ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2412
https://elibrary.ru/APJYYJ

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Пути поступления микроэлементов в организм обыкновенного павлина *Pavo cristatus*

А. П. Каледин[1], М. В. Степанова[2,*], В. А. Остапенко[3]

[1] *Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия*

[2] *Российский биотехнологический университет, Москва, Россия*

[3] *Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия*

Поступила в редакцию: 10.09.2022
Принята после рецензирования: 10.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

М. В. Степанова: stepanova-marina@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-0041-1091
А. П. Каледин: https://orcid.org/0000-0002-1769-5043

© А. П. Каледин, М. В. Степанова, В. А. Остапенко, 2023

Аннотация.
Урбанизация и антропогенное воздействие на окружающую среду приводит к загрязнению экосистем, в том числе городских, химическими элементами. В биомониторинговых исследованиях окружающей среды птицы являются наиболее подходящим индикатором загрязнения поллютантами. Цель исследования заключалась в изучении путей поступления микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, в организм обыкновенного павлина *Pavo cristatus*.
Исследование проводилось с 2018 по 2022 гг. на микропопуляциях физиологически здоровых особей обыкновенного павлина, содержащихся в трех зоопарках (г. Москва, г. Иваново, г. Ярославль). Объектами исследования являлись перья павлина (n = 33), компоненты рациона питания (n = 303), питьевая вода (n = 94), почва (n = 123) и снег (n = 204). Исследования по определению микроэлементов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-2АТ.
Вариабельность концентрации микроэлементов в исследуемой выборке особей составила, %: Zn – 73,9, Cu – 94,3, Fe – 111,6, Pb – 150,0, Cd – 136,88 и As – 203,87. Средние уровни накопления элементов в биосредах убывают в ряду Fe > Zn > Cu > Pb > Cd > As. Анализ рационов питания павлинов, организованных на базе зоологических учреждений Москвы, Иваново и Ярославля, показал, что Zn поступает 11,35, 6,60 и 2,50 мг; Cu – 2,29, 0,75 и 0,41 мг; Fe – 55,83, 30,54 и 6,78 мг; Pb – 0,14, 0,18 и 0,01 мг; Cd – 0,02, 0,01 и 0,005 мг; As – 0,04, 0,02 и 0,002 мг соответственно. Если особь полностью съедает весь выданный корм, то ориентировочное общее суточное поступление Zn от дневной нормы потребления элемента составляет 16,7–75,7 %, Cu – от 13,7 до 76,3 %, Fe – от 48,4 до 398,79 %. Pb, Cd и As поступают с рационами в пределах суточной нормы. Основной путь поступления Zn, Cu, Fe в Ярославле и Cd – пероральный, Fe в Москве и Иваново, As и Pb в Москве – ингаляторный.
В ходе анализа многомаршрутной и многосредовой экспозиции микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, при поступлении в организм птиц было установлено, что уровень концентрации эссенциальных микроэлементов в биосредах определяется их поступлением с пищей. Накопление организмом птиц Fe (в Москве и Иваново) и As (на всех территориях исследования) связано с их поступлением из почвенного покрова, т. к. в депонирующей среде обнаружен высокий уровень содержания данных эссенциальных микроэлементов. Наибольшее воздействие на организм птиц оказывает валовое содержание Pb в почве Москвы и питьевой воде Ярославля и Иваново. Снежный покров оказывал наименьшее воздействие на элементный статус биосред павлинов.

Ключевые слова. Биосреды, микроэлементы, тяжелые металлы, мышьяк, миграция, депонирующие среды, продукты, загрязнение

Финансирование. Работа выполнена на базе кафедры биоэкологии и биологической безопасности Российского биотехнологического университета (РОСБИОТЕХ).

Для цитирования: Каледин А. П., Степанова М. В., Остапенко В. А. Пути поступления микроэлементов в организм обыкновенного павлина *Pavo cristatus* // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 1. С. 25–37. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2412

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2412
https://elibrary.ru/APJYYJ

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Trace Elements in Indian Peafowl (*Pavo cristatus*): Exposure Routes

Anatoly P. Kaledin[1], Marina V. Stepanova[2,*], Vladimir A. Ostapenko[3]

[1] *Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia*

[2] *Russian Biotechnological University, Moscow, Russia*

[3] *Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia*

Received: 10.09.2022
Revised: 10.10.2022
Accepted: 08.11.2022

**Marina V. Stepanova: stepanova-marina@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-0041-1091*
Anatoly P. Kaledin: https://orcid.org/0000-0002-1769-5043

© A.P. Kaledin, M.V. Stepanova, V.A. Ostapenko, 2023

Abstract.
Urbanization leads to chemical pollution. Contaminants accumulate in feed and enter animal body through digestive tract. Numerous studies have established that the level of mineral content in the environment reflects the technogenic load on the territory and is transmitted in the system through products of plant and animal origin, which can be used to prevent and correct elementoses.
This research featured feathers of Indian peafowls *Pavo cristatus* (n = 33), diet components (n = 303), their drinking water (n = 94), soil (n = 123), and snow (n = 204). The micro-elemental profile was defined using an atomic absorption spectrometer. The samples were obtained from zoological institutions of Moscow, Ivanovo, and Yaroslavl.
As for the feathers, the average Zn accumulation level was 122.74 ± 9.64 mg/kg, Cu – 5.36 ± 0.05 mg/kg, Fe – 508.06 ± 56.84 mg/kg, Pb – 6.75 ± 1.13 mg/kg, Cd – 1.65 ± 0.26 mg/kg, and As – 0.61 ± 0.23 mg/kg. The variability of the concentration of microelements in the sample was as follows, %: Zn – 73.9, Cu – 94.3, Fe – 111.6, Pb – 150.0, Cd – 136.88, and As – 203.87. The average levels of accumulation of elements in the biological media decreased in the following order: Fe > Zn > Cu > Pb > Cd > As. The share of Zn in the total of all determined elements was 0.7–48.0%, Cu – 0.04–2.8%, Fe – 46.2–92.8%, Pb – 0–2.5%, Cd – 0–2.5%, and As – 0–4.6%. The diet analyses showed the following results for Moscow, Ivanovo, and Yaroslavl, respectively: Zn – 11.35, 6.60, and 2.50 mg; Cu – 2.29, 0.75, and 0.41 mg; Fe – 55.83, 30.54, and 6.78 mg; Pb – 0.14, 0.18, and 0.01 mg; Cd – 0.02, 0.01, and 0.005 mg; As – 0.04, 0.02, and 0.002 mg. If the birds consumed all the food they received, the approximate total daily intake of the selected essential microelements Zn was 16.7–75.7% of the recommended daily intake, Cu – 13.7–76.3%, and Fe – 48.4–398.79%. Pb, Cd and As stayed within the daily norm. The oral route of intake was registered for Zn, Cu, and Fe in Yaroslavl and for Cd in all samples. Inhalation was registered as the main route of intake for Fe in Moscow and Ivanovo, as well as for As and Pb in Moscow. The highest intake of Pb was registered in Ivanovo and Yaroslavl.
The analysis revealed the multi-route and multi-environment exposure of urban birds to microelements, including heavy metals. The level of concentration of essential microelements in the biological media depended on the diet. Fe in Moscow and Ivanovo and As in all the samples came from the soil cover, which had a high content of these elements. The gross content of Pb in the soil samples from Moscow and the drinking water from Yaroslavl and Ivanovo demonstrated the greatest impact on the avian organism. The snow samples had the least effect on the elemental status of the bioenvironments.

Keywords. Biological media, trace elements, heavy metals, arsenic, migration, deposit media, products, pollution

Funding. The research was performed on the premises of the Department of Bioecology and Biological Safety of the Russian Biotechnological University (BIOTECH University).

For citation: Kaledin AP, Stepanova MV, Ostapenko VA. Trace Elements in Indian Peafowl (*Pavo cristatus*): Exposure Routes. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(1):25–37. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2412

Введение

В результате антропогенного воздействия в окружающую среду постоянно попадают поллютанты, поэтому глобальное загрязнение экосистем вызывает обеспокоенность мирового сообщества [1–8]. Исследования элементного состава проводятся в депонирующих средах, объектах окружающей среды и продуктах питания [9–13]. Из-за постоянного увеличения урбанизации и связанных с ней промышленных процессов загрязнение химическими элементами может стать основной экологической проблемой в городской среде [4, 9, 14–16].

В последние десятилетия птицы и млекопитающие стали успешно применяться в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды поллютантами из-за их широкого распространения и часто высокого трофического уровня [9, 15]. Поэтому определение концентраций микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, в различных тканях и продукции разных видов птиц (например, в крови, перьях, печени, почках, мышцах, яйцах, фекалиях и т. д.) широко применяется в биомониторинговых исследованиях [17–20].

Кумуляция контаминантов в кормах оказывает влияние на уровень содержания веществ в организме животных, т. к. основная доля элементов поступает в организм алиментарным путем [21, 22]. Многочисленными исследованиями установлено, что уровень содержания минеральных веществ в окружающей среде отражает техногенную нагрузку на территорию и передается в системе через продукцию растительного и животного происхождения, которую можно применять для профилактики и коррекции элементозов [23, 24]. Однако недостаточно уделять внимание только полиэлементному составу компонентов рациона питания. Необходимо проводить исследования комплексного характера загрязнений с учетом взаимного влияния тяжелых металлов, определения их миграции и негативного влияния повышенных концентраций в природе. Помимо уровня содержания токсичных элементов, необходимо контролировать содержание эссенциальных элементов, т. к. они играют роль в обеспечении жизнедеятельности организмов [24–27].

Цель данного исследования – изучение путей поступления микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, в организм обыкновенного павлина *Pavo cristatus*.

Объекты и методы исследования

Исследование проведено в 2018–2022 гг. на представителях семейства фазановые (*Phasianidae*), содержащихся в Московском зоологическом парке, располагающемся около Садового кольца между улицами Красная Пресня, Большая Грузинская и Зоологическая, в Ивановском зоопарке, находящемся на улице Рабфаковская Фрунзенского района г. Иваново – областного центра с удовлетворительной экологической ситуацией и развитой текстильной промышленностью, но плохим экологическим состоянием естественных водных объектов, и в Ярославском зоопарке, расположенном в Заволжском районе г. Ярославля – крупного промышленного и транспортного центра, который характеризуется высокой антропогенной нагрузкой на атмосферный воздух, поверхностные водные объекты и почвенный покров, с развитым нефтеперерабатывающим, химическим, машиностроительным и теплоэнергетическим комплексом (в районе располагается мусоросжигающий завод).

Исследования выполнены на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-2АТ на микропопуляциях физиологически здоровых животных вида обыкновенный павлин *Pavo cristatus*. Все животные находились в половозрелом возрасте. Отбор образцов перьев всех типов осуществлялся со всего тела массой пробы не менее 10 г. Пробы очищались и обезжиривались ацетоном и бидистиллированной водой в течение двух суток. Производилось мокрое кислотное озоление на электроплитке, а затем в муфельной печи с постепенным повышением температуры от 250 до 450 °C с получасовой выдержкой. Всего было отобрано 33 пробы и выполнено 198 измерений химических элементов. В пробах проводилась оценка уровня содержания микроэлементов и тяжелых металлов – цинка, меди, железа, кадмия, свинца и мышьяка.

Кроме этого, проводилось исследование уровня содержания исследуемых микроэлементов в объектах окружающей среды и рационах питания. Отбор питьевой воды осуществляли в районах постоянного содержания животных в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56237-2014 (ИСО 5667-5:2006). Качество питьевой воды оценивалось в соответствии с требованиям ГОСТ Р 51232-98 и СанПиН 2.1.4.1074-01. Для исследования воды на предмет содержания в ней микроэлементов необходимо наличие 1 л пробы воды после 15 мин спуска при полном открытии крана. Срок хранения проб 72 ч. Проанализировано 94 пробы.

Отбор и хранение проб компонентов рациона питания животных проводили в соответствии с МосМР 2.3.2.006-03. Проанализировано 303 пробы.

Снег отбирался в период максимального снегостояния конвертным способом на площадке 1×1 м в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 (208 пробы, 1044 измерений). Снег топили при комнатной температуре. Подготовленные пробы к испытанию воды, снега (объемом 100 см³) и почвы переносили в выпарительную чашку, добавив 1–2 см³ концентрированной азотной кислоты. Содержимое

чашки упаривали до влажных солей. Если остаток был темным, то кислотную обработку повторяли до его осветления.

Отбор объединенных проб почв массой не менее 1 кг осуществляли на территории зоологических учреждений два раза в год – весной и осенью. Отбор проб из пяти точек осуществлялся на однородном почвенном покрове с территорий основных экспозиций в количестве не менее одной с поверхностного горизонта на глубине 0–5 см площадки 10×10 м. Транспортировка и хранение проб почв осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017 и ГОСТ 58595-2019. Всего за время исследования было изучено 123 пробы.

В ходе выполнения работы были произведены расчеты среднесуточных доз поступления микроэлементов из почвы зоологических учреждений в организм животных, которые учитывают внешнее воздействие химических элементов при пероральном (заглатывание частиц почвы) и ингаляционном поступлении при эмиссии пылевых частиц из почвенного покрова в атмосферный воздух, а также при попадании тяжелых металлов и As в организм при накожной экспозиции почвы; среднесуточных доз перорального, ингаляторного и накожного поступления микроэлементов из питьевой воды и с продуктами питания в организм птиц и млекопитающих по адаптированным для животных формулам расчета доз при оценке риска многосредового воздействия химических веществ.

Механизм воздействия отражает путь поступления химических элементов от источника загрязнения окружающей среды до организма птицы. Элементами маршрута воздействия являются источники поступления загрязнения в объекты окружающей среды, воспринимающая (первично загрязненная) среда, транспортирующие и трансформирующие среды, точка воздействия на организм (рецепторную точку), воздействующие среды и пути поступления веществ в организм птиц (пероральное и ингаляторное поступление, кожная абсорбция). Все вышеперечисленные элементы составляют полный маршрут воздействия химических элементов. Маршрут исследования по многосредовому сценарию воздействия приведен в таблице 1.

Расчет поступления исследуемых веществ проводился по следующим формулам:

1. Питьевая вода: пероральное поступление

$$I = \frac{C_w \times V \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365} \quad (1)$$

где I – пероральное поступление вещества с питьевой водой, мг/кг×день; C_w – концентрация вещества в питьевой воде, мг/л; V – величина водопотребления, л/сут. (0,5 л/сут.); EF – частота воздействия, день/год (350 дней/год); ED – продолжительность воздействия, лет (20 лет); BW – масса тела, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (5 лет).

2. Питьевая вода: ингаляционное воздействие

$$I = \frac{CDI \times ED \times EF}{AT \times 365} \quad (2)$$

где I – ингаляционное поступление вещества с питьевой водой, мг/кг×день; CDI – средняя концентрация в воздухе, мг/л (рассчитывается по формуле (3)); ED – продолжительность воздействия, лет (3–20 лет); EF – частота воздействия, день/год (365 дней /год); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

$$CDI = \left(X_b + X_h\right) \times C_w \times \text{Theta} \quad (3)$$

где X_b – вспомогательная величина, отражающая вклад водных процедур в общую ингаляционную нагрузку (рассчитывается по формуле (4)); X_h – вспомогательная величина, отражающая вклад питьевой воды (кроме водных процедур) в общую ингаляционную нагрузку (рассчитывается по формуле (5)); Theta – эффективность массопереноса вещества из воды в воздух (рассчитывается по формуле (6)).

$$X_b = \frac{0,7 \times IR_a \times T_b \times W_b}{VR_b \times 60} \quad (4)$$

Таблица 1. Сценарий многосредового воздействия химических элементов на организм *Pavo cristatus*, содержащихся в зоологических учреждениях

Table 1. Scenario of multi-environment impact of chemical elements on the organism of *Pavo cristatus* kept in urban zoological institutions

Объект воздействия	Путь поступления		
	Ингаляторно	Перорально	Накожно
Питьевая вода	+	+	+
Продукты питания	–	+	–
Почва	+	+	+
Снег	+	+	+

+ – данный путь поступления химических элементов из среды включен в расчет доз и рисков исследования.

+ – this exposure route was included in the calculation of doses and risks.

где IR_a – скорость вентиляции при активной деятельности, м³/кг×час (0,02 м³/кг×час); T_b – время на ежедневные водные процедуры, мин/день (30 мин/день); W_b – водопотребление для водных процедур, л/мин (8 л/мин); VR_b – скорость вентиляции в помещении, м³/мин (0,5 м³/мин).

$$X_h = \frac{\dfrac{0,54 \times W_h \times IR_a \times (T_h - T_r)}{VR_h}}{\dfrac{T_t \times IR_r \times W_h}{VR_h}} \quad (5)$$

где W_h – общее водопотребление, л/час (30 л/час); IR_a – скорость вентиляции при активной деятельности, м³/кг×час (0,02 м³/кг×час); T_h – общее время пребывания в помещении, час/день (16 час/день); T_r – продолжительность сна, отдыха, час/день (8 час/день); VR_h – скорость вентиляции в помещении, м³/мин (360 м³/мин); T_t – температура в помещении, °C (25 °C); IR_r – скорость вентиляции в покое, м³/кг×час (0,007 м³/кг×час).

$$\text{Theta} = \frac{3000000}{2,5 / D_w^{2/3}} + R \times \frac{T}{H} D_a^{1/3} \quad (6)$$

где D_w – коэффициент диффузии в воду, см²/с (0,1 см²/с); R – универсальная газовая постоянная (8,31); T – температура в помещении, °C (25 °C); H – константа закона Генри, Па·м³/моль (справочное значение); D_a – коэффициент диффузии в воздух, см²/с (0,1 см²/с).

3. Питьевая вода: накожное воздействие

$$DAD = \frac{DAE \times EV \times ED \times EF \times SA}{BW \times AT \times 365 \times 1000} \quad (7)$$

где DAD – поглощенная доза, мг/кг×день; DAE – абсорбированная доза за одно событие на экспонируемую площадь кожи (рассчитывается по формуле (8)); EV – частота контакта, контакт/день (1 контакт/день); ED – продолжительность воздействия, лет (20 лет); EF – частота воздействия, день/год (350 дней/год); SA – площадь участка кожи, см² (2874 см²); BW – масса тела, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

$$DAE = K_p \times C_w \times t_e \quad (8)$$

где K_p – коэффициент кожной проницаемости (рассчитывается по формуле (9)); C_w – концентрация вещества в воде, мг/л; t_e – продолжительность одного события, час/событие (1,0 час/событие).

$$\log K_p = -2,8 + 0,67 \times K_{ow} - 0,0056 \times MW \quad (9)$$

где K_{ow} – коэффициент распределения, октанол/вода (справочное значение); MW – молекулярная масса, г/моль (справочное значение).

4. Снег: пероральное поступление (заглатывание)

$$I = \frac{C_w \times IR \times EF \times ED \times ET}{AT \times BW \times 365} \quad (10)$$

где I – пероральное поступление вещества, мг/кг×день; C_w – концентрация вещества в снеге, мг/л; IR – скорость поступления, л/час (0,05 л/час); EF – частота воздействия, день/год (45 дней/год); ED – продолжительность воздействия, лет (20 лет); ET – время воздействия, час/день (1 час/день); BW – масса тела, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

5. Снег: ингаляционное воздействие

$$I = \frac{CA \times IR \times EF \times ET \times ED}{AT} \quad (11)$$

где I – ингаляционное поступление вещества со снегом, мг/кг×день; CA – концентрация вещества в воздухе, мг/м³ (рассчитывается по формуле (12)); EF – частота воздействия, день/год (45 дней/год); ET – время воздействия, час/день (1 час/день); BW – масса тела, кг (4 кг); ED – продолжительность воздействия, лет (20 лет); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

$$CA = \frac{C_w \times V_p \times 273 \times MW}{760 \times K \times 22,4} \quad (12)$$

где C_w – концентрация вещества в снеге, мг/л; V_p – давление паров, мм.рт.ст. (рассчитывается по формуле (13)); MW – молекулярная масса, г/моль (справочное значение); K – температура,°K (298 °K).

$$V_p = MW / 28,9 \quad (13)$$

6. Снег: накожное воздействие

$$DAD = \frac{DAE \times EV \times ED \times EF \times SA}{BW \times AT \times 3600 \times 1000} \quad (14)$$

где DAD – абсорбированная накожная доза, мг/кг×день; DAE – абсорбированная доза за одно событие на экспонируемую площадь кожи (рассчитывается по формуле (8)); EV – частота контакта, событие/год (45 событий/год); ED – продолжительность воздействия, лет (20 лет); EF – частота воздействия, день/год (45 дней/год); SA – площадь участка кожи, см² (2874 см²); BW – масса тела, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

7. Почва: пероральное поступление

$$I = C_s \times FI \times EF \times ET \times CF2 \times \frac{ED_c \times IR_c}{BW_c} + \frac{ED_a \times IR_a / BW_a}{AT \times 365} \quad (15)$$

где I – поступление веществ с почвой, мг/кг×день; C_s – концентрация вещества в почве, мг/кг; FI – загрязненная фракция почвы, отн. ед. (1,0 отн. ед., т. е. 100 %); EF – частота воздействия, день/год (75 дней/год); ET – время воздействия, час/день (1 час/день); $CF2$ – пересчетный коэффициент, день/час (ET/24 дн/ч); ED_c – продолжительность воздействия, год (птицы – 3 года); IR_c – скорость поступления, мг/сут. (0,0002 мг/сут.); BW_c – масса тела молодняка, кг (2 кг); ED_a – продолжительность воздействия в зрелом возрасте, лет (20 лет); IR_a – скорость поступления молодняку, мг/сут. (0,0001 мг/сут.); BW_a – масса тела взрослых особей, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

8. Почва: ингаляционное воздействие

$$I = \frac{C_a \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT \times 365} \quad (16)$$

где I – ингаляционное поступление, мг/кг×день; C_a – концентрация вещества в воздухе, мг/м^3 (рассчитывается по формуле (17)); IR – скорость поступления, м^3/сут. (10 м^3/сут.); ED – продолжительность воздействия, год (3 года); EF – частота воздействия, день/год (350 дней/год); BW – масса тела, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

$$C_a = C_s \times \frac{1}{PEF} + \frac{1}{EF} \quad (17)$$

где C_s – концентрация вещества в почве, мг/кг; PEF – фактор эмиссии пылевых частиц, м^3/кг ($1{,}32\times10^9$ м^3/кг); EF – частота воздействия, день/год (350 дней/год).

9. Почва: накожное воздействие

$$DAD = \frac{DAE \times EF \times ED \times EV \times SA}{BW \times AT \times 365} \quad (18)$$

где DAD – абсорбированная накожная доза, мг/кг×день; DAE – абсорбированная доза за одно событие на экспонируемую площадь кожи (рассчитывается по формуле (19)); EF – частота воздействия, событие/год (350 событий/год); ED – продолжительность воздействия, год (3 года); EV – число событий в день, событие/день (1 событие/день); SA – площадь участка кожи, см^2 (2874 см^2); BW – масса тела, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

$$DA_e = C_s \times CF \times AF \times ABS_d \quad (19)$$

где C_s – концентрация вещества в почве, мг/кг; CF – пересчетный коэффициент, кг/мг (10^{-6} кг/мг); AF – фактор загрязнения кожи, мг/см^2×событие (0,2 мг/см^2×событие); ABS_d – абсорбированная фракция, отн. ед. (неорганические вещества – 0,01).

10. Пероральное поступление с продуктами питания

$$I = \frac{CR \times C \times F \times ED \times EF}{BW \times AT \times 365} \quad (20)$$

где I – пероральное среднесуточное поступление с рационами питания, мг/день; CR – среднесуточное содержание элемента в компонентах рациона, мг/кг; C – масса компонента рациона с рационом питания на основе затребований на кормокухню и рационов питания, кг; ED – продолжительность воздействия, год (3 года); EF – частота воздействия, событие/год (365 событий/год); BW – масса тела, кг (4 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (канцерогены – 25 лет).

Результаты и их обсуждение

Обыкновенный павлин *Pavo cristatus* – один из самых крупных представителей отряда. Голова, шея и грудь самца синие, спина зеленая, низ тела черный. На туловище есть надхвостье из удлиненных перьев бронзово- и золотисто-зеленой окраски с металлически блестящими сине-оранжево-фиолетовыми глазками и треугольными изумрудными косицами. Самки павлинов окрашены скромнее и не имеют удлиненных перьев в надхвостье.

Средний уровень накопления Zn перьями обыкновенного павлина составил 122,74 ± 9,64 мг/кг, Cu – 5,36 ± 0,05 мг/кг, Fe – 508,06 ± 56,84 мг/кг, Pb – 6,75 ± 1,13 мг/кг, Cd – 1,65 ± 0,26 мг/кг и As – 0,61 ± 0,23 мг/кг. Вариабельность концентрации химических элементов в исследуемой выборке особей составила, %: Zn – 73,9, Cu – 94,3, Fe – 111,6, Pb – 150,0, Cd – 136,88 и As – 203,87. Средние уровни накопления элементов в биосредах убывают в ряду Fe > Zn > Cu > Pb > Cd > As, что соотносится с исследованиями ряда авторов [28].

Большой размах уровня накопления Cd и As связан с исследованиями двух разный цветовых вариаций павлинов: белой и стандартной. В ходе проведения сравнительного анализа с учетом окраски птиц установлено достоверное ($p < 0{,}05$) увеличение концентрации Cd в 5,4 и As в 8,4 раза у стандартной вариации в сравнении с белой (табл. 2). Колебания других элементов в исследуемой выборке связано с изучением птиц, постоянно содержащихся в условиях с разной техногенной нагрузкой.

Содержание Zn для исследованного вида составляло 0,7–48,0 %, Cu – 0,04–2,8 %, Fe – 46,2–92,8 %, Pb – 0–2,5 %, Cd – 0–2,5 % и As – 0–4,6 % от суммы всех определяемых элементов. Вид проявляет чувствительность к воздействию токсичных поллютантов, которая проявляется на фоне пониженного уровня содержания в организме Zn и Cu.

Таблица 2. Элементный статус перьевого покрова цветовых вариаций особей обыкновенного павлина *Pavo cristatus*, содержащихся в искусственно созданных условиях

Table 2. Elemental status of *Pavo cristatus* feather varieties obtained from urban zoological institutions

Цветовая вариация	Концентрация химических элементов, мг/кг					
	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	As
Белая	114,51 ± 8,40	4,75 ± 1,81	411,15 ± 39,74	4,66 ± 1,34	0,40 ± 0,72*	0*
Стандартная	126,03 ± 9,44	5,59 ± 1,80	546,82 ± 16,24	7,19 ± 1,13	2,16 ± 1,47*	0,84 ± 0,39*

* – достоверные отличия ($p < 0,05$).

* – significant differences ($p < 0.05$).

Таблица 3. Рацион кормления обыкновенных павлинов *Pavo cristatus* в исследуемых зоопарках

Table 3. Diets of *Pavo cristatus* in urban zoological institutions

Кормовые составы	Количество в сутки, кг на гол.		
	Московский зоопарк	Ивановский зоопарк	Ярославский зоопарк
Растительные корма			
Отруби	0,01	0,01	–
Комбикорм для кур (ПК-1)	0,1	0,1	–
Пшеница	0,15	0,15	0,08
Ячмень	0,03	0,03	0,035
Просо	0,05	0,05	–
Овсянка	0,08	0,08	
Горох	0,05	0,05	0,03
Кукуруза	0,08	0,08	0,03
Подсолнух	0,02	0,02	0,05
Семя тыквенное	0,02	0,02	–
Фрукты разные	0,05	–	–
Ягоды разные	0,05	–	–
Морковь	0,1	0,1	0,025
Капуста	0,04	0,04	0,025
Свекла	0,02	0,02	0,005
Салат	0,05	–	–
Лук	0,02	0,02	0,01
Чеснок	0,015	–	–
Овощи разные	0,1	–	–
Масло растительное	–	–	0,003
Животные корма			
Мясо	0,015	0,015	0,015
Творог	0,015	0,015	0,03
Яйцо куриное	0,025	0,025	–
Гаммарус	0,01	–	–
Добавки			
Травяная мука	0,015	0,015	–
Костная мука	0,003	0,003	0,002

Исследуемые птицы содержались на разработанном рационе (табл. 3), сбалансированном по основным питательным показателям.

Анализ рационов питания обыкновенных павлинов, организованных на базе зоологических учреждений Москвы, Иваново и Ярославля, показал, что Zn поступает 11,35, 6,60 и 2,50 мг; Cu – 2,29, 0,75 и 0,41 мг; Fe – 55,83, 30,54 и 6,78 мг; Pb – 0,14, 0,18 и 0,01 мг; Cd – 0,02, 0,01 и 0,005 мг; As – 0,04, 0,02 и 0,002 мг соответственно. Если особь полностью съедает весь выданный корм, то ориентировочное общее суточное поступление Zn от дневной нормы потребления элемента составляет 16,7–75,7 %, Cu – от 13,7 до 76,3 %, Fe – от 48,4 до 398,79 %. Pb, Cd и As поступают с рационами в пределах суточной нормы. Сбалансированность рационов питания по микроэлементному составу можно достичь, насыщая их продуктами, богатыми необходимыми элементами, или вводя минеральные комплексы.

В ходе анализа многомаршрутной и многосредовой экспозиции исследуемых микроэлементов на основании количественного расчета их поступления в организм было установлено превышение референтных концентраций для острого ингаляционного воздействия по Cu (0,1 мг/кг), поступающей из почвы в г. Москве, в 2,19 раза, что может привести к заболеваниям органов дыхания животных (табл. 4). Отмечено превышение референтных концентраций для хронического ингаляционного воздействия по Zn (0,0009 мг/кг), поступающему из снежного покрова и почвы, в г. Москве в 1,22 и 394,11 раза, г. Ярославле – в 1,11 и 9,78 раза соответственно, из питьевой воды в Москве – в 1,78 раза. Это способствует развитию заболеваний органов дыхания, иммунной и кровеносной систем. Выявлено превышение референтных концентраций для хронического ингаляционного воздействия Fe (0,6 мг/кг) при поступлении элемента в организм павлинов из почвенного покрова г. Москвы и Иваново – в 50,15 и 95,27 раз соответственно, что стимулирует возникновение отклонений в функционировании дыхательной системы. В г. Москве превышен в 275,8 раз уровень поступления Pb из почвы в сравнении с референтными концентрациями для хронического ингаляционного воздействия (0,0005 мг/кг). Это создает угрозу для возникновения болезней крови и развития репродуктивной и гормональной систем, почек. На всех исследуемых территориях обнаружено превышение ингаляторного уровня поступления из почвы Cd и As (референтные концентрации $2{,}00\times10^{-5}$ и $3{,}00\times10^{-5}$ мг/кг соответственно): г. Москва – в 10,0 и 790,0 раз, г. Иваново – в 15,0 и 863,33 раза, г. Ярославль – в 60,0 и 396,67 раза соответственно. Это может привести к заболеваниям почек, органов дыхания, нервной и сердечно-сосудистой систем, изменению гормонального статуса птиц,

Таблица 4. Сводная таблица для анализа многомаршрутной и многосредовой экспозиции химических элементов при поступлении в организм обыкновенного павлина *Pavo cristatus*

Table 4. Multi-route and multi-environment exposure of urban *Pavo cristatus* to chemical elements: a summary table

Путь поступления	Территория	Объекты поступления микроэлементов				
		Снег	Почва	Питьевая вода	Продукты	Сумма
Цинк, мг						
Ингаляция	№ 1	0,0011	0,3547	0,0016	–	0,3574
	№ 2	0,0002	0,0886	0,0002	–	0,0890
	№ 3	0,0010	0,0088	0,0007	–	0,0105
Перорально	№ 1	$1{,}1749\times10^{-5}$	0,0756	0,0133	2,8366	2,9255
	№ 2	$1{,}6397\times10^{-6}$	0,0189	0,0019	1,6508	1,6716
	№ 3	$1{,}1142\times10^{-5}$	0,0019	0,0063	0,6212	0,6294
Накожно	№ 1	0,0335	$1{,}7838\times10^{-5}$	0,7447	–	0,7782
	№ 2	0,0048	$4{,}4577\times10^{-6}$	0,1060	–	0,1108
	№ 3	0,0159	$4{,}4432\times10^{-7}$	0,3522	–	0,3681
Сумма	№ 1	**0,0346**	**0,4303**	**0,7596**	**2,8366**	**4,0611**
	№ 2	**0,0050**	**0,1075**	**0,1081**	**1,6508**	**1,8714**
	№ 3	**0,0169**	**0,0107**	**0,3592**	**0,6212**	**1,0080**
Медь, мг						
Ингаляция	№ 1	0,0001	0,2188	0,0002	–	0,2191
	№ 2	0,0002	0,0533	0,0001	–	0,0536
	№ 3	0,0002	0,0083	0,0002	–	0,0087
Перорально	№ 1	$1{,}5041\times10^{-6}$	0,0466	0,0057	0,5717	0,6240
	№ 2	$1{,}6397\times10^{-6}$	0,0114	0,0040	0,1882	0,2036
	№ 3	$2{,}1144\times10^{-6}$	0,0017	0,0077	0,1013	0,1107
Накожно	№ 1	0,0035	$1{,}1\times10^{-5}$	0,0787	–	0,0822
	№ 2	0,0048	$2{,}6801\times10^{-6}$	0,0560	–	0,0608
	№ 3	0,0048	$4{,}1738\times10^{-7}$	0,1074	–	0,1122
Сумма	№ 1	**0,0036**	**0,2654**	**0,0846**	**0,5717**	**0,9253**
	№ 2	**0,0050**	**0,0647**	**0,0601**	**0,1882**	**0,3180**
	№ 3	**0,0050**	**0,0100**	**0,1153**	**0,1013**	**0,2316**
Железо, мг						
Ингаляция	№ 1	0,0054	30,0977	0,0029	–	30,1060
	№ 2	0	57,1618	0,0025	–	57,1643
	№ 3	0,0028	0,7079	0,0013	–	0,7120

Окончание табл. 4.

Путь поступления	Территория	Объекты поступления микроэлементов				
		Снег	Почва	Питьевая вода	Продукты	Сумма
Железо, мг						
Перорально	№ 1	$6{,}6736\times10^{-5}$	6,4135	0,0962	13,9569	20,4666
	№ 2	0	12,1807	0,0839	7,6361	19,9007
	№ 3	$3{,}4576\times10^{-5}$	0,1508	0,0439	1,6948	1,8895
Накожно	№ 1	0,0579	0,0015	1,2874	–	1,3468
	№ 2	0,0506	0,0029	1,1237	–	1,1772
	№ 3	0,0264	$3{,}5602\times10^{-5}$	0,5872	–	0,6136
Сумма	№ 1	**0,0633**	**36,5127**	**1,3865**	**13,9569**	**51,9194**
	№ 2	**0,0506**	**69,3454**	**1,2101**	**7,6361**	**78,2422**
	№ 3	**0,0292**	**0,8587**	**0,6324**	**1,6948**	**3,2151**
Свинец, мг						
Ингаляция	№ 1	0,0003	0,1384	$9{,}09\times10^{-5}$	–	0,1387
	№ 2	0,0001	0	0,0001	–	0,0002
	№ 3	0,0003	0,0005	0,0002	–	0,0010
Перорально	№ 1	$9{,}1849\times10^{-7}$	0,0295	0,0031	0,0361	0,0687
	№ 2	$4{,}2534\times10^{-7}$	0	0,0047	0,0445	0,0492
	№ 3	$9{,}4315\times10^{-7}$	0,0001	0,0057	0,0030	0,0088
Накожно	№ 1	0,0026	$3{,}9586\times10^{-6}$	0,0568	–	0,0594
	№ 2	0,0039	0	0,0861	–	0,0900
	№ 3	0,0048	$2{,}6249\times10^{-8}$	0,1056	–	0,1104
Сумма	№ 1	**0,0029**	**0,1679**	**0,0599**	**0,0361**	**0,2668**
	№ 2	**0,0040**	**0**	**0,0909**	**0,0445**	**0,1394**
	№ 3	**0,0051**	**0,0006**	**0,1115**	**0,0030**	**0,1202**
Кадмий, мг						
Ингаляция	№ 1	0	0,0002	$2{,}842\times10^{-6}$	–	0,0002
	№ 2	0	0,0003	0	–	0,0003
	№ 3	$9{,}9266\times10^{-7}$	0,0012	0	–	0,0012
Перорально	№ 1	0	0,0011	$9{,}589\times10^{-5}$	0,0053	0,0064
	№ 2	0	$5{,}8381\times10^{-5}$	0	0,0031	0,0031
	№ 3	$6{,}1644\times10^{-9}$	0,0874	0	0,0012	0,0886
Накожно	№ 1	$6{,}9761\times10^{-5}$	$5{,}5118\times10^{-8}$	0,0016	–	0,0016
	№ 2	0	$1{,}3779\times10^{-8}$	0	–	$1{,}3779\times10^{-8}$
	№ 3	0	$6{,}0216\times10^{-8}$	0	–	$6{,}0216\times10^{-8}$
Сумма	№ 1	**$6{,}9761\times10^{-5}$**	**0,0013**	**0,0016**	**0,0053**	**0,0082**
	№ 2	**0**	**0,0003**	**0**	**0,0031**	**0,0034**
	№ 3	$9{,}9266\times10^{-7}$	**0,0886**	**0**	**0,0012**	**0,0898**
Мышьяк, мг						
Ингаляция	№ 1	$1{,}1149\times10^{-5}$	0,0237	$1{,}1368\times10^{-5}$	–	0,0237
	№ 2	0	0,0259	$1{,}5631\times10^{-5}$	–	0,0259
	№ 3	$3{,}9352\times10^{-6}$	0,0119	$7{,}1048\times10^{-6}$	–	0,0119
Перорально	№ 1	$1{,}0479\times10^{-7}$	0,0050	0,0004	0,0088	0,0142
	№ 2	0	0,0055	0,0005	0,0059	0,0119
	№ 3	$3{,}6986\times10^{-8}$	0,0026	0,0002	0,0004	0,0032
Накожно	№ 1	0,0003	$1{,}1919\times10^{-6}$	0,0056	–	0,0059
	№ 2	0	$1{,}3022\times10^{-6}$	0,0077		0,0077
	№ 3	0,0002	$6{,}0333\times10^{-7}$	0,0035		0,0037
Сумма	№ 1	**0,0003**	**0,0287**	**0,0060**	**0,0088**	**0,0438**
	№ 2	**0**	**0,0314**	**0,0082**	**0,0059**	**0,0455**
	№ 3	**0,0002**	**0,0145**	**0,0037**	**0,0004**	**0,0188**
Общее поступление	№ 1	**0,1047**	**37,4063**	**2,2982**	**17,4154**	**57,2246**
	№ 2	**0,0646**	**69,5493**	**1,4774**	**9,5286**	**80,6199**
	№ 3	**0,0564**	**0,9831**	**1,2221**	**2,4219**	**4,6835**

№ 1 – Московский зоопарк, № 2 – Ивановский зоопарк, № 3 – Ярославский зоопарк.

№ 1 – Moscow Zoo, № 2 – Ivanovo Zoo, № 3 – Yaroslavl Zoo.

возникновению разного рода онкологий и отклонениям в развитии. По другим показателям превышений не определено.

В результате анализа многомаршрутной и многосредовой экспозиции исследуемых ксенобиотиков на основании количественного расчета их поступления в организм было установлено превышение референтных концентраций для хронического перорального воздействия Cu (0,019 мг/кг) в Москве из почвы в 2,45 раза. Это может привести к заболеваниям желудочно-кишечного тракта и печени (табл. 4). Из почвенного покрова г. Москвы и Иваново Fe перорально поступает в концентрациях выше референтных (0,3 мг/кг) для хронического воздействия – в 21,38 и 40,60 раз соответственно. Это способствует развитию заболеваний слизистой, кожи, крови, иммунной системы. Выявлено превышение референтных концентраций для хронического перорального воздействия Pb (0,0035 мг/кг) при поступлении элемента в организм павлинов из почвенного покрова г. Москвы – в 8,43 раз и питьевой воды г. Иваново и Ярославля – в 1,34 и 1,63 раза соответственно. Это стимулирует возникновение отклонений в функционировании центральной нервной системы и кровеносной системы и нарушает биохимический состав внутренней среды, развитие репродуктивной системы и гормонального статуса организма птиц. В Москве и Ярославле уровень поступления Cd из почвы превышен в 2,2 и 174,8 раз соответственно в сравнении с референтными концентрациями для хронического перорального воздействия (0,0005 мг/кг), что создает угрозу для возникновения болезней гормональной системы и почек. На всех исследуемых территориях обнаружено превышение перорального уровня поступления As из почвы (референтные концентрации 0,0003 мг/кг): Москва – в 16,67 раз, Иваново – в 18,33 раза, Ярославль – в 8,67 раза. Уровень перорального поступления из питьевой воды превышен в г. Москва в 1,33 раза, г. Иваново – в 1,67 раз. Хроническое увеличение перорального поступления в организм птиц мышьяка может привести к заболеваниям кожи, центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, изменению гормонального статуса (увеличивается вероятность развития диабета), нарушению в работе желудочно-кишечного тракта и почек. По другим показателям превышений не определено.

В ходе анализа многомаршрутной и многосредовой экспозиции микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, при поступлении в организм птиц было установлено, что уровень концентрации эссенциальных микроэлементов в биосредах определяется их поступлением с пищей (табл. 5).

Концентрация Zn в перьях птиц связана с их поступлением в организм с кормами на 61,63–88,21 %, Cu – на 43,74–61,79 %, Fe в Ярославле – на 52,71 % и Cd в Иваново и Ярославле – 64,63 и 91,18 % соответственно (табл. 4). Данные согласуются с

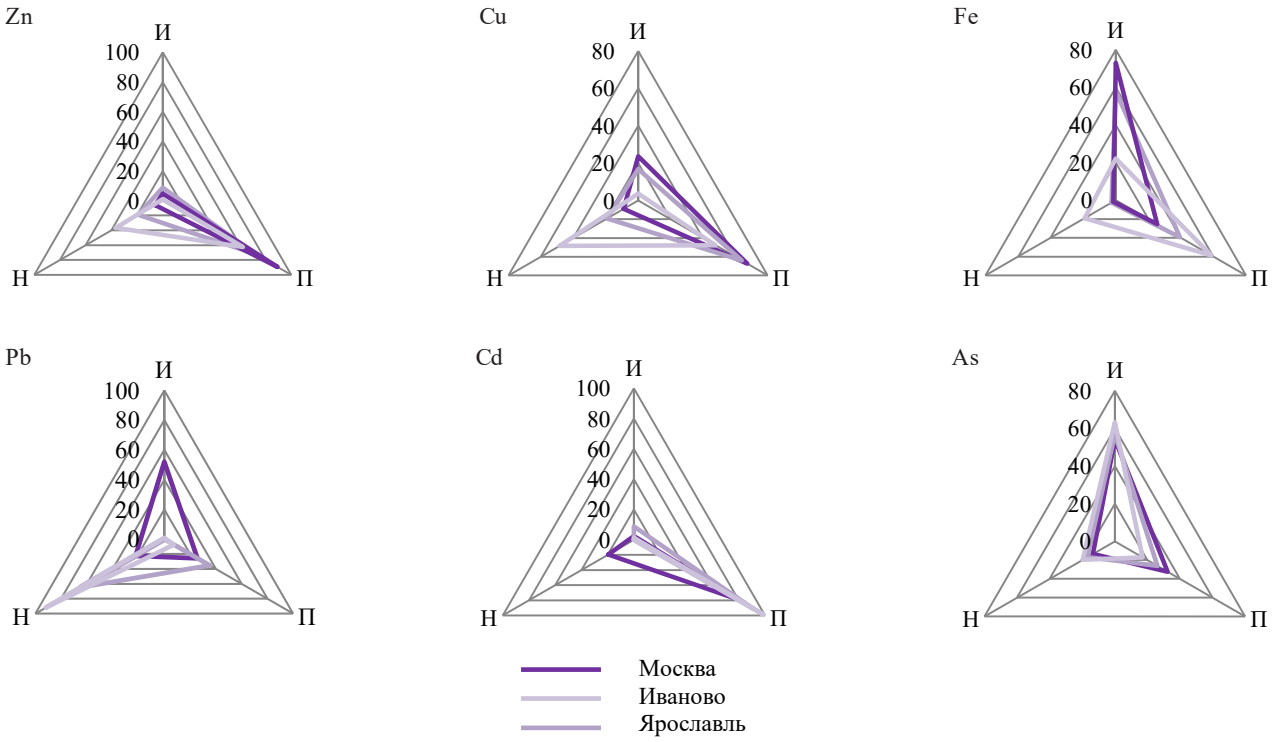
Таблица 5. Многосредовая экспозиция элементов при поступлении в организм обыкновенного павлина *Pavo cristatus*

Table 5. Multi-environment elemental exposure of *Pavo cristatus*

Химический элемент, %	Территория	Объекты поступления			
		Снег	Почва	Питьевая вода	Продукты
Цинк	№ 1	0,85	10,60	18,70	69,85
	№ 2	0,27	5,74	5,78	88,21
	№ 3	1,68	1,07	35,63	61,62
Медь	№ 1	0,39	28,68	9,14	61,79
	№ 2	1,57	20,35	18,90	59,18
	№ 3	2,16	4,32	49,78	43,74
Железо	№ 1	0,12	70,33	2,67	26,88
	№ 2	0,06	88,63	1,55	9,76
	№ 3	0,91	26,71	19,67	52,71
Свинец	№ 1	1,09	62,93	22,45	13,53
	№ 2	2,87	0	65,21	31,92
	№ 3	4,24	0,50	92,76	2,50
Кадмий	№ 1	0	15,85	19,52	64,63
	№ 2	0	8,82	0	91,18
	№ 3	0	98,66	0	1,34
Мышьяк	№ 1	0,68	65,53	13,70	20,09
	№ 2	0	69,01	18,02	12,97
	№ 3	1,06	77,13	19,68	2,13

№ 1 – Московский зоопарк, № 2 – Ивановский зоопарк, № 3 – Ярославский зоопарк.

№ 1 – Moscow Zoo, № 2 – Ivanovo Zoo, № 3 – Yaroslavl Zoo.



Поступление: И – ингаляторное, П – пероральное, Н – накожное

Рисунок 1. Анализ многомаршрутной и многосредовой экспозиции химических элементов при поступлении в организм обыкновенных павлинов, %

Figure 1. Multi-route and multi-environment exposure of *Pavo cristatus* to chemical elements, %

результатами исследований ряда авторов по поступлению эссенциальных микроэлементов в организм птиц [29]. Накопление организмом птиц Fe в Москве и Иваново связано с его поступлением из почвенного покрова – 70,33 и 88,63 % соответственно, As в Москве – 65,53 %, Иваново – 69,01 %, Ярославле – 77,13 %. Это связано с высоким уровнем содержания данных микроэлементов в депонирующей среде [13]. Наибольшее воздействие на организм птиц оказывает валовое содержание Pb в почве Москвы и питьевой воде Ярославля и Иваново. Установлено влияние валового содержания всех исследуемых элементов в почвенном покрове и питьевой воде на уровень кумуляции павлинами, за исключением влияния накопления As почвой. Снежный покров оказывал наименьшее воздействие на элементный статус биосред павлинов.

Основной путь поступления Zn (62,44–77,4 %), Cu (47,8–67,44 %), Fe в Ярославле (58,77 %) и Cd (78,05–98,67 %) – пероральный (рис. 1), Fe в Москве и Иваново (57,99 и 73,06 % соответственно), As (54,11–63,3 %), Pb в Москве (51,99 %) – ингаляторный. Наибольшее поступление Pb накожно отмечено в Иваново и Ярославле (64,57 и 91,85 % соответственно).

Выводы

Средний уровень накопления Zn перьями обыкновенного павлина *Pavo cristatus* составил 122,74 ± 9,64 мг/кг, Cu – 5,36 ± 0,05 мг/кг, Fe – 508,06 ± 56,84 мг/кг, Pb – 6,75 ± 1,13 мг/кг, Cd – 1,65 ± 0,26 мг/кг и As – 0,61 ± 0,2 мг/кг. Вариабельность концентрации микроэлементов в исследуемой выборке особей составила, %: Zn – 73,9, Cu – 94,3, Fe – 111,6, Pb – 150,0, Cd – 136,88 и As – 203,87. Средние уровни накопления элементов в биосредах убывают в ряду Fe > Zn > Cu > Pb > Cd > As. Содержание Zn составило 0,7–48,0 %, Cu – 0,04–2,8 %, Fe – 46,2–92,8 %, Pb – 0–2,5 %, Cd – 0–2,5 % и As – 0–4,6 % от суммы всех определяемых элементов. Анализ рационов питания обыкновенных павлинов, организованных на базе зоологических учреждений Москвы, Иваново и Ярославля, показал, что Zn поступает 11,35, 6,60 и 2,50 мг; Cu – 2,29, 0,75 и 0,41 мг; Fe – 55,83, 30,54 и 6,78 мг; Pb – 0,14, 0,18 и 0,01 мг; Cd – 0,02, 0,01 и 0,005 мг; As – 0,04, 0,02 и 0,002 мг соответственно. Если особь полностью съедает весь выданный корм, то ориентировочное общее суточное поступление Zn от дневной нормы потребления элемента составляет 16,7–75,7 %, Cu – от 13,7 до 76,3 %, Fe – от 48,4 до 398,79 %. Pb, Cd и As

поступают с рационами в пределах суточной нормы. Основной путь поступления Zn, Cu, Fe в Ярославле и Cd – пероральный, Fe в Москве и Иваново, As и Pb в Москве – ингаляторный. Наибольшее поступление Pb накожно отмечено в Иваново и Ярославле.

В ходе анализа многомаршрутной и многосредовой экспозиции микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, при поступлении в организм птиц было установлено, что уровень концентрации эссенциальных микроэлементов в биосредах определяется их поступлением с пищей. Накопление организмом птиц Fe (в Москве и Иваново) и As (на всех территориях исследования) связано с их поступлением из почвенного покрова, т. к. в депонирующей среде обнаружен высокий уровень содержания данных эссенциальных микроэлементов. Наибольшее воздействие на организм птиц оказывает валовое содержание Pb в почве Москвы и питьевой воде Ярославля и Иваново. Снежный покров оказывал наименьшее воздействие на элементный статус биосред павлинов.

Критерии авторства

А. П. Каледин руководитель проекта. М. В. Степанова и В. А. Остапенко – исполнители проводимых исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Contribution

A.P. Kaledin supervised the project. M.V. Stepanova and V.A. Ostapenko conducted the research.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Oganesyants LA, Sevostianova EM, Kuzmina EI, Ganin MYu, Chebykin EP, Suturin AN. Isotopic and chemical composition of the deep water of Lake Baikal. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):723–732. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-723-732

2. Senchenko M, Stepanova M, Pozdnyakova V, Olenchuk E. Migration of microelements and heavy metals in the system “soil-plant – plant-basedproducts”. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2021;10(6). https://doi.org/10.15414/jmbfs.3169

3. Azimi S, Ludwig A, Thevenot DR, Colin J-L. Trace metal determination in total atmospheric deposition in rural and urban areas. Science of the Total Environment. 2003;308(1–3):247–256. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00678-2

4. Azimi S, Rocher V, Muller M, Moilleron R, Thevenot DR. Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area (Paris, France). Science of the Total Environment. 2005;337(1–3):223–239. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.06.020

5. Różyło K, Świeca M, Gawlik-Dziki U, Andruszczak S, Kwiecińska-Poppe E, Kraska P. Phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain after three years’ fertilization with biogas digestate and mineral waste. Agricultural and Food Science. 2017;26(3):148–159. https://doi.org/10.23986/afsci.63156

6. Baghaie AH, Fereydoni M. The potential risk of heavy metals on human health due to the daily consumption of vegetables. Environmental Health Engineering and Management Journal. 2019;6(1):11–16. https://doi.org/10.15171/EHEM.2019.02

7. Salishcheva OV, Prosekov AYu. Antimicrobial activity of mono- and polynuclear platinum and palladium complexes. Foods and Raw Materials. 2020;8(2):298–311. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-298-311

8. Kaledin AP, Stepanova MV. Bioaccumulation of trace elements in vegetables grown in various anthropogenic conditions. Foods and Raw Materials. 2023;11(1):10–16. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-551

9. Alleva E, Francia N, Pandolfi M, De Marinis AM, Chiarotti F, Santucci D. Organochlorine and heavy-metal contaminants in wild mammals and birds of Urbino-Pesaro province, Italy: An analytic overview for potential bioindicators. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2006;51(1):123–134. https://doi.org/10.1007/s00244-005-0218-1

10. Lodenius M, Solonen T. The use of feathers of birds of prey as indicators of metal pollution. Ecotoxicology. 2013;22(9):1319–1334. https://doi.org/10.1007/s10646-013-1128-z

11. Bakary T, Flibert G, Pane Bernadette S, Oumarou Z, François T, Cheikna Z, *et al.* Evaluation of heavy metals and pesticides continents in market-gardening products sold in some principal markets of Ouagadougou (Burkina FASO). Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2019;8(4):1026–1034. https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.8.4.1026-1034

12. Harangozo Ľ, Šnirc M, Árvay J, Bajčan D, Bystrická J, Trebichalský P, *et al.* The heavy metal continents in selected kind of spices. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2018;8(2):760–764. https://doi.org/10.15414/jmbfs.2018.8.2.760-764

13. Stepanova MV, Ostapenko VA, Kaledin AP. The content of heavy metals and arsenic in agricultural soils. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2020;86(6):15–21. (In Russ.). https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-15-21

14. Nam D-H, Lee D-P. Monitoring for Pb and Cd pollution using feral pigeons in rural, urban, and industrial environments of Korea. Science of the Total Environment. 2006;357(1–3):288–295. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.017

15. Roux KE, Marra PP. The presence and impact of environmental lead in passerine birds along an urban to rural land use gradient. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2007;53(2):261–268. https://doi.org/10.1007/s00244-006-0174-4

16. Wei B, Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. Microchemical Journal. 2010;94(2):99–107. https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.09.014

17. Berglund AMM, Koivula MJ, Eeva T. Species- and age-related variation in metal exposure and accumulation of two passerine bird species. Environmental Pollution. 2011;159(10):2368–2374. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.001

18. Carravieri A, Bustamante P, Tartu S, Meillère A, Labadie P, Budzinski H, *et al.* Wandering albatrosses document latitudinal variations in the transfer of persistent organic pollutants and mercury to Southern Ocean predators. Environmental Science and Technology. 2014;48(24):14746–14755. https://doi.org/10.1021/es504601m

19. Frantz A, Pottier M-A, Karimi B, Corbel H, Aubry E, Haussy C, *et al.* Contrasting levels of heavy metals in the feathers of urban pigeons from close habitats suggest limited movements at a restricted scale. Environmental Pollution. 2012;168:23–28. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.04.003

20. Ozpinar H, Abas I, Bilal T, Demirel G. Investigation of excretion and absorption of different zinc salts in puppies. Laboratory Animals. 2001;35(3):282–287. https://doi.org/10.1258/0023677011911615

21. Mayurnikova LA, Koksharov AA, Krapiva TV, Novoselov SV. Food fortification as a preventive factor of micronutrient deficiency. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):124–139. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139

22. Newman R, Waterland N, Moon Y, Tou JC. Selenium biofortification of agricultural crops and effects on plant nutrients and bioactive compounds important for human health and disease prevention – A review. Plant Foods for Human Nutrition. 2019;74(4):449–460. https://doi.org/10.1007/s11130-019-00769-z

23. Kakimov AK, Kakimova ZhKh, Smirnova IA, Zharykbasov ES. Promising areas of zeolite application in milk purification from toxic elements. Food Processing: Techniques and Technology. 2018;48(1):143–149. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-143-149

24. Zenkova ML. Mineral and amino acid composition of germinated and canned wheat grains. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(4):513–521. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-513-521

25. Golubkina NA, Nadezhkin SM, Agafonov AF, Antoshkina MS, Koshevarov AA. Onion of the collection of All-Russian Research Institute of Breeding and Seed Breeding of Vegetable Crops. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2015;31(3):11–16. (In Russ.). [Содержание железа, марганца, цинка и меди в луке репчатом коллекции ВНИИССОК / Н. А. Голубкина [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. Т. 31. № 3. С. 11–16.].

26. Weekley CM, Harris HH. Which form is that? The importance of selenium speciation and metabolism in the prevention and treatment of disease. Chemical Society Reviews. 2013;42(23):8870–8894. https://doi.org/10.1039/c3cs60272a

27. Manzoor J, Sharma M, Wani KA. Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables: A review. Journal of Plant Nutrition. 2018;41(13):1744–1763. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1462382

28. Yakimenko NN, Kletikova LV, Ponomarev VA, Pronin VV, Noda IB. Biometal cumulation in the liver and muscles of different bird species. Bulletin of the V.R. Filippov Buryat State Agricultural Academy. 2017;49(4):59–67. (In Russ.). [Кумуляция биометаллов в печени и мышцах птиц разных видов / Н. Н. Якименко [и др.] // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2017. Т. 49. № 4. С. 59–67.].

29. Hunchak AV, Ratych IB, Gutyj BV, Paskevych HA. Metabolic effects of iodine in poultry for its deficiency or excess in the diet. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies named after S.Z. Gzhytskyj. 2016;18(2–2):70–76. (In Ukr.). [Метаболическое действие Йода в организме птицы при его недостатке или излишке в рационе / А. В. Гунчак [и др.] // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького. 2016. Т. 18. № 2–2. С. 70–76. (На укр.).].