

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ СТАБИЛЬНОГО СТРОНЦИЯ В НЕКОТОРЫХ ОРГАНАХ И ТКАНЯХ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЛАНДРАС

О.А. Зайко, кандидат биологических наук

Т.В. Коновалова, старший преподаватель

Е.Е. Глущенко, кандидат ветеринарных наук

О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор

В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Ключевые слова: стронций, печень, почки, селезенка, мышцы, свиньи, ландрас.

Реферат. Продемонстрированы результаты оценки уровня стабильного стронция в скелетной мускулатуре, печени, почках и селезенке свиней ландрасской породы в конце технологического цикла. Исследования выполнены на клинически здоровых животных, выращенных в крупном свиноводческом хозяйстве Алтайского края. Условия содержания животных соответствовали типовым для мясного откорма до 100 кг, кормление осуществлялось полнорационными комбикормами. Элементный анализ проб паренхиматозных органов и мышечной ткани выполнялся с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. Обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel и языка программирования R в среде анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). Распределение не во всех случаях соответствовало нормальному, дисперсии не гомогенны. На основании среднего значения и медианы установлен возрастающий ранжированный ряд содержания стронция в органах и тканях: печень = скелетная мускулатура < селезенка < почки, в числовом выражении: 1 : 1 : 3,7 : 4,7 и 1 : 1 : 3,9 : 5,7 соответственно. Медианы для стабильного стронция в печени, почках, селезенке и скелетной мускулатуре составили 0,024; 0,130; 0,089 и 0,023 мг/кг соответственно. Референсные интервалы для печени – 0,004–0,043, для селезенки – 0,030–0,145 мг/кг. Самый значительный размах изменчивости характерен для почек свиней, большая однородность свойственна печени и скелетной мускулатуре. С помощью критерия Краскела-Уоллиса установлено, что аккумуляция стабильного стронция значительно различается в рассмотренных органах и тканях свиней ($H = 68,9$, $df = 3$, $p < 0,0001$). Попарное сравнение показало значимые отличия для пар «почки – печень», «селезенка – печень», «скелетная мускулатура – почки» и «скелетная мускулатура – селезенка». Выделены два кластера по схожести накопления стронция: печень и скелетная мускулатура, почки и селезенка. Кальциево-стронциевое отношение с учетом медиан для скелетной мускулатуры составило 1:1833, для печени – 1:1870. Установленные результаты могут служить ориентировочной физиологической нормой концентрации стабильного стронция в отдельных структурах организма свиней ландрасской породы в условиях Западной Сибири.

FEATURES OF ACCUMULATION AND VARIABILITY OF STABLE STRONTIUM IN SOME ORGANS AND TISSUES OF LANDRACE PIGS

O.A. Zaïko, PhD in Biological Sciences

T.V. Konovalova, Senior Lecturer

E.E. Glushchenko, PhD in Veterinary Sciences

O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor

V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

O.I. Sebezhko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Keywords: strontium, liver, kidneys, spleen, muscles, pigs, landrace.

Abstract. The authors in the article demonstrated the results of assessing the level of stable strontium in the skeletal muscles, liver, kidneys and spleen of Landrace pigs at the end of the technological cycle. The studies were performed on clinically healthy animals raised in a large pig farm in the Altai Territory. The conditions of keeping the animals corresponded to those typical for meat fattening up to 100 kg. Feeding was carried out with complete feed. Elemental analysis of samples of parenchymal organs and muscle tissue was performed using inductively coupled plasma atomic emission spectral analysis. Data processing was performed using Microsoft Office Excel and the R programming language in the data analysis environment RStudio version 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). The distribution did not correspond to normal in all cases. The dispersions are not homogeneous. Based on the mean value and median, an increasing ranked series of strontium content in organs and tissues were established: liver = skeletal muscles < spleen < kidneys, in numerical terms: 1: 1: 3.7: 4.7 and 1: 1: 3.9: 5.7 respectively. Medians for stable strontium in the liver, kidney, spleen, and skeletal muscle were 0.024; 0.130; 0.089 and 0.023 mg/kg, respectively. Reference intervals for the liver are 0.004-0.043 and for the spleen - 0.030-0.145 mg/kg. The most significant range of variability is characteristic of the kidneys of pigs. A considerable uniformity is typical of the liver and skeletal muscles. Using the Kruskal-Wallis test, it was established that the accumulation of stable strontium significantly differs in the examined organs and tissues of pigs ($H = 68.9$, $df = 3$, $p < 0.0001$). Pairwise comparison showed significant differences for the kidney-liver, spleen-liver, skeletal muscle-kidney, and skeletal muscle-spleen pairs. Two clusters were identified according to the similarity of strontium accumulation: liver and skeletal muscles, kidneys and spleen. The calcium-strontium ratio, taking into account medians, for skeletal muscles was 1:1833, and for the liver - 1:1870. The established results can serve as an approximate physiological norm for the concentration of stable strontium in individual structures of the organism of Landrace pigs under the conditions of Western Siberia.

Антропогенное воздействие на экосистемы подвергается перманентному обсуждению, так как вызывает беспокойство населения разных стран мира [1–4]. Стабильный стронций считается малоопасным элементом и относится к третьему классу опасности в градации химических веществ, попадающих в почву, в соответствии с ГОСТ 17.4.1.02-83. Он достаточно широко распространен в окружающей среде, являясь пятнадцатым по встречаемости элементом [5, 6]. Источником металла могут быть естественные процессы, а также деятельность человека, например, переработка соединений стронция, сжигание угля, применение фосфорных удобрений, использование пиротехнических устройств [6].

Всемирная организация здравоохранения определяет стронций как незаменимый для человека микроэлемент [7]. Продукты питания и питьевая вода являются основными источниками этого химического элемента, при этом мясные продукты содержат его менее 1 мг/кг [6, 8, 9]. Точная оценка потребления металла с пищей затруднена из-за региональных различий и ограниченности данных о составе пищевых продуктов, содержащих стронций [10]. Для этого должен изучаться индивидуальный минеральный статус сельскохозяйственных животных в рамках оценки источников влияния на человека, используемого продукты животного происхождения в пищу [11–13]. С этой целью и в том числе для оценки здоровья животных и выполнения экологического мониторинга на территории Западной Сибири осуществляется комплексное изучение интерьерных особенностей животных разных видов и пород. Эта работа охватывает гематоло-

гические, иммунобиохимические, минеральные, цитогенетические и другие показатели [14–16]. В рамках этого направления существуют исследования у животных, посвященные оценке уровня радионуклидов стронция-90 и цезия-137 [17–19], именно они регламентируются в продуктах питания Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Целью исследования было установление уровней аккумуляции и изменчивости стабильного стронция в скелетной мускулатуре, печени, почках и селезенке свиней породы ландрас.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования использовались свиньи породы ландрас, выращенные в крупном свиноводческом хозяйстве Алтайского края. Была сформирована одна группа животных, по принципу аналогов с учетом их происхождения, пола, возраста, живой массы. Во время периода выращивания животные были вакцинированы на основании профилактического плана и обеспечены контролем со стороны ветеринарной службы хозяйства.

Условия содержания свиней были типовыми для мясного откорма и соответствовали ГОСТ 28839-2017. С учетом этапа развития и откорма кормление выполнялось стандартными сбалансированными по питательной, минеральной и витаминной составляющей полнорационными комбикормами. На основании ГОСТ Р 51550-2000 и ГОСТ Р 51850-2001 осуществлялся контроль

качества корма на предмет гарантированных и дополнительных показателей. Поение животных осуществлялось водой второго класса из локального хозяйственно-питьевого источника водоснабжения. Анализ проб воды, почвы и корма для животных в рамках комплексного мониторинга не показал отклонений от допустимых показателей по нормируемым химическим элементам [20, 21].

Откорм свиней осуществлялся до 100 кг, возраст животных перед убоем был ориентировочно 150–160 дней. Животные были клинически здоровыми, в анамнезе не имели перенесенных заболеваний заразного и незаразного генеза. Убой животных выполнялся на основании ГОСТ 31476-2012, действующей технологической инструкции к нему, соответствующих Технических регламентов (ТР ТС 034/2013, ТР ТС 021/2011), Приказа Минсельхоза России от 12.03.2014 № 72.

Предметом исследования служили паренхиматозные органы: печень, почки, селезенка, а также скелетная мускулатура. Общее количество проб составило 98. От каждого животного отбирали образцы массой около 100 г каждый. От почек для исследования брали корковое вещество, скелетную мускулатуру освобождали от видимых жировых и соединительнотканых структур. Образцы хранились в индивидуальных зип-лок пакетах в условиях морозильной камеры при температуре -24°C до проведения исследования. Подготовка образцов выполнялась последовательно и включала размораживание, гомогенизацию. Определение уровня стронция в паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре выполнялось с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой на оборудовании iCAP-PRO (Thermo Fisher Scientific) с индексом способа обзора плазмы Duo в Аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Пробоподготовка включала автоклавирование навески 2 г с 2 мл концентрированной азотной кислоты квалификации «особо чистый» при температуре 80–100 $^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч. Далее вносили 5 мл перекиси водорода квалификации не ниже «химически чистый» и выполнялось автоклавирование при температуре 200 $^{\circ}\text{C}$ еще в течение 1 ч. После полного остывания содержимое переливали в пластиковую пробирку объемом 50 мл и доводили до метки 20 мл дистиллированной водой, перемешивали. Для анализа на приборе брали аликвоту. Внутренним стандартом служил скандий.

Для анализа полученных данных использовалось ПО Microsoft Office Excel, язык программирования R и среда анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC).

Рассчитывались следующие значения: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднее квадратическое отклонение, первый и третий квартили, интерквартильный размах, максимальное и минимальное значение содержания стронция в органах и скелетной мускулатуре, отношение крайних вариантов как частное от деления максимального значения на минимальное. Характер распределения оценивали с помощью ряда критериев, в том числе Шапиро-Уилка, гомогенность дисперсий – посредством критерия Флигнера-Килина.

Дисперсионный анализ для оценки различий между органами осуществлялся, используя непараметрический критерий Краскела-Уоллиса. Попарное сравнение выполняли апостериорным тестом Данна с поправкой Холма. Перечисленные тесты принимались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для кластерного анализа с целью выявления органов с похожими уровнями аккумуляции стронция применялся метод Варда, метрикой расстояний было манхэттенское расстояние, формировалась дендрограмма.

Референсные интервалы (РИ) рассчитывали согласно рекомендациям Института клинических и лабораторных стандартов, Руководства по определению референсных интервалов в ветеринарии и ГОСТ Р 53022.3-2008 bootstrap-методом [22, 23] при помощи R-пакета referenceIntervals. Пределы референсных интервалов представлены с 90%-ми доверительными интервалами (ДИ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» в мясе и мясопродуктах регламентируются уровни только таких металлов, как свинец, мышьяк, кадмий, ртуть, олово и хром. Но осуществлять мониторинг в отношении других химических элементов, в том числе на этапах выращивания сельскохозяйственных животных, с возможной перспективой прижизненной коррекции чрезвычайно важно [24–27]. Основными проблемами остаются, например, разногласия по допустимым нормам потребления отдельных химических элементов, содержанию в тех или иных объектах окружающей среды, выбору маркеров, отражающих химический статус организма, отсутствие референсных значений, учитывающих индивидуальные характеристики (пол, порода, возраст, физиологический статус, биогеохимическая провинция и др.) [28–32].

В отношении содержания стронция в органах и тканях свиней породы ландрас нормальность распределения оценивали с помощью ряда тестов. Гипотеза о нормальности была

подтверждена в большей части случаев. В соответствии с тестом Шапиро-Уилка определен W-критерий, который равнялся 0,97 ($p > 0,05$) для уровня металла в почках, 0,94 и 0,93 ($p > 0,05$) – для селезенки и скелетной мускулатуры соответственно. Аккумуляция стронция в печени характеризовалась по указанному тесту распределением, отличным от нормального. Оценка гомоскедастичности дисперсий выявила их негомогенность ($p < 0,05$). Соответственно,

параллельно с общепринятыми показателями описательной статистики получены робастные метрические.

Информация о содержании стабильного стронция в продукции сельского хозяйства ограничена. Данные, характеризующие содержание стронция в паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре свиней ландрасской породы, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание стронция в органах и тканях свиней породы ландрас, мг/кг
Strontium content in organs and tissues of Landrace pigs, mg/k

Органы и ткани	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Me	lim	Отношение крайних вариант
Печень	27	0,026 ± 0,003	0,024	0,010–0,066	1 : 6,6
Почки	17	0,123 ± 0,010	0,130	0,040–0,210	1 : 5,3
Селезенка	26	0,096 ± 0,007	0,089	0,044–0,188	1 : 4,3
Скелетная мускулатура	28	0,027 ± 0,003	0,023	0,002–0,068	1 : 34,0

Если брать во внимание паренхиматозные органы, установлено, что максимальное количество металла приходится на почки животных. Близкое, но несколько меньшее, содержание характерно для селезенки, для печени свойственно самое незначительное количество. Депонирование стронция в скелетной мускулатуре – на идентичном уровне с печенью. Сформированный убывающий ранжированный ряд с учетом средней арифметической, начиная с печени, где концентрация металла принята за единицу, выглядит следующим образом: 1 : 1 : 3,7 : 4,7, что соответствует: печень = скелетная мускулатура < селезенка < почки. Ранжированный ряд по медиане такой же, а в относительном выражении представлен значениями 1 : 1 : 3,9 : 5,7. В мире потребление стабильного стронция взрослыми людьми составляет 0,1–4 мг в сутки, что не представляет риска для здоровья [33]. Полученные нами данные для мышечной ткани и субпродуктов, употребляющихся в пищу человеком, оптимально соотносятся с представленным интервалом. К примеру, в работе M. Skibniewski и др. [34] средняя концентрация стронция в мясе благородного оленя составляла 0,16 мг/кг. По мнению авторов, это значение, которое практически в 7 раз больше полученного нами для скелетной

мускулатуры свиней, не представляет опасности для взрослого человека.

По результатам нашего исследования, скелетная мускулатура характеризуется самым высоким соотношением крайних вариант, что свидетельствует о значительном различии содержания стронция у свиней оцениваемой породы по данному показателю. Он же для паренхиматозных органов близко соотносится между ними. Для стронция, как представителя щелочноземельных металлов, характерны некоторые отличительные от тяжелых металлов особенности аккумуляции в организме сельскохозяйственных животных. Нельзя сказать, что рассматриваемый химический элемент максимально сосредоточивается преимущественно в почках и печени, что может быть характерно, например, для некоторых других экологически значимых металлов [35–40].

Размах изменчивости уровня стронция в представленных паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре продемонстрирован на рис. 1. Самым значительным диапазоном варьирования отличаются почки свиней, большая однородность свойственна печени животных. В случае с некоторыми паренхиматозными органами характерно наличие нескольких предельных значений.

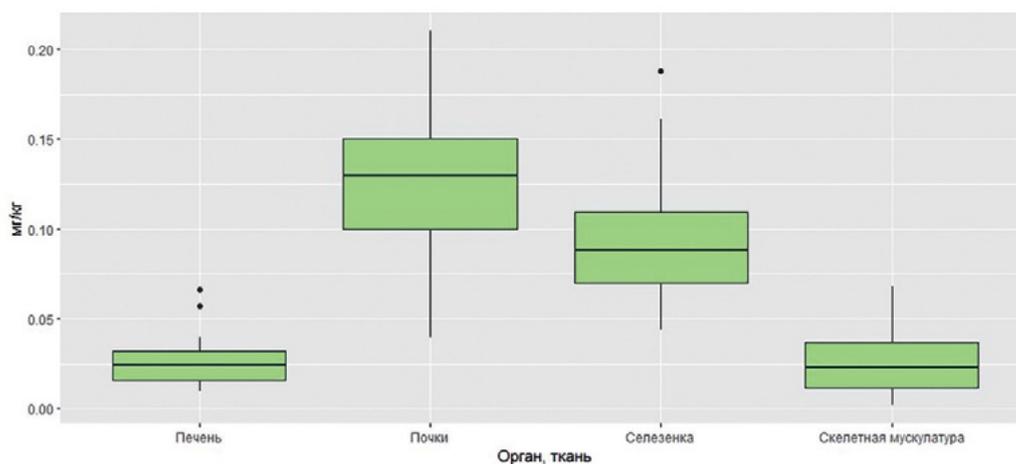


Рис. 1. Размах уровня стронция в органах и тканях свиней породы ландрас

Fig. 1. Range of strontium levels in organs and tissues of Landrace pigs

Значимой характеристикой признака являются показатели его изменчивости. Некоторые из них приведены в табл. 2. Интерквартильный размах является более робастным метрическим

показателем в сравнении со стандартным отклонением, он подтверждает большую однородность уровня стронция в печени и скелетной мускулатуре свиней ландрасской породы.

Таблица 2

Показатели изменчивости стронция в органах и тканях свиней породы ландрас
Indicators of Strontium Variability in Organs and Tissues of Landrace Pigs

Органы и ткани	n	σ	Q1	Q3	IQR
Печень	27	0,013	0,016	0,032	0,016
Почки	17	0,042	0,100	0,150	0,050
Селезенка	26	0,035	0,069	0,110	0,041
Скелетная мускулатура	28	0,018	0,012	0,039	0,028

На рис. 2 показаны полигоны распределения количества стронция в паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре свиней.

Наибольшая трансгрессия характерна для скелетной мускулатуры и печени.

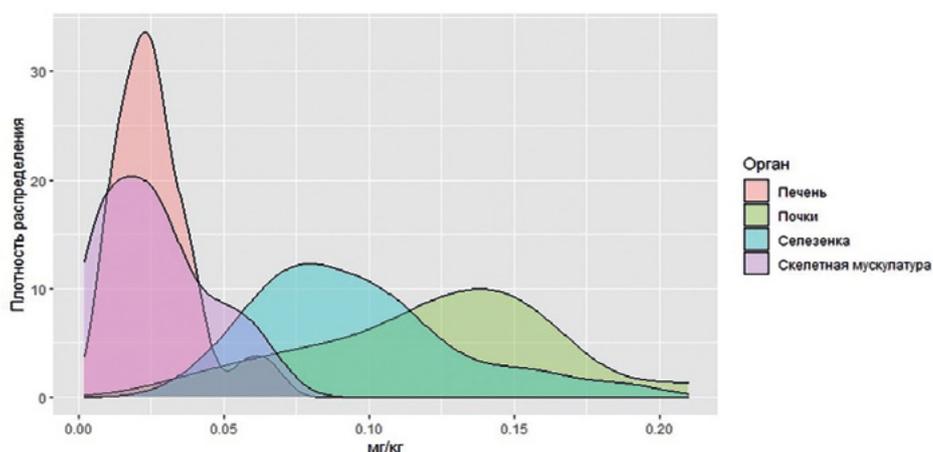


Рис. 2. Плотность распределения аккумуляции стронция в органах и тканях свиней породы ландрас

Fig. 2. Distribution density of strontium accumulation in organs and tissues of Landrace pigs

По причине разного количества наблюдений в каждом из исследованных органов и тканей, ненормальности распределения в одном из случаев, относительно небольшого числа наблюдений в группах оценка влияния места аккумуляции стронция выполнена с использованием тест Краскела-Уоллиса. Применяя данный критерий, выявили значимые различия между исследуемыми структурами организма свиней породы ландрас ($N = 68,9$, $df = 3$, $p < 0,0001$). Попарное сравнение продемонстрировало значимые отличия аккумуляции химического элемента в паре «почки – печень» (Z statistic = $-5,949716$, $p = 0,0000^*$), в почках содержится в 5,4 раза больше стронция. В селе-

зенке концентрация металла в 3,7 раза превышает таковую в печени (Z statistic = $-5,596375$, $p = 0,0000^*$). В скелетной мускулатуре свиней ландрасской породы в 5,7 и 3,9 раза соответственно меньше аккумулируется стронция, чем в почках (Z statistic = $6,116339$, $p = 0,0000^*$) и селезенке (Z statistic = $5,787334$, $p = 0,0000^*$).

На дендрограмме представлены два основных кластера, выделенных по схожести аккумуляции стронция (рис. 3). Первый кластер представлен печенью и скелетной мускулатурой. Второй включает в себя почки и селезенку, здесь металл накапливается значительно, чем в первом случае.

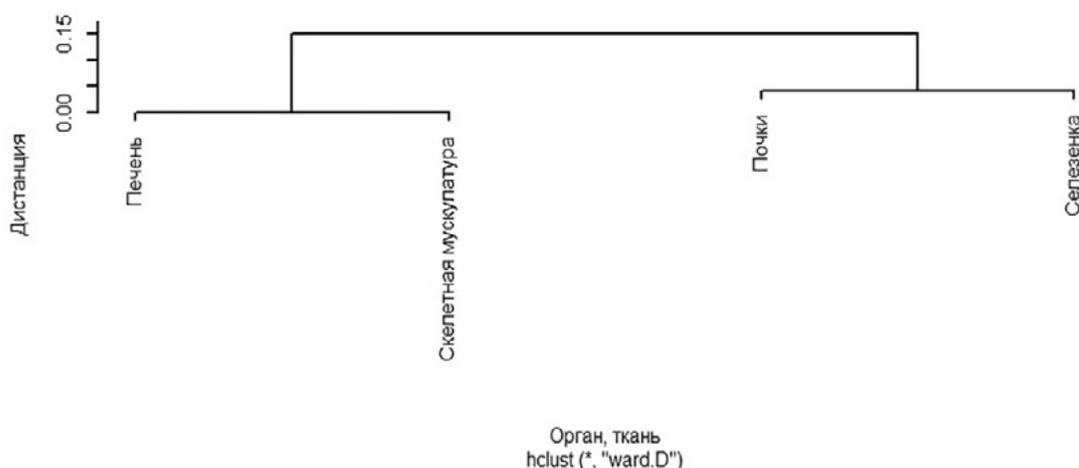


Рис. 3. Кластеризация органов и тканей в соответствии с содержанием стронция

Fig. 3. Clustering of organs and tissues by the content of strontium

Существует необходимость в разработке обоснованных исследованиями нормативов ПДК содержания стронция в почвах, растениеводческой и животноводческой продукции и предельных концентраций поступления металла в организм животных и человека [30].

Для свиней ландрасской породы, выращенных в Западной Сибири, удалось установить предварительные референсные интервалы содержания стронция в некоторых внутренних органах. Для селезенки РИ составил 0,030–0,145 мг/кг (нижний и верхний пределы 90%-го ДИ в для нижней границы РИ соответствуют 0,016–0,125, для верхней – 0,047–0,161, мг/кг). Для печени РИ составляет как 0,004–0,043 мг/кг (нижний и верхний пределы 90% ДИ для нижней границы РИ соответствуют 0,0003... 0,0369 мг/кг, для нижней – 0,009–0,047 мг/кг). Для определения РИ в отношении почек и скелетной мускулатуры нужны дальнейшие исследования.

В агрохимии уделяется внимание кальциево-стронциевому отношению с целью нестандартизованной оценки гигиеническо-

го качества растениеводческой продукции. Ориентировочным пороговым его значением является соотношение 1:140, при показателе 1:80 продукция может расцениваться как гигиенически неполноценная [30]. Мы установили подобный показатель на основании медиан для скелетной мускулатуры и печени свиней как наиболее часто использующихся в пищевом производстве, соотношение составило 1:1833 и 1:1870 соответственно. Предполагается, что данные значения безопасны в отношении здоровья человека, потенциально потребляющего в пищу свиноводческую продукцию, подтверждая то, что растительные источники стронция считаются основными для людей и животных, так как чаще содержат большие уровни металла, чем продукты животного происхождения и питьевая вода [41].

Стронций является малозаметным элементом в научных исследованиях различных областей знаний, практически отсутствует информация о содержании его в сельскохозяйственных продуктах. Тем не менее стабильный стронций по естественным причинам встреча-

ется в пищевой цепи. Его уровни, в том числе в продуктах питания, представляют большой интерес с различных точек зрения [33]. Риск загрязнения стабильным стронцием почв и растений существует на фоне широкого использования в сельском хозяйстве удобрений и мелиорантов, содержащих металл [42]. Необходимо задействовать все возможные ресурсы и технологии для получения экологически безопасной продукции, начиная от воздействия на качество корма, выращивания устойчивых к аккумуляции значимых компонентов окружающей среды пород сельскохозяйственных животных, прижизненной диагностики состава органов и тканей, алгоритмизации относительно химического статуса животных, установления референсных значений этого плана для отдельных территорий и зон. Кроме того, свиньи представляют собой ценность со стороны исследований, связанных с сельским хозяйством, и с точки зрения понимания базовой физиологии, что имеет особое значение для человека.

ВЫВОДЫ

1. Оценен фенофонд клинически здоровых свиней ландрасской породы по содержанию и изменчивости стабильного стронция в скелетной мускулатуре, печени, селезенке и поч-

ках медианы составили соответственно 0,023; 0,024; 0,089 и 0,130 мг/кг в соотношении 1 : 1: 3,9 : 5,7. Определены референсные интервалы для печени (0,004–0,043 мг/кг) и селезенки (0,030–0,145 мг/кг), что можно использовать с целью оценки интерьера животных в условиях Западной Сибири. Наибольшая фенотипическая изменчивость по концентрации стабильного стронция была отмечена для почек.

2. Выявлены отличия в накоплении стабильного стронция между органами и тканями ($H = 68,9$, $df = 3$, $p < 0,0001$) и в парах «почки – печень» (Z statistic = $-5,949716$, $p = 0,0000$), «селезенка – печень» (Z statistic = $-5,596375$, $p = 0,0000$), «скелетная мускулатура – почки» (Z statistic = $6,116339$, $p = 0,0000$) и скелетная мускулатура – селезенка (Z statistic = $5,787334$, $p = 0,0000$), что свидетельствует о выборочной аккумуляции.

3. Зарегистрированы два основных кластера сходства органов и тканей свиней по особенностям накопления стабильного стронция: печень и скелетная мускулатура, почки и селезенка, последний отличается более интенсивным накоплением металла.

4. Кальциево-стронциевое отношение на основании медиан для скелетной мускулатуры свиней составило 1:1833, для печени – 1:1870.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проблемы сельскохозяйственной экологии* / А.Г. Незавитин, В.Л. Петухов, А.Н. Власенко [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 2000. – 255 с.
2. *Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – A review* / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta, G. Motuzova // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 249. – P. 200–207.
3. *Human health and ocean pollution* / P.J. Landrigan, J.J. Stegeman, L.E. Fleming [et al.] // *Annals of Global Health*. – 2020. – Vol. 86, N 1. – P. 151.
4. *Threats to human health and ecosystem: Looking for air-pollution related damage since 1990* / M. Xiaotian, Z. Tianzuo, J. Changxing [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – Vol. 145, N 9. – P. 111146.
5. *Handbook of chemistry and physics* / Ed. by W.M. Haynes. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 2704 p.
6. *Höllriegel V. Other environmental health issues: strontium in the environment and possible human health effects* // *Encyclopedia of Environmental Health*, 2nd ed / Ed. by J. Nriagu. – Oxford: Elsevier, 2019. – P. 797–802.
7. Watts P., Howe P. *Strontium and strontium compounds* / – Geneva: WHO, 2010. – 63 p.
8. *Nielsen S.P. The biological role of strontium* // *Bone*. – 2004. – Vol. 35, N 3. – P. 583–588.
9. *Concentrations and potential health risks of strontium in drinking water from Xi'an, Northwest China* / H. Zhanga, X. Zhoua, L. Wang [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 164. – P. 181–188.
10. *Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain)* / D. Gonzalez-Weller, C. Rubio, A.J. Gutierrez [et al.] // *Food and Chemical Toxicology*. – 2013. – Vol. 62. – P. 856–858.
11. *Зайко О.А. Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук.* – Новосибирск, 2014. – 183 с.

12. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2018. – 126 с.
13. *Нарожных К.Н.* Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2019. – 163 с.
14. *Influence of anthropogenic 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, N.I. Shishin [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, N 9. – P. 1530–1535.*
15. *Изменчивость* показателей азотистого обмена коров черно-пестрой породы в условиях Кузбасса / Е.И. Тарасенко, О.И. Себежко, А.В. Ковалев, И.Н. Морозов // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: V Всерос. (нац.) науч. конф. – Новосибирск, 2020. – С. 256–259.
16. *Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in α 1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich [et al.] // Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018. – Belgrade-Zemun, Serbia, 2018. – P. 47.*
17. *Мармулева Н.И.* Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в продуктах животноводства Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2003. – 170 с.
18. *Баринов Е.Я.* Аккумуляция радионуклидов в кормах Западно-Сибирского региона: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2009. – 125 с.
19. *Cs-137 and Sr-90 level in diary products / V.L. Petukhov, Yu.A. Dukhanov, I.Z. Sevryuk [et al.] // Journal De Physique IV. – 2003. – Vol. 107. – P. 1065–1066.*
20. *Сысо А.И.* Тяжёлые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку // Агрохимия в XXI веке: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти акад. РАН В.Г. Минеева. – М., 2018. – С. 30–33.
21. *Direct determination of cooper, 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. – Vol. 9, N 6. – P. 958–964.*
22. *Gary L.* Defining, establishing, and verifying reference intervals in the clinical laboratory, 3th ed. – Wayne, USA: CLSI, 2010. – 59 p.
23. *Guidelines for the determination of reference intervals (RI) in veterinary species // ASVCP: [сайт]. – URL: https://www.asvcp.org/resource/resmgr/QALS/Other_Publications/RI_Guidelines_For_ASVCP_webs.pdf (дата обращения: 03.04.2023).*
24. *Патент* на изобретение RU 2342659 С1. Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней / В.Л. Петухов, О.А. Желтикова, А.И. Желтиков [и др.]. – Заявка № 2007111437/15 от 28.03.2007; Оpubл. 27.12.2008.
25. *Патент* на изобретение RU 2761031 С1. Способ определения уровня цинка в почках свиней / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, О.И. Себежко [и др.]. – Заявка № 2021101423 от 22.01.2021; Оpubл. 02.12.2021.
26. *Патент* на изобретение RU 2762614 С1. Способ определения уровня железа в печени свиней / О.А. Зайко, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко [и др.]. – Заявка № 2021107856 от 23.03.2021; Оpubл. 21.12.2021.
27. *Патент* на изобретение RU 2791231 С1. Способ определения содержания марганца в печени свиней / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, Т.В. Коновалова [и др.]. – Заявка № 2022109749 от 11.04.2022; Оpubл. 06.03.2023.
28. *Содержание меди в паренхиматозных органах свиней породы ландрас / О. А. Зайко, Т. В. Коновалова, В. Л. Петухов [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4(65). – С. 113–121.*
29. *Зайко О.А., Тарасенко Е.И.* Содержание марганца в некоторых органах и тканях свиней породы ландрас / // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3(64). – С. 102–110.
30. *Лаврищев А.В., Литвинович А.В.* Стабильный стронций в агроэкосистемах / – СПб.: Лань, 2022. – 192 с.

31. *Effect of seasonal variation on mineral nutrient of forage in habitat of Przewalski's gazelle (Procapra przewalskii)* / Y.K. Chi, D.H. Huang, S.Z. Song [et al.] // *Fresenius Environmental Bulletin*. – 2019. – Vol. 28. – P. 1457–1464.
32. *Trace minerals and trace elements* / P.A. Tsuji, J.A. Canter, L.E. Rosso // *Encyclopedia of Food and Health*, Edited by B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá. – Oxford: Academic Press, 2016. – P. 331–338.
33. *Seifert M. Strontium – a current appraisal of human exposure* // *Journal of Elementology*. – 2003. – Vol. 8, N 4. – P. 297–308.
34. *The content of selected metals in muscles of the red deer (Cervus elaphus) from Poland* / M. Skibniewski, E.M. Skibniewska, T. Kośła // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2015. – Vol. 22, N 11. – P. 8425–8431.
35. *Нарожных К.Н., Ефанова Ю.В., Короткевич О.С. Содержание кадмия в некоторых органах и ткани бычков герефордской породы* // *Мир науки, культуры, образования*. – 2012. – № 4(35). – С. 315–318.
36. *Нарожных К., Ефанова Ю., Короткевич О., Петухов В. Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы* // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2013. – № 1. – С. 24–25.
37. *Нарожных К.Н., Ефанова Ю.В., Короткевич О.С. Содержание меди в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы* // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2013. – № 2(27). – С. 73–76.
38. *Зайко О.А. Характеристика интерьера свиной скороспелой мясной породы по содержанию химических элементов в некоторых органах* // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 1. – С. 392.
39. *Григорьева А.А. Содержание тяжелых металлов в органах и мышечной ткани крупного рогатого скота* // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2014. – № 12-1. – С. 29–31.
40. *The content of lead in some organs and tissues of Hereford bull-calves* / K.N. Narozhnyh, Y.V. Efanova, V.L. Petukhov [et al.] // *E3S Web of Conferences : Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment: electronic edition*. Vol. 1. – Rome, Italy: EDP Sciences, 2013. – P. 15003.
41. *Towards a biologically available strontium isotope baseline for Ireland* / C. Snoeck, S. Ryan, J. Pouncett [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 712. – 136248.
42. *Litvinovich A.V., Lavrishchev A.V., Pavlova, O. Yu. The behavior of Ca and Sr in the soil-plant system from liming with a strontium-containing ameliorant* // *Soil-water-plant*. – Serbia, Belgrade: Akademska izdanja, 2013. – P. 17–34.

REFERENCES

1. *Nezavitin A.G., Petukhov V.L., Vlasenko A.N. [i dr.], Problemy sel'skokhozyaistvennoi ekologii (Problems of agricultural ecology)*, Novosibirsk: Nauka. Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN, 2000, 255 p.
2. *Barsova N., Yakimenko O., Tolpeshta I., Motuzova G., Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – A review, Environmental Pollution*, 2019, Vol. 249, pp. 200–207.
3. *Landrigan P.J., Stegeman J.J., Fleming L.E. [et al.], Human health and ocean pollution, Annals of Global Health*, 2020, Vol. 86, No. 1, pp. 151.
4. *Xiaotian M., Tianzuo Z., Changxing J. [et al.], Threats to human health and ecosystem: Looking for air-pollution related damage since 1990, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, Vol. 145, No. 9, pp. 111146.
5. *Handbook of chemistry and physics*, Edited by W.M. Haynes, Boca Raton: CRC Press, 2014, 2704 p.
6. *Höllriegl V., Other environmental health issues: strontium in the environment and possible human health effects, Encyclopedia of Environmental Health*, 2nd ed; Edited by J. Nriagu, Oxford: Elsevier, 2019, pp. 797–802.
7. *Watts P., Howe P., Strontium and strontium compounds*, Geneva: WHO, 2010, 63 p.
8. *Nielsen S.P., The biological role of strontium, Bone*, 2004, Vol. 35, No. 3, pp. 583–588.

9. Zhanga H., Zhoua X., Wang L. [et al.], Concentrations and potential health risks of strontium in drinking water from Xi'an, Northwest China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, Vol. 164, pp. 181–188.
10. Gonzalez-Weller D., Rubio C., Gutierrez A.J. [et al.], Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain), *Food and Chemical Toxicology*, 2013, Vol. 62, pp. 856–858.
11. Zaiko O.A., *Izmenchivost' i korrelyacii ximicheskix elementov v organax i tkanyax svinej skorospeloj myasnoj porody SM-1* (Variability and correlations of chemical elements in organs and tissues of pigs of early maturing meat breed SM-1), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2014, 183 p. (In Russ.)
12. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyatsiya makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroi porody* (Content, variability and correlation of macronutrients in organs and tissues of Black-and-white cattle), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2018, 126 p. (In Russ.)
13. Narozhny`x K.N., *Izmenchivost', korrelyatsiya i uroven` tyazhely`x metallov v organax i tkanyax gerefordskogo skota v usloviyax Zapadnoj Sibiri* (Variability, correlation and level of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in the conditions of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2019, 163 p. (In Russ.)
14. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I. [et al.], Influence of anthropogenic 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, Vol. 9, No. 9, pp. 1530–1535.
15. Tarasenko E.I., Sebezshko O.I., Kovalev A.V., Morozov I.N., *Rol' agrarnoi nauki v ustoichivom razvitiy sel'skikh territorii* (The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas), V All-Russian (National) Scientific Conference, Novosibirsk, 2020, pp. 256–259. (In Russ.)
16. Konovalova T.V., Sebezshko O.I., Korotkevich O.S. [et al.], Correlations of some biochemical and hematological parameters with polymorphisms in α 1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed, *Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018*, Belgrade-Zemun, Serbia, 2018, p. 47.
17. Marmuleva N.I., *Soderzhanie tyazhelykh metallov i radionuklidov v produktakh zhivotnovodstva Zapadnoi Sibiri* (The content of heavy metals and radionuclides in animal products of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2003, 170 p. (In Russ.)
18. Barinov E.Y., *Akkumulyatsiya radionuklidov v kormakh Zapadno-Sibirskogo regiona* (Accumulation of radionuclides in the feedstuffs of the West Siberian region), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2009, 125 p. (In Russ.)
19. Petukhov V.L., Dukhanov Yu.A., Sevryuk I.Z. [et al.], Cs-137 and Sr-90 level in dairy products, *Journal De Physique IV*, 2003, Vol. 107, pp. 1065–1066.
20. Syso A.I., *Agrokimiya v XXI veke* (Agrochemistry in the XXI century), Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with international participation dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences V.G. Mineev, Moscow, 2018, pp. 30–33. (In Russ.)
21. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. [et al.], Direct determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 958–964.
22. Gary L., *Defining, establishing, and verifying reference intervals in the clinical laboratory*, 3th ed, Wayne, USA: CLSI, 2010, 59 p.
23. Guidelines for the determination of reference intervals (RI) in veterinary species, *ASVCP*: https://www.asvcp.org/resource/resmgr/QALS/Other_Publications/RI_Guidelines_For_ASVCP_webs.pdf (date of application: 03.04.2023).
24. Petukhov V.L., Zheltikov A.I., Zheltikova O.A. [i dr.], *Patent na izobretenie RU 2342659 C1, Sposob opredeleniya sodержaniya kadmiya v organakh i myshechnoi tkani svinei*, Zayavka № 2007111437/15 ot 28.03.2007; Opubl. 27.12.2008. (In Russ.)
25. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Sebezshko O.I. [i dr.], *Patent na izobretenie RU 2761031 C1, Sposob opredeleniya urovnya tsinka v pochках svinei*, Zayavka № 2021101423 ot 22.01.2021; Opubl. 02.12.2021. (In Russ.)

26. Zaiko O.A., Konovalova T.V., Sebezsko O.I. [i dr.], *Patent na izobrenie* RU 2762614 C1, Sposob opredeleniya urovnya zheleza v pecheni svinei, Zayavka № 2021107856 ot 23.03.2021; Opubl. 21.12.2021. (In Russ.)
27. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Konovalova T.V. [i dr.], *Patent na izobrenie* RU 2791231 C1, Sposob opredeleniya sodержaniya margantsa v pecheni svinei, Zayavka № 2022109749 ot 11.04.2022; Opubl. 06.03.2023. (In Russ.)
28. Zaiko O.A., Konovalova T.V., Petukhov V.L. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No. 4(65), pp. 113–121. (In Russ.)
29. Zaiko O.A., Tarasenko E.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No. 3(64), pp. 102–110. (In Russ.)
30. Lavrishchev A.V., Litvinovich A.V., *Stabil'nyi strontsii v agroekosistemakh* (Stable strontium in agroecosystems), Saint Petersburg: Lan', 2022, 192 p. (In Russ.)
31. Chi Y.K., Huang D.H., Song S.Z. [et al.], Effect of seasonal variation on mineral nutrient of forage in habitat of Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*), *Fresenius Environmental Bulletin*, 2019, Vol. 28, pp. 1457–1464.
32. Tsuji P.A., Canter J.A., Rosso L.E., Trace minerals and trace elements, *Encyclopedia of Food and Health*, Edited by B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá, Oxford: Academic Press, 2016, pp. 331–338.
33. Seifert M., Strontium – a current appraisal of human exposure, *Journal of Elementology*, 2003, Vol. 8, No. 4, pp. 297–308.
34. Skibniewski M., Skibniewska E.M., Kośła T., The content of selected metals in muscles of the red deer (*Cervus elaphus*) from Poland, *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, Vol. 22, No. 11, pp. 8425–8431.
35. Narozhnyh K.N., Efanova Y.V., Korotkevich O.S., *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, 2012, No. 4(35), pp. 315–318. (In Russ.)
36. Narozhny`x K., Efanova Yu., Korotkevich O., Petukhov V., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2013, No. 1, pp. 24–25. (In Russ.)
37. Narozhny`x K.N., Efanova Yu.V., Korotkevich O.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2013, No. 2(27), pp. 73–76.
38. Zaiko O.A., *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, No. 1, p. 392. (In Russ.)
39. Grigor'eva A.A., *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2014, No. 12-1, pp. 29–31. (In Russ.)
40. Narozhnyh K.N., Efanova Y.V., Petukhov V.L. [et al.], The content of lead in some organs and tissues of Hereford bull-calves, E3S Web of Conferences, Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment: electronic edition. Vol. 1, Rome, Italy: EDP Sciences, 2013, p. 15003.
41. Snoeck C., Ryan S., Pouncett J. [et al.], Towards a biologically available strontium isotope baseline for Ireland, *Science of the Total Environment*, 2020, Vol. 712, 136248.
42. Litvinovich A.V., Lavrishchev A.V., Pavlova O.Yu., The behavior of Ca and Sr in the soil-plant system from liming with a strontium-containing ameliorant, *Soil-water-plant*, Serbia, Belgrade: Akademska izdanja, 2013, pp. 17–34.