

УДК 591.5
AGRIS L20

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/53/24>

ПРИЖИЗНЕННАЯ ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ (ОБЗОР)

- ©*Епимахов В. Г.*, ORCID: 0000-0001-5251-2970, SPIN-код: 9305-7148, канд. биол. наук,
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Россия, epimakhov.vg@gmail.com
- ©*Саруханов В. Я.*, ORCID: 0000-0002-8502-6562, SPIN-код: 6874-4476, канд. биол. наук,
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Россия, sarukhanov.vladimir@yandex.ru

INTRAVITAL ASSESSMENT OF THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE BODY OF FARM ANIMALS (REVIEW)

- ©*Epimakhov V.*, ORCID: 0000-0001-5251-2970, SPIN-code: 9305-7148, Ph.D., Russian Institute
of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia, epimakhov.vg@gmail.com
- ©*Sarukhanov V.*, ORCID: 0000-0002-8502-6562, SPIN code: 6874-4476, Ph.D., Russian Institute
of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia, sarukhanov.vladimir@yandex.ru

Аннотация. С целью предупреждения развития патологических процессов в организме сельскохозяйственных животных является актуальным прижизненное определение содержания тяжелых металлов в органах и тканях. Рассматривается состояние решения данной проблемы. Дано описание различных подходов, позволяющих тестировать у животных содержание тяжелых металлов, оценить и скорректировать экологическую безопасность животноводческой продукции.

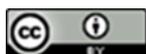
Abstract. In order to prevent the development of pathological processes in the body of farm animals, the intravital determination of the content of heavy metals in organs and tissues is relevant. The state of the solution to this problem is considered. A description is given of various approaches that allow testing the content of heavy metals in animals, assessing and adjusting the environmental safety of livestock products.

Ключевые слова: тяжелые металлы, прижизненное определение, организм, крупный рогатый скот, овцы, свиньи, птица.

Keywords: heavy metals, intravital definition, organism, cattle, sheep, pigs, birds.

Введение

В результате роста антропогенного воздействия наблюдается возрастающее загрязнение окружающей среды геохимическими элементами, в том числе и тяжелыми металлами (ТМ). Накоплению различных загрязняющих веществ в атмосфере, почве и воде способствуют выбросы промышленных предприятий, бытовые и с/х отходы, в которые входят соединения, не имеющие природных разрушителей и обладающие токсическим действием на живые организмы. Это приводит к тому, что значительные площади сельскохозяйственных угодий подвергаются воздействию химических веществ, и по пищевой цепочке значительное количество химических элементов поступает в организм человека. В связи с этим снабжение



населения высококачественными, биологически полноценными и экологически безопасными отечественными продуктами животноводства до сих пор остается актуальной проблемой [1].

Одними из этих химических токсикантов являются кадмий и свинец, которые широко распространены в окружающей среде и СанПиНом отнесены ко 2 классу опасности — «высоко опасные вещества» [2]. Они способны вызывать серьезные патологические изменения при попадании в организм животных и человека.

Главными источниками загрязнения почвы кадмием являются фосфорные удобрения, отходы цветной металлургии, осадки сточных вод. Кадмий нарушает обмен цинка, кальция, фосфора, железа и меди, что приводит к потере аппетита, снижению прироста, анемии, разрушению костной ткани, изменению простаты. Характерными проявлениями кадмиевой интоксикации являются поражение центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, гипертония, почечная недостаточность с протеинурией, цианоз, ринит, бронхопневмония, некротические изменения в гонадах, некроз плаценты и гибель плода [3]. Экспериментально доказано негативное влияние кадмия на рост и развитие животных [4].

Главными источниками загрязнения почв свинцом являются атмосферные выпадения как местного характера (промышленные предприятия, теплоэлектростанции, автотранспорт, добыча полезных ископаемых и др.), так и результаты трансграничного переноса. Для сельскохозяйственных почв имеет значение привнос соединений свинца с минеральными удобрениями (особенно фосфорными), а также вынос вместе с урожаем.

Отравление свинцом наблюдается у сельскохозяйственных животных довольно часто. Животные поражаются в основном на пастбище. Крупный рогатый скот очень чувствителен к свинцу, острая летальная доза составляет 10–100 г ацетата свинца на животное, в то же время ежедневный прием 6–7 мг свинца на 1 кг массы тела приводит к хронической форме отравления.

Установлено, что при загрязнении почв тяжелыми металлами наблюдается их повышенная подвижность в трофической цепи и накопление в животноводческой продукции. Так, концентрация свинца в молоке прямо пропорциональна его содержанию в рационе коров [5].

Существует прямая корреляция между содержанием тяжелых металлов в органах коров и их плодов. В наиболее загрязненных районах повышенное содержание тяжелых металлов выявляется уже у 30-дневных телят, и с возрастом происходит их кумуляция, что приводит к хронической интоксикации животных [6]. Например, у коров в возрасте от трех до восьми лет концентрация Pb возрастает в 9, 2 раза, происходят хронические изменения в печени [7].

Методология подходов к прижизненному определению ТМ в организме животных

Наличие соединений свинца и кадмия нельзя не учитывать производителям мясной, молочной продукции и птицепродуктов. Употребление человеком субпродуктов крупного рогатого скота и других животных, загрязненных свинцом и кадмием, может представлять определенную опасность для здоровья.

Способы определения концентрации токсикантов в пищевом сырье известны, включая мышцы и другие органы, однако определение элементов происходит после забоя животных непосредственно из органов и тканей [8–11].

С целью профилактики патологических процессов и снижения аккумуляции ТМ в конечных продуктах животноводства, прижизненное определение уровня этих ТМ у животных является актуальным для получения экологически безопасной продукции.

Отдельные авторы, рекомендуют для оценки накопления токсических веществ в организме проводить определение их как в моче и крови, так и в волосах или шерстом

покрове [12].

Организм, находясь в динамическом равновесии со средой, постоянно выводит часть поступающих с пищей, водой и воздухом химических элементов: из желудочно-кишечного тракта — с калом, из крови — с мочой, желчью, потом, молоком, а оставшуюся часть аккумулирует посредством депонирования в органах, костной ткани, коже, волосе и копытном роге. Многие ученые считают для прижизненного определения концентрации тяжелых металлов в организме оценка их содержания в волосе или шерсти является наиболее информативным тестом по отношению к другим, имеющим разную степень распространенности — кровь, моча, слеза, экспират, костная ткань, зубы и копыта [13].

Известно, что при химическом анализе состава волос можно проследить воздействие и динамику накопления ТМ у человека и животных [14]. Например, в шерстном покрове крупного рогатого скота, выращенного в незагрязненных свинецсодержащими соединениями регионах, концентрация соединений свинца составляет от 1,0 мг/кг до 4,0 мг/кг, тогда как в загрязненных данным поллютантом местностях она достигает от 60,0 мг/кг до 96,0 мг/кг [15]. Следовательно, степень загрязнения шерстного покрова животных соединениями ТМ может являться одним из основных показателей степени загрязнения внутренней среды биологического организма, так и опосредованно может служить показателем экологического неблагополучия окружающей среды.

В работе [16] предпринята попытка, установить в экспериментальных условиях на овцах динамику накопления соединения свинца в шерстном покрове, а также зависимость между накоплением соединений свинца в шерстном покрове и внутренних органах и тканях. Для установления связи была проведена биометрическая обработка полученных данных. При этом руководствовались обстоятельством, что исследуемый биологический материал (шерсть) связан со скоростью роста. При помощи линейного регрессионного анализа было выведено эмпирическое уравнение изменения концентрации соединений свинца в мышечной ткани в зависимости от концентрации Pb в шерстном покрове:

$$S_{\text{мышечная ткань}}(\text{Pb}) = 0,014 \times S_{\text{шерсть}}(\text{Pb}) + 0,019$$

Так, если концентрация соединений свинца в шерстном покрове в какой-то момент составляет 2,867 мг/кг, то ожидаемая концентрация соединений свинца в мышцах овец составит 0,059 мг/кг, что близко к экспериментально найденному значению — 0,056 мг/кг.

Результаты проведенного исследования показали, что содержание соединений свинца в большинстве органов и тканей организма овец находится в значительной и средней положительной связи с содержанием соединений свинца в шерстном покрове. Поэтому анализ шерстного покрова и внутренних органов и тканей овец может служить достаточно объективным показателем количественного содержания соединений свинца в организме.

Эти выводы являются чрезвычайно важными как для экологической токсикологии научного направления, так и для практической ветеринарной деятельности. Они позволяют прижизненно выработать представления о количественной оценке содержания соединений свинца в органах и тканях по результатам определения их в шерсти. И, таким образом, решать вопрос о сроках убоя животных с учетом времени частичного выведения ТМ из организма.

С целью установления связи между количеством соединений свинца и кадмия в печени и крови крупного рогатого скота разного возраста проведено исследование и выполнена биометрическая обработка полученных данных [17]. Использование корреляционного анализа показало значительную положительную связь между содержанием свинца в крови и

печени животных в возрасте от 3-х до 8 лет, где коэффициент корреляции равен 0,976, а в возрасте от 1 до 3-х лет — 1,258. Так же тесная положительная связь установлена между содержанием кадмия в крови и печени, где коэффициент корреляции составляет у животных в возрасте от 3-х до 8 лет — 0,61 и у животных до года — 1,000.

При помощи линейного регрессионного анализа удалось выяснить отношение содержания свинца в печени к содержанию его в крови, которое равно у животных до года — 0,55, у животных от 1 до 3-х лет — 1,276 и у животных от 3-х до 8 лет — 1,682. Это дает возможность достаточно точно определить ожидаемое содержание свинца и кадмия в печени крупного рогатого скота на основании содержания их в крови, т.е. при жизни животного и, таким образом, решить вопрос о сроках убоя животного в случае хронической интоксикации.

Концентрация и содержание макроэлементов в шерсти животных является интегральным показателем минерального обмена организма, что позволяет использовать их анализ для раннего обнаружения патологических процессов, происходящих в организме [18]. На этой информации основан способ прижизненного определения содержания свинца в органах крупного рогатого скота [19]. Способ заключается в том, что в волосе животного определяют содержание калия и меди методом атомно-эмиссионной спектрометрии. После чего, используя уравнение регрессии, прижизненно неинвазивным способом по показателю концентрации калия $S_{\text{калий}}$ определяют содержание свинца в печени $S_{\text{печень}}$ и почках $S_{\text{почки}}$ животных, а по концентрации меди $S_{\text{медь}}$ определяют содержание свинца в печени $S_{\text{печень}}$ и селезенке $S_{\text{селезенка}}$.

$$\begin{aligned} S_{\text{печень}}(\text{Pb}) &= -3,0644 + 0,5069 \times C_{\text{медь}}, & S_{\text{селезенка}}(\text{Pb}) &= -0,0571 + 0,0122 \times C_{\text{медь}}, \\ S_{\text{печень}}(\text{Pb}) &= -1,3619 + 0,0276 \times C_{\text{калий}}, & S_{\text{почки}}(\text{Pb}) &= 0,0195 + 0,0005 \times C_{\text{калий}}, \end{aligned}$$

Такой же подход используется для оценки содержания свинца во внутренних органах свиней, который производится по уровню Fe, Zn, Cu, Pb, Cd и Mn в щетине [20]. Для этого у свиней в области лопатки состригается щетина (0,2 г) и в ней определяется содержание одного или нескольких из вышеназванных элементов. По уровню одного или нескольких из нижеприведенных элементов Fe, Zn, Cu, Pb, Cd определяется концентрация Pb в печени, по концентрации Fe — в легких и в селезенке, а по Mn или Fe — в легких. Наиболее информативным показателем для определения уровня свинца в органах свиней является концентрация железа в щетине.

Для определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней проводят химический анализ копытного рога свиней методом атомно-абсорбционной спектрометрии [21]. Для определения содержания Cd в мышечной ткани, сердце, печени и почках определяют в копытном роге концентрацию Mn. Для оценки содержания кадмия в легких определяют в копытном роге концентрацию Mn и/или K. Содержания в селезенке только концентрацию K. Недостатком является сложность взятия образцов копытного рога и подготовки их для исследования на содержание химических элементов.

Для его устранения и обеспечения точности определения кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота при жизни животного, предложен и используется подход, характеризующийся простотой и удобством способа. Включает химический анализ сыворотки крови методами атомно-эмиссионной спектрометрии и атомно-абсорбционной спектрофотометрии, определение в сыворотке крови концентрации (C) одного или нескольких элементов, выбираемых из Ba, P, Zn, Rb, и использование следующих уравнений регрессии [22]:

$$S_{\text{мышечная ткань}}(\text{Pb}) = 0,0092 + 0,00011 \times C_{\text{барий}}, S_{\text{мышечная ткань}}(\text{Pb}) = 0,0342 - 0,00015 \times C_{\text{фосфор}}, \\ S_{\text{мышечная ткань}}(\text{Pb}) = 0,0233 - 0,0000118 \times C_{\text{цинк}}, S_{\text{мышечная ткань}}(\text{Pb}) = 0,0209 - 0,0000262 \times C_{\text{рубидий}},$$

Способы определения кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота и свиней имеют свои минусы. Недостатком первого метода является нестабильность химического состава крови, а второй метод предложен для животных другого вида. При этом оба метода трудоемки для взятия образцов.

В отличие от них предложен способ оценки степени аккумуляции кадмия в печени крупного рогатого скота, который заключается в том, что определяют концентрацию марганца $C(\text{Mn})$ в волосе, взятом от живых животных, методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой [23]. Для определения кадмия в печени ($C_{\text{печень}}$, мг/кг) используют уравнение регрессии:

$$C_{\text{печень}}(\text{Cd}) = -0,00009 \times C(\text{Mn}) + 0,1473,$$

Способ позволяет провести определение содержания кадмия точным, атравматичным и неинвазивным методом.

Известен способ определения содержания в теле птиц тяжелых металлов по их концентрации в перьях [24–25]. Способ основан на том, что содержание тяжелых металлов в оперении птиц коррелирует с их содержанием в местах обитания. На этой основе возможен контроль техногенного загрязнения территории и организма птиц, его различных органов и тканей. Для этого перья анализируют атомно-абсорбционным или другими методами и определяют концентрацию в них различных химических элементов.

Недостаток данного подхода связывают с тем, что перья медленно в процессе их роста и метаболического обмена с телом птицы аккумулируют тяжелые металлы и другие химические элементы.

По этой причине предложен другой способ, который основан на аккумуляции тяжелых металлов жировым покрытием перьев водоплавающих птиц [26]. Поскольку водоплавающие птицы постоянно смазывают перья жировыми выделениями копчиковой железы, то концентрация химических элементов в теле и жировом покрытии находится в тесной связи. Для реализации способа используется перо птицы, у которой требуется определить содержание в теле тяжелых металлов. Чтобы исключить возможное влияние случайных загрязнителей, находящихся на поверхности пера, его подвергают промыванию в дистиллированной воде. После перо разделяют на две части, с одной из которых жир удаляют растворителем. Обе части перьев отдельно минерализуют и анализируют атомно-абсорбционным или другим методом на содержание тяжелых металлов.

К недостатку этого способа относится отсутствие зависимости уровней накопления тяжелых металлов во внутренних органах и тканях птиц от содержания тяжелых металлов в организме.

Данная задача решается на основании наличия связи между концентрацией химических элементов в перьевом покрове птиц для прижизненного определения уровней накопления свинца и кадмия в костях, печени, почках и сердце птиц [27]. Для оценки содержания ТМ в указанных органах и тканях используются регрессионные зависимости.

Заключение

Таким образом, показано, что задача прижизненного определения накопления тяжелых металлов в мышечной ткани, которая является основной составной частью мяса — важнейшего продукта питания человека, в других органах крупного рогатого скота, свиней и птицы, является актуальной проблемой в агросфере. Открывающиеся возможности тестировать у сельскохозяйственных животных организм на содержание токсикантов позволяют оценить и скорректировать экологическую безопасность животноводческой продукции.

Представленные способы вызывают минимальный уровень стресса у животных, обеспечивают неинвазивность отбора проб, удобство при их хранении и транспортировке.

Дальнейшее развитие прижизненного определения содержания ТМ в органах и тканях животных связано с достижением технического результата, направленного на обеспечение повышения точности результатов, отсутствия стресса у животных при отборе проб, безболезненности, исключения риска инфицирования, простоты и удобства при проведении анализа.

Список литературы:

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А. и др. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. С. 48-67.
2. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 2.1.4.1074-01. Введ. 2002-01-01. М.: Минздрав России, 2002. С. 6.
3. Фокина В. Д., Покровская С. Ф. Влияние загрязнения окружающей среды на сельскохозяйственных и диких животных. М., 1981. С. 26-28.
4. Anke M. et al. Cadmium in der Nahrungskette von Tier und Mensch-Toxizität und Essentialität // Anwendung und Bedeutung ausgewählter Spurenelemente und Mineralstoffe in der Medizin. 2009. V. 3. P. 126.
5. Ненашев Р. А., Калиниченко С. А., Яночкин И. В. Влияние различных видов кормов на содержание тяжелых металлов в рационе и молоке коров // Зоотехническая наука Белоруссии. 2006. Т. 41. С. 272-277.
6. Шкуратова И. А., Донник И. М., Верещак Н. А. Накопление тяжелых металлов у крупного рогатого скота в онтогенезе в условиях техногенного загрязнения // Аграрная 30 наука Евро-Северо-Востока. 2008. №11. С. 200-203.
7. Летувнинкас А. И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда. Томск, 2002. С. 122-221
8. ГОСТ 26932-86. Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца. М.: Госстандарт России, 1986, С. 1-7.
9. ГОСТ Р 51301-99. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсических элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). М.: Госстандарт России, 1999. С.7-13.
10. ГОСТ 30538-97. Продукты пищевые. Методика определения токсических элементов атомно-эмиссионным методом. М.: Госстандарт России, 1997. С. 10- 21.
11. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсических элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). М.: Госстандарт России, 1994. С. 2-7.

12. Teisinger J. Biochemical responses to provocative chelation by edetate disodium calcium // Archives of Environmental Health: An International Journal. 1971. V. 23. №4. P. 280-283. <https://doi.org/10.1080/00039896.1971.10666000>
13. Скальный А. В., Есенин А. В. Мониторинг и оценка риска воздействия свинца на человека и окружающую среду с использованием биосубстратов человека // Токсикологический вестник. 1996. №6. С. 16-23.
14. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. С. 473-479.
15. Dorn C. R. et al. Cadmium, copper, lead and zinc in blood, milk, muscle and other tissues of cattle from an area of multiple-source contamination // Trace Subst. Environ. Health;(United States). 1973. V. 7. №CONF-730613.
16. Колесников В. А. Эколого-токсикологические аспекты воздействия соединений свинца на биологические объекты: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2003. 36 с.
17. Уша Б. В., Андрианова Т. Г., Фофана Л. Прижизненная диагностика накопления свинца и кадмия в печени крупного рогатого скота // Актуальные проблемы ветеринарной медицины: II-я международная научно-практическая конференция. М., 1997. 30 с.
18. Скальный А. В., Лакарова Е. В., Кузнецов В. В., Скальная М. Г. Аналитические методы в биоэлементологии. СПб.: Наука, 2009. С. 22-28.
19. Способ определения содержания свинца в органах крупного рогатого скота: пат. 2421726. Рос Федерация: МПК G 01N 33/48.
20. Способ определения содержания свинца в органах свиней: пат. 2285920. Рос Федерация: МПК G 01N 33/48.
21. Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней: пат. 2342659. Рос. Федерация: МПК G 01N 33/50.
22. Способ определения содержания кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота: пат. 24246119. Рос. Федерация: МПК G 01N 33/48.
23. Способ определения содержания кадмия в печени крупного рогатого скота: пат. 2591825. Рос. Федерация: МПК G 01N 33/48.
24. Лебедева Н. В. Экоотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц. М.: Наука, 1999.
25. Добровольская Е. В. Тяжелые металлы в оперении птиц как природная метка // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения: материалы международной конференции. Киров. 2004. 122-124.
26. Способ определения содержания тяжелых металлов и эссенциальных элементов в теле водоплавающих птиц и водоемах: пат. 2405142. Рос. Федерация: МПК G 01N 33/12
27. Способ прижизненного определения содержания свинца и кадмия в организме птиц: пат. 18483. Рес. Беларусь: МПК G 01N 33/00.

References:

1. Avtsyn, A. P., Zhavoronkov, A. A., & Rish, M. A. (1991). Mikroelementozy cheloveka. Moscow, 48-67.
2. Pit'vaya voda (2002). Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva: SanPiN 2.1.4.1074-01. Vved. 2002-01-01. Moscow, 6.
3. Fokina, V. D., & Pokrovskaya, S. F. (1981). Vliyanie zagryazneniya okruzhayushchei sredy na sel'skokhozyaistvennykh i dikikh zhivotnykh. Moscow, 26-28.



4. Anke, M., Müller, R., Schäfer, U., & Zerull, J. (2009). Cadmium in der Nahrungskette von Tier und Mensch-Toxizität und Essentialität. *Anwendung und Bedeutung ausgewählter Spurenelemente und Mineralstoffe in der Medizin*, 3, 126.
5. Nenashev, R. A., Kalinichenko, S. A., & Yanochkin, I. V. (2006). Vliyanie razlichnykh vidov kormov na sodержanie tyazhelykh metallov v ratsione i moloke korov. *Zootekhnicheskaya nauka Belorussii*, 41, 272-277.
6. Shkuratova, I. A., Donnik, I. M., & Vereshchak, N. A. (2008). Nakoplenie tyazhelykh metallov u krupnogo rogatogo skota v ontogeneze v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya. *Agrarnaya 30 nauka Evro-Severo-Vostoka*, (11), 200-203.
7. Letuvninkas, A. I. (2002). Antropogennye geokhimicheskie anomalii i prirodnyaya sreda. Tomsk, 122-221
8. GOST 26932-86. (1986). Syr'e i produkty pishchevye. Metody opredeleniya svintsya. Moscow, 1-7.
9. GOST R 51301-99. (1999). Produkty pishchevye i prodovol'stvennoe syr'e. Inversionno-vol'tampermetricheskie metody opredeleniya sodержaniya toksicheskikh elementov (kadmiya, svintsya, medi i tsinka). Moscow, 7-13.
10. GOST 30538-97. (1997). Produkty pishchevye. Metodika opredeleniya toksicheskikh elementov atomno-emissionnym metodom. Moscow, 10- 21.
11. GOST 26929-94. (1994). Syr'e i produkty pishchevye. Podgotovka prob. Mineralizatsiya dlya opredeleniya sodержaniya toksicheskikh elementov (kadmiya, svintsya, medi i tsinka). Moscow, 2-7.
12. Teisinger, J. (1971). Biochemical responses to provocative chelation by edetate disodium calcium. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 23(4), 280-283. <https://doi.org/10.1080/00039896.1971.10666000>
13. Skal'nyi, A. V., & Esenin, A. V. (1996). Monitoring i otsenka riska vozdeistviya svintsya na cheloveka i okurzhayushchuyu sredu s ispol'zovaniem biosubstratov cheloveka. *Toksikologicheskii vestnik*, (6), 16-23.
14. Oberlis, D., Kharland, B., & Skalnyi, A. (2008). Biologicheskaya rol' makro- i mikroelementov u cheloveka i zhivotnykh. St. Petersburg, 473-479.
15. Dorn, C. R., Pierce, J. O., Chase, G. R., & Phillips, P. E. (1973). Cadmium, copper, lead and zinc in blood, milk, muscle and other tissues of cattle from an area of multiple-source contamination. *Trace Subst. Environ. Health;(United States)*, 7(CONF-730613).
16. Kolesnikov, V. A. (2003). Ekologo-toksikologicheskie aspekty vozdeistviya soedinenii svintsya na biologicheskie ob'ekty: autoref. Dr. diss. Krasnoyarsk.
17. Usha, B. V., Andrianova, T. G., & Fofana, L. (1997). Prizhiznennaya diagnostika nakopleniya svintsya i kadmiya v pecheni krupnogo rogatogo skota. *In Aktual'nye problemy veterinarnoi meditsiny: II-ya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*, Moscow. 30.
18. Skalnyi, A. V., Lakarova, E. V., Kuznetsov, V. V., & Skalnaya, M. G. (2009). Analiticheskie metody v bioelementologii. St. Petersburg, 22-28.
19. Sposob opredeleniya sodержaniya svintsya v organakh krupnogo rogatogo skota: pat. 2421726. Ros Federatsiya: MPK G 01N 33/48.
20. Sposob opredeleniya sodержaniya svintsya v organakh svinei: pat. 2285920. Ros Federatsiya: MPK G 01N 33/48.
21. Sposob opredeleniya sodержaniya kadmiya v organakh i myshechnoi tkani svinei: pat. 2342659. Ros. Federatsiya: MPK G 01N 33/50.



22. Sposob opredeleniya sodержaniya kadmiya v myshechnoi tkani krupnogo rogatogo skota: pat. 24246119. Ros. Federatsiya: MPK G 01N 33/48.

23. Sposob opredeleniya sodержaniya kadmiya v pecheni krupnogo rogatogo skota: pat. 2591825. Ros. Federatsiya: MPK G 01N 33/48.

24. Lebedeva, N. V. (1999). Ekotoksikologiya i biogeokhimiya geograficheskikh populyatsii ptits. Moscow.

25. Dobrovolskaya, E. V. (2004). Tyazhelye metally v operenii ptits kak prirodnyaya metka. *In Pishchevye resursy dikoi prirody i ekologicheskaya bezopasnost' naseleniya: materialy mezhdunarodnoi konferentsii*, Kirov, 122-124.

26. Sposob opredeleniya sodержaniya tyazhelykh metallov i essentsial'nykh elementov v tele vodoplavayushchikh ptits i vodoemakh: pat. 2405142. Ros. Federatsiya: MPK G 01N 33/12

27. Sposob prizhiznennogo opredeleniya sodержaniya svintsya i kadmiya v organizme ptits: pat. 18483. Res. Belarus: MPK G 01N 33/00.

*Работа поступила
в редакцию 27.02.2020 г.*

*Принята к публикации
03.03.2020 г.*

Ссылка для цитирования:

Епимахов В. Г., Саруханов В. Я. Прижизненная оценка накопления тяжелых металлов в организме сельскохозяйственных животных (обзор) // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №4. С. 205-213. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/53/24>

Cite as (APA):

Epimakhov, V., & Sarukhanov, V. (2020). Intravital Assessment of the Accumulation of Heavy Metals in the Body of Farm Animals (Review). *Bulletin of Science and Practice*, 6(4), 205-213. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/53/24> (in Russian).