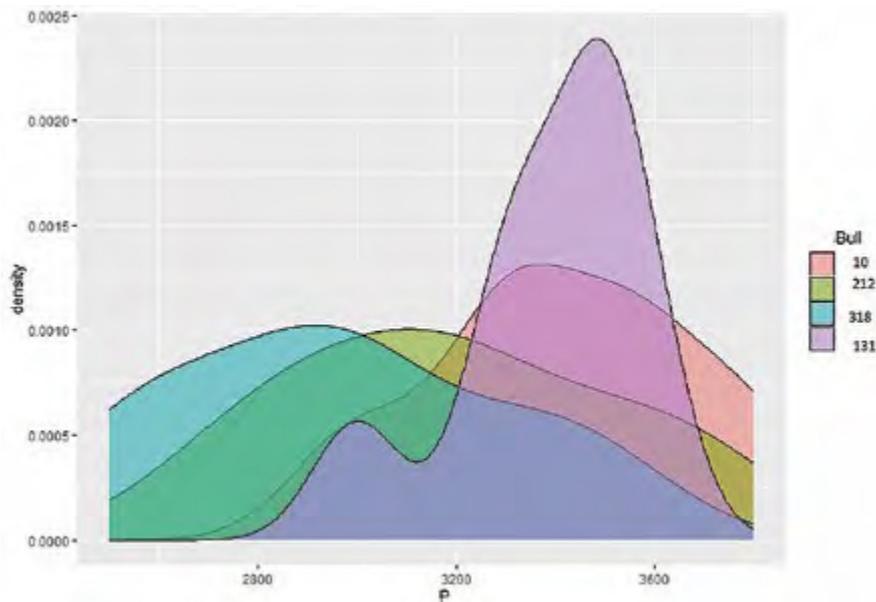
Номер отца	Q <sub>1</sub>	Q <sub>3</sub>	IQR	SD	C <sub>v</sub>	Lim
10	3275	3617	341,7	278,7	8,2	3000–3800
212	2900	3467	566,7	333,3	10,5	2700–3700
318	2633	3250	616,7	332,5	11,2	2500–3500
131	3300	3500	200	188,5	5,6	3000–3600

*Примечание.* Q<sub>1</sub> – 1-й квартиль; Q<sub>3</sub> – 3-й квартиль; IQR – интерквартильный размах; SD – стандартное отклонение; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации; Lim – крайние значения варианта.

Как видно из представленных материалов, изменчивость концентрации фосфора находилась на достаточно низком уровне. Коэффициенты вариации были в пределах 5,6–11,2 %, что является относительно низкими для концентраций химических элементов. Колебания соотношений

крайних вариантов были незначительны и находились в пределах 1 : 1,2–1 : 1,4.

На рис. 1 приведена плотность распределения вероятностей концентрации фосфора в потомстве быков-производителей.



*Рис. 1.* Плотность распределения вероятностей концентрации фосфора в потомстве племенных быков  
 Density function of phosphorus distribution in the offspring of for breeding bulls

Особенно видны различия в распределении плотности вероятностей уровня фосфора потомков производителей № 10 и 318. На рис. 2

представлена дендрограмма сходства потомков разных быков по содержанию фосфора в печени.

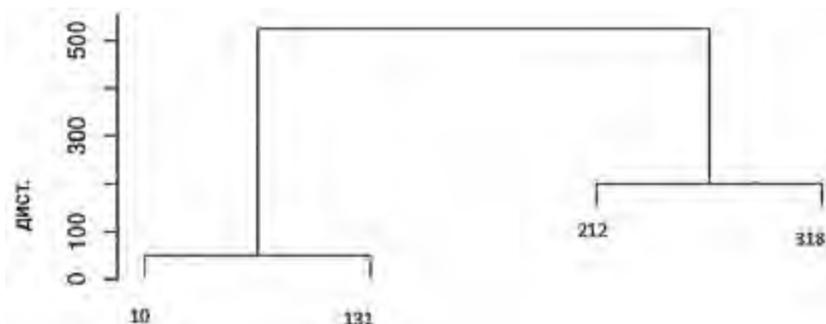


Рис. 2. Дендрограмма сходства содержания фосфора в печени потомков разных быков-производителей  
Dendrogram of similarity of phosphorus content in the liver of sons of different breeding-bulls

Видны два кластера производителей, различающихся по уровню накопления аккумуляции фосфора в печени их потомков. У сыновей быков № 10 и 131 отмечен более высокий уровень

фосфора в печени, чем у потомков отцов № 212 и 318. Межквартильный размах уровня фосфора у бычков отца № 318 был в 2–3 раза выше, чем у сыновей отца № 10 и 131 (рис. 3).

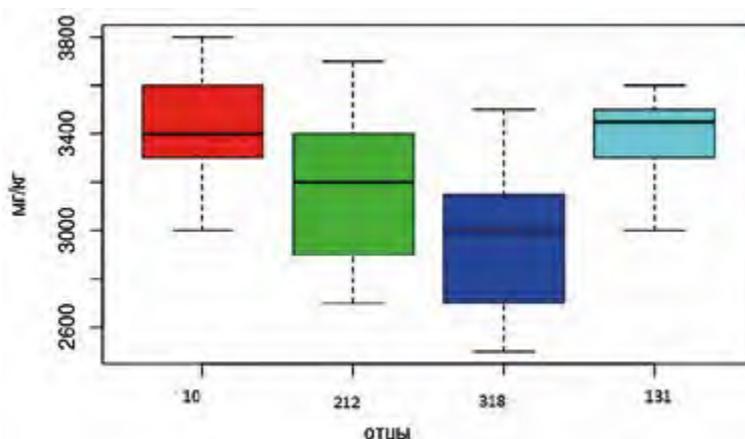


Рис. 3. Графическая диаграмма диапазона содержания фосфора в печени сыновей разных племенных быков  
Box plot diagram of the range of phosphorus in the liver of sons of different stud-bull

Мало изученной является генетическая обусловленность содержания макро- и микроэлементов в органах и тканях разных пород крупного рогатого скота и различных видов сельскохозяйственных животных. Так, у скота породы нелоре коэффициент наследуемости  $h^2$  содержания фосфора в длиннейшей мышце спины составил 0,29 [27]. Авторы предполагают, что концентрация этого элемента связана с геном-кандидатом SH3BP4, локализованным на хромосоме 3. Они считают, что генетическая изменчивость этого признака обусловлена аддитивным действием генов. Однако у скота породы ангус в той же длиннейшей мышце спины не обнаружено связи уровня фосфора с генами-кандидатами [27]. Генетическая вариация концентрации фосфора была очень низкой (0,02). Предполагают, что SNP, связанные с уровнем фосфора в длиннейшей мышце спины, находятся на хромосомах 5, 9 и 17. Но вариация, обусловленная SNP, была соответ-

ственно 0,13, 0,12, и 0,11, тогда как для уровня железа, например, она составляет 4,76. Содержание фосфора в мышечной ткани  $7356 \pm 85$  мг/кг.

Следовательно, у пород нелоре и ангус наблюдалась разная генетическая детерминация уровня фосфора в одной и той же мышце. В одной породе уровень фосфора связан с локусом на хромосоме 3, а в другой – на хромосомах 5, 9 и 17. Обнаружена и разная генетическая изменчивость в двух популяциях скота [27].

Следует полагать, что уровень одного и того же элемента в различных органах и тканях и в разных органах может быть обусловлен разными генетическими системами. Это, видимо, зависит от биохимических и физиологических процессов, протекающих в различных органах.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено влияние генотипа быков голштинской породы на содержание фосфора в печени потомства. Доля влияния генов отцов на

изменчивость уровня фосфора в печени животных голштинской породы составила 0,49 ( $p < 0,05$ ).

Исследования, связанные с установлением генетической детерминации устойчивости или восприимчивости к накоплению макро- и микроэлементов в органах и тканях животных разных видов, их связь с биохимическими, молекулярно-генетическими, цитогенетическими и другими показателями, продолжаются.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что генотип быков голштинской породы влияет на содержание фосфора в печени потомков. Потомство некоторых отцов

имело содержание фосфора в печени в 1,15 раза выше, чем у других.

2. Сила влияния генотипа производителей на уровень фосфора в печени сыновей равна 0,49 ( $p < 0,05$ ). Фенотипическая изменчивость концентрации содержания фосфора в печени животных была относительно низкой и находилась в пределах 5,6–11,2 %.

3. Изучение уровня фосфора и других элементов в органах и тканях расширяет представление о химическом статусе животных, что дополняет оценку интерьера животных. Полученные данные можно использовать в качестве физиологической нормы содержания фосфора в печени у здоровых животных, разводимых на территории Кузбасса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Correlation of phosphorus level with macro-and microelements in the bristles of Landrace pigs*, BIO Web of Conferences / O. Zaiko, A. Nazarenko, M. Strizhkova, A. Zheltikov, T. Konovalova // BIO Web of Conferences, 2021. – 36, 0631.
2. *Гормональный и метаболический статус бычков голштинской породы в эколого-климатических 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.
3. *Способ получения высокопродуктивных производителей сельскохозяйственных животных* / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.И. Желтиков [и др.]. Патент на изобретение RU 2414124 С2, 20.03.2011. Заявка № 2009122691/10 от 15.06.2009.
4. *Нарожных К.Н., Стрижкова М.В., Коновалова Т.В.* Межпородные различия по уровню макро- и микроэлементов в мышечной ткани крупного рогатого скота Западной Сибири / *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2 (ч. 10). – С. 2158–2163.
5. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2018. – 131 с.
6. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск, 1997. – 284 с.
7. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations on West Siberia* / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov, N.S. Yudin // 10th World Congress of Genetics Applied to livestock Production, Vancouver, Canada, 2014. – DOI: 10.13140/2.1.1987.0084.
8. *The impact of the Romanov stud rams genotype on the accumulation of zink in the wool* / Liu Mingzhun, R.T. Saurbaeva, Lee Venrong [et al.]. – 2019. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-91-97.
9. *Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkova G.N.* Accumulation of heavy metals in the muscles of zander from Novosibirsk water basin // E.3. Web of conferences. Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment electronic edition, 2013. – С. 110007.
10. *Способ определения концентрации свинца в легких крупного рогатого скота* / Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, К.Н. Нарожных., В.Л. Петухов [и др.]. Патент на изобретение RU 2602915 С1, 20.11.2016. Заявка № 2015130994/15 от 24.07.2015.
11. *The content of heavy metals in feeds of the Tyva Republic* / R.B. Chysyma, V.L. Petukhov, E.E. Kuzmina, E.Y. Barinov [et al.] // 20030 Journal Physique IV; France 107 XII International Conference on Heavy Metals in the Environment. – P. 297–299. – DOI: 10.1051 / jp4::20030300.
12. *Chysyma R.B., Bakhtina R.D., Petukhov V.L.* Heavy metal concentration in water and soil of different ecological areas of Tyva Republic // Journal Physique IV; 107 p XII International Conference on Heavy Metals in the environment. – 2003. – P. 301–302. – DOI: 10.1051/ jp4 20030301.
13. *Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, V.A. Sokolov, O. Korotkevich // Indian Journal of Ecology. – 2017. – Т. 44, № 3. – P. 662–666.
14. *Influence of antropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, R.B. Chysyma, E.E. Kuzmina // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Т. 9, № 9. – P. 1530–1535.
15. *Patrashkov S.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L.* Content of heavy metals in the hair // Journal De Physique, IV: JP. editors: Boutron C., Ferrari C., 2003. – P. 1025–1027.

16. Genetic similarity of Siberian pig breeds in allele frequencies of serum protein allotype systems / E.V. Kamaldinov, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich [et al.] // *Indian Veterinary Journal*. – 2018. – Т. 95, № 2. – P. 47–49.
17. Нарожных К.Н. Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герфордского скота в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2019. – 163 с.
18. Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков геерфордской породы / К.Н. Нарожных, Ю. Ефанова, О. Короткевич, В. Петухов // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2013. – № 1. – С. 24–25.
19. Effect of copper on biological and productive parameters of laying hens / V.L. Petukhov, I.A. Afonina, E.S. Klept-syna [et al.] // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and chemical sciences*. – 2016. – Vol. 7, № 5. – P. 1093–1100.
20. Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with arc excitation sources / A.R. Tsygankova, A.V. Kuptsov, A.I. Saprykin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, № 5. – P. 601–605.
21. Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyayev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Vol. 44, № 2. – P. 217–220.
22. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyayev J. Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia // *Indian Journal of Ecology*. – 2018. – Vol. 45, № 4. – P. 866–871.
23. Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермерских полей Барнаульского Приобья / А.И. Сысо, М.А. Лебедева, С.А. Худяев [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 3 (44). – С. 54–61.
24. Болч Б., Хуань К.Д. Многомерные статистические методы для экономики. – М., 1979. – 317 с.
25. Rodrigues L.S. Mineral Content of Liver of Buffaloes (*Bubalus bubalis*) Reared in Different Ecosystems in the Eastern Amazon / L.S. Rodrigues, J.A. Rodrigues da Silva [et al.] // *Animals*. – 2023. – 13, 1157. – P. 1–13. – DOI: 10.3390/ani13071157.
26. Detection of quantitative trait loci for mineral content Nelore longissimus dorsi muscle / P.C. Tizioto, J.E. Decker [et al.] // *Genetics Selection Evolution*. – 2015. – Т. 47 (15). – P. 1–9. – DOI: 10.1186/s 12711-014-0083-3.
27. Genome – wide association study of concentrations of iron and other minerals in longissimus muscle of Angus cattle / R.G. Tair Mateescu, D.J. Garrik [et al.] // *Journal of animal Science*. – 2013. – Т. 91. – P. 3593–3600. – DOI: 10.2527/jas. 2012-6079.

## REFERENCES

1. Zaiko O., Nazarenko A., Strizhkova M., Zheltikov A., Konovalova T., Correlation of phosphorus level with macro- and microelements in the bristles of Landrace pigs, *BIO Web of Conferences*, 2021, 36, 0631.
2. Osadchuk L.V., Sebezshko O.I., Shishin N.G. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 2 (43), pp. 52–61. (In Russ.)
3. *Sposob polucheniya vysokoproduktivnykh proizvoditelej sel'skokhozyajstvennykh zhivotnykh* (Method for obtaining highly productive producers of agricultural animals), Petukhov V.L., Ehrnst L.K., Zheltikov A.I. [i dr.], 2011, Patent na izobrenenie RU 2414124 C2, 20.03.2011, Zayavka № 2009122691/10 ot 15.06.2009.
4. Narozhnykh K.N., Strizhkova M.V., Konovalova T.V., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, № 2 (10), pp. 2158–2163. (In Russ.)
5. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyaciya makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroj porody* (Content, variability and correlation of macroelements in organs and tissues of black-and-white cattle), Candidate of Science Dissertation, Novosibirsk, 2018, 131 p.
6. Panov B.L., Petukhov V.L., Ehrnst L.K. [i dr.], *Problemy selekcii sel'skokhozyajstvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk, 1997, 284 p.
7. Korotkevich O., Lyukhanov M.P., Petukhov V.L., Yudin N.S., Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations on West Siberia, *10th World Congress of Genetics Applied to livestock Production*, Vancouver, Canada, 2014, DOI: 10.13140/2.1.1987.0084.
8. Mingzhun Liu, Saurbaeva R.T., Venrong Lee [et al.], The impact of the Romanov stud rams genotype on the accumulation of zink in the wool, 2019, DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-91-97.
9. Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkova G.N., Accumulation of heavy metals in the muscles of zander from Novosibirsk water basin, *E.3. Web of conferences. Proceedings of the 16 h International Conference on Heavy Metals in the Environment electronic edition*, 2013, pp. 110007.
10. Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L. i dr., *Sposob opredeleniya koncentracii svinca v legkikh krupnogo rogatogo skota* (Method for Determining Lead Concentration in Lungs of Cattle), 2016, Patent na izobrenenie RU 2602915 C1, 20.11.2016, Zayavka № 2015130994/15 ot 24.07.2015.
11. Chysyma R.B., Petukhov V.L., Kuzmina E.E. [et al.], The content of heavy metals in feeds of the Tyva Republic, *20030 Journal Physique IV; France 107 XII International Conference on Heavy Metals in the Environment*, pp. 297–299, DOI: 10.1051 / jp4::20030300.
12. Chysyma R.B., Bakhtina R.D., Petukhov V.L., Heavy metal concentration in water and soil of different ecological areas of Tyva Republic, *Journal Physique IV; 107 p XII International Conference on Heavy Metals in the environment*, 2003, pp. 301–302, DOI: 10.1051/ jp4 20030301.

13. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Sokolov V.A., Korotkevich O., Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2017, T. 44, No. 3, pp. 662–666.
14. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B., Kuzmina E.E., Influence of antropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T. 9, No. 9, pp. 1530–1535.
15. Patrashkov S.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Content of heavy metals in the hair, *Journal De Physique*, IV: JP. editors: Boutron C., Ferrari C., 2003, pp. 1025–1027.
16. Kamaldinov E.V., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. [et al.], Genetic similarity of Siberian pig breeds in allele frequencies of serum protein allotype systems, *Indian Veterinary Journal*, 2018, T. 95, No. 2, pp. 47–49.
17. Narozhnykh K.N., *Izmenchivost', korrelyacii i uroven' tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh gerefordskogo skota v usloviyakh Zapadnoj Sibiri* (Variability, correlations and levels of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in Western Siberia), Candidate of Science Dissertation, Novosibirsk, 2019, 163 p.
18. Narozhnykh K.N., Efanova Y.U., Korotkevich O., Petukhov V., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2013, No. 1, pp. 24–25. (In Russ.)
19. Petukhov V.L., Afonina I.A., Kleptsyna E.S. [et al.], Effect of copper on biological and productive parameters of laying hens, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and chemical sciences*, 2016, Vol. 7, No. 5, pp. 1093–1100.
20. Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I. [et al.], Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with arc excitation sources, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 5, pp. 601–605.
21. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I. [et al.], Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 44, No. 2, pp. 217–220.
22. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J., Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2018, Vol. 45, No. 4, pp. 866–871.
23. Syso A.I., Lebedeva M.A., Khudyaev S.A. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 3 (44), pp. 54–61. (In Russ.)
24. Bolch B., Kham' K.D., *Mnogomernye statisticheskie metody dlya ehkonomiki* (Multivariate Statistical Methods for Economics), Moscow, 1979, 317 p.
25. Rodrigues L.S., Rodrigues da Silva J.A. [et al.], Mineral Content of Liver of Buffaloes (*Bubalus bubalis*) Reared in Different Ecosystems in the Eastern Amazon, *Animals*, 2023, 13, 1157, pp. 1–13, DOI: 10.3390/ani13071157.
26. Tizioto P.C., Decker J.E. [et al.], Detection of quantitative trait loci for mineral content Nelore longissimus dorsi muscle, *Genetics Selection Evolution*, 2015, T. 47 (15), pp. 1–9, DOI: 10.1186/s 12711-014-0083-3.
27. Tair Mateescu R.G., Garrik D.J. [et al.], Genome – wide association study of concentrations of iron and other minerals in longissimus muscle of Angus cattle, *Journal of animal Science*, 2013, T. 91, pp. 3593–3600, DOI: 10.2527/jas.2012-6079.

**Информация об авторах:**

М.В. Стрижкова, кандидат биологических наук  
 Т.В. Коновалова, старший преподаватель  
 О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор  
 В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор  
 О.А. Зайко, кандидат биологических наук  
 А.И. Желтиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
 М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, доцент

**Contribution of the authors:**

M.V. Strizhkova, PhD in Biological Sciences  
 T.V. Konovalova, senior lecturer  
 O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor  
 V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor  
 O.A. Zaiko, PhD in Biological Sciences  
 A.I. Zheltikov, Doctor of Agricultural Sciences  
 M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences

**Вклад авторов:**

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