

Хищные птицы как индикаторы состояния окружающей среды урбанизированных территорий

М. В. Степанова

ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет
пищевых производств»,
Москва, Россия

Корреспонденция:
Степановой Марине Вячеславовне,
ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет
пищевых производств»,
Москва, Россия
Адрес: 125080, Москва,
Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: stepanovamv@mgupr.ru

Конфликт интересов:
автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов

Поступила: 28.07.2022
Принята: 23.09.2022
Опубликована: 30.09.2022

Copyright: © 2022 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Орлан-белохвост — редкий, крупный вид хищных птиц. Для восстановления вида создаются в зоологических учреждениях резервные популяции. Птицы имеют достаточно высокий уровень обмена веществ и чувствительны к загрязнителям, поэтому необходимо проводить мониторинг среды содержания и оценивать количественное поступление химических веществ в организм животных.

Целью исследования явилось изучение влияния загрязнения окружающей среды на накопления тяжелых металлов (цинка, меди, железа, свинца, кадмия и мышьяка) орланами — белохвостыми, проживающих в зоологических учреждениях городов Москвы, Иваново и Ярославля.

Методы и материалы. Оценка уровня концентрации металлов проводилась с помощью разработанных центильных шкал, которые планируется применять для оценки факторов развития паранеопластических офтальмопатий.

Результаты. При изучении различий кумуляции тяжелых металлов в перьях орланов — белохвостых установлено достоверное увеличение концентрации кадмия стержне в 3,64 раза, что свидетельствует о его внешнем поступлении. В перьях самцов, по сравнению с самками, выявлено достоверное ($p < 0,05$) увеличение содержания Cu в 13,98 раза, Zn — в 8,41 раза. У самок установлено достоверное увеличение концентрации Cd в 1,60 раза, As — в 12,18 раза.

Выводы. Выявлена достоверная средняя прямая связь между уровнем Zn и Fe, Cu и Pb, Cd и As, что свидетельствует о взаимной симбатности между этими металлами в организме животных. Между Zn и As определено антагонистическое совместное накопление. Средние концентрации Zn, Cu, Pb и Cd установлены у 50 % экземпляров орланов, Fe и As — у 62,5 % от общего количества изученных птиц. В исследуемой выборке животных выявлена тенденция к увеличению накопления Fe и As.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

поллютанты, токсиканты, тяжелые металлы, перья, орлан-белохвостый, биосубстраты, паранеопластические офтальмопатии

Для цитирования: Степанова, М.В. (2022). Хищные птицы как индикаторы состояния окружающей среды урбанизированных территорий. *Health, Food & Biotechnology*, 4(3), 19–27. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s152>

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках темы Этиопатогенез и разработка методов диагностики, профилактики и лечения иммунообусловленных паранеопластических офтальмопатий у животных, Московский государственный университет пищевых производств (Код (шифр) научной темы: FSMF-2022-0003)



<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s152>

Birds of Prey as Indicators of the State of the Environment in Urban Areas

Marina V. Stepanova

Moscow State University of Food
Production

Correspondence:

Marina V. Stepanova,
Moscow State University
of Food Production
Address: 11, Volokolamskoe highway,
125080, Moscow, Russia.
E-mail: stepanovamv@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 28.07.2022

Accepted: 23.09.2022

Published: 30.09.2022

Copyright: © 2022 The Author

ABSTRACT

Introduction. The white-tailed eagle is a rare, large species of bird of prey. To restore the species, reserve populations are created in zoological institutions. Birds have a fairly high level of metabolism and are sensitive to pollutants, so it is necessary to monitor the environment and evaluate the quantitative intake of chemicals into the animal organism.

Purpose. The aim of the study was to study the effect of environmental pollution on the accumulation of heavy metals (zinc, copper, iron, lead, cadmium and arsenic) by white-tailed eagles living in zoological institutions in the cities of Moscow, Ivanovo and Yaroslavl.

Materials and Methods. The assessment of the level of metal concentration was carried out using the developed centile scales, which are planned to assess the development factors of paraneoplastic ophthalmopathies.

Results. When studying the differences in the accumulation of heavy metals in the feathers of white-tailed eagles, a significant increase in the concentration of cadmium in the rod by 3.64 times was found, which indicates its external intake. In the feathers of males, compared with females, a significant ($p < 0.05$) increase in the content of Cu by 13.98 times, Zn — by 8.41 times was revealed. In females, a significant increase in the concentration of Cd by 1.60 times, As — by 12.18 times was found.

Conclusions. A reliable average direct relationship between the level of Zn and Fe, Cu and Pb, Cd and As was revealed, which indicates the mutual symbation between these metals in the animal body. Between Zn and As defined antagonistic joint accumulation. The average concentrations of Zn, Cu, Pb and Cd were found in 50 % of the specimens of sea eagles, Fe and As in 62.5 % of the total number of birds studied. In the studied sample of animals, a tendency to an increase in the accumulation of Fe and As was revealed.

KEYWORDS

pollutants, toxicants, heavy metals, feathers, white-tailed eagle, biosubstrates, paraneoplastic ophthalmopathies

To cite: Stepanova, M.V. (2022). Birds of Prey as Indicators of the State of the Environment in Urban Areas. *Health, Food & Biotechnology*, 4(3), 19–27. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s152>

Funding: the work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Etiopathogenesis and the Development of Methods for the Diagnosis, Prevention and Treatment of Immune-mediated Paraneoplastic Ophthalmopathies in Animals Project, Moscow State University of Food Production (Code: FSMF-2022-0003)



ВВЕДЕНИЕ

В результате антропогенного воздействия в окружающую среду постоянно попадают самые разные поллютанты и мировое загрязнение экосистем во всем мире быстро стало вызывать обеспокоенность мирового сообщества (Çelik et al., 2021; Mukherjee et al., 2022).

Ряд авторов показали, что перья обладают сорбционной активностью, которая имеет видовую специфичность кумуляции (Пономарев и др., 2018; Burger et al., 2009; Kar et al., 2004; Gamberg et al., 2020). На направленность и интенсивность биогенной миграции МЭ оказывает существенное влияние техногенез. Перьевой покров птиц способен перераспределять, накапливать ТМ и кумулировать из окружающей среды населённых пунктов различного рода поллютанты (Нода и др., 2016; Пономарев и др., 2015; Chatelain et al., 2021; Yao et al., 2021). Ксенобиотики попадают в перья только во время их образования, что делает уровень загрязнения перьев оптимальным биоиндикатором общего загрязнения вблизи мест гнездования (Добровольская, 2004; Adout et al., — 2007; Joshua et al., 2021; Korbecki et al., 2019; Poesel et al., 2008). Имеются отдельные сведения о неоднородной способности участков перьевого покрова тела кумулировать элементы (Лысенкова и др., 2004; Santos et al., 2021). Уровень содержания любых химических веществ в организме влияет на его функционирование, при отклонении от оптимального содержания развиваются заболевания разной этиологии (Pereira et al., 2021). Ряд отечественных и зарубежных ученых занимались вопросами особенностей накопления микроэлементов в перьевом покрове птиц, но все они являются разрозненными, ограничиваются небольшой территорией исследования и проводились в основном на синантропных и одомашненных видах (Нода и др., 2016; Пономарев и др., 2015; Aladdin et al., 2022; Betleja et al., 1993; Fernando et al., 2020; Kar et al., 2021; Lock et al., 1992).

Орлан — белохвост — крупный вид хищных птиц, обитающих вблизи крупных водоемов, в том числе и в Среднем Поволжье. На большей части ареала вида в Европейской части России в 40–50 — х гг. произошло сокращение численности в результате исчезновения исконных мест обитания от антропогенной деятельности, далее идет уменьшение доли пар яиц, так и увеличение смертности птенцов, хищничества (Шашкин, 2010; Masterov et al., 2022). Восстановлением популяций хищных птиц осуществляется не только путем охраны мест гнездований в природе, но созданием генофонда редких видов, в том числе и орлана — белохвоста, занимаются зоологические учреждения, питомники и соответствующие ассоциации, где производит естественное их разведение (Остапенко и др., 2017). По состоянию на 01.01.2022 г. в 54 учреждениях содержится 188 особей данного вида: 75/76/37,

что в сравнении с 2020 годом на 3,19 % меньше.¹ В 2021 году потомство получено только в 3 зоопарках. Это связано с малой численностью вида в природе и часто с поступлением в коллекции ослабленных особей. Поскольку резервные популяции создаются на урбанизированных территориях, а птицы имеют достаточно высокий уровень обмена веществ и чувствительны к загрязнителям, необходимо проводить мониторинг среды содержания и оценивать количественное поступление химических веществ в организм животных.

Цель исследования: Изучение содержания микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, в перьевом покрове орланов-белохвостых *Haliaeetus albicilla*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2018–2022 годах с помощью комплекса современных экологических, биологических и статистических методов в перьях орлана — белохвоста *Haliaeetus albicilla* (Рисунок 1), содержащихся

Рисунок 1

Орлан — белохвост *Haliaeetus albicilla* (<https://ptici.info/ptici/orlan-belohvost.html>)



¹ Информационный сборник зоопарков и аквариумов. Выпуск № 41. Том II. (2022). Московский государственный зоологический парк. — 509 с. <http://earaza.ru/wp-content/uploads/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%E2%84%96-41-%D1%82%D0%BE%D0%BC-II-%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B%D0%B9-2022-14.07.22.pdf> (дата обращения: 18.09.2022)

в Московском зоопарке, располагающемся около Садового кольца, между улицами Красная Пресня, Большая Грузинская и Зоологическая, Ярославском зоопарке, который находится в Заволжском районе города и Ивановском зоопарке.

Исследования выполнены на атомно абсорбционном спектрометре «Квант-2А» на микро популяциях физиологически здоровых животных вида орлан — белохвост *Haliaeetus albicilla*. Все животные находились в половозрелом возрасте. В пробах проводилась оценка уровня содержания микроэлементов и тяжелых металлов — цинка, меди, железа, кадмия, свинца и мышьяка.

Снег отбирался в период максимального снегостояния конвертным способом на площадке 1×1 м в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05–85. Отбор объединенных проб почв массой не менее 1 кг осуществляли на территории зоологических учреждений два раза в год — весной и осенью в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01–2017, ГОСТ 17.4.4.02–2017, ГОСТ 58595–2019.

Для оценки загрязнения окружающей среды применялись результаты собственных исследований: было отобрано 24 пробы биосред, 22 пробы почв и 16 проб снежного покрова, выполнено 1578 измерений микроэлементов.

Полученные результаты обрабатывали статистически. Для выявления статистически значимых различий в сравниваемых группах и сопряженности между признаками, характера распределения данных совместности, были использованы непараметрический критерий *W* критерий Краскела-Уоллиса, *t* — тест Стьюдента

и коэффициент корреляции Спирмена. Были сформированы базы данных в программах «Microsoft Office Excel» 2010, «Statistica» версия 10.0 в среде Windows XP.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что по величине среднего содержания в перьях орлана — белохвоста исследуемые элементы образуют следующий убывающий ряд: Fe > Zn > Cu > Pb > Cd > As (Таблица 1).

Средний уровень накопления перьями орлана Zn составил $111,77 \pm 7,66$ мг/кг, Cu — $12,89 \pm 3,86$ мг/кг, Fe — $405,21 \pm 26,23$ мг/кг, Pb — $12,27 \pm 1,61$ мг/кг, Cd — $1,37 \pm 0,46$ мг/кг и As — $0,57 \pm 0,07$ мг/кг. Коэффициенты вариации по содержанию ХЭ в исследуемой выборке особей составил %: Zn — 63,2; Cu — 107,6; Fe — 50,9; Pb — 131,3; Cd — 102,5 и As — 123,1. Наибольшие колебания характерны для Pb, Cd и As, что совпадает с данными литературы по Pb (Степанова, 2020).

Биосубстраты, отобранные в Москве, отличаются повышенным уровнем содержания Pb и Cd, пониженным — Cu; в Ярославле: высоким накоплением Cu и As, низким — Zn; в Иваново — низкой концентрацией Fe, Pb, Cd и As, что согласуется с исследованиями других авторов (Еськов, 2008). Птицы, содержащиеся в крупном промышленном областном центре, достоверно накапливают более высокие концентрации Cu. Установлено достоверное снижение Pb у орлана — белохвоста Ивановского зоопарка. Данные исследования согласуются с региональными особенностями содержания элемента в природных объектах (Степанова и др., 2020).

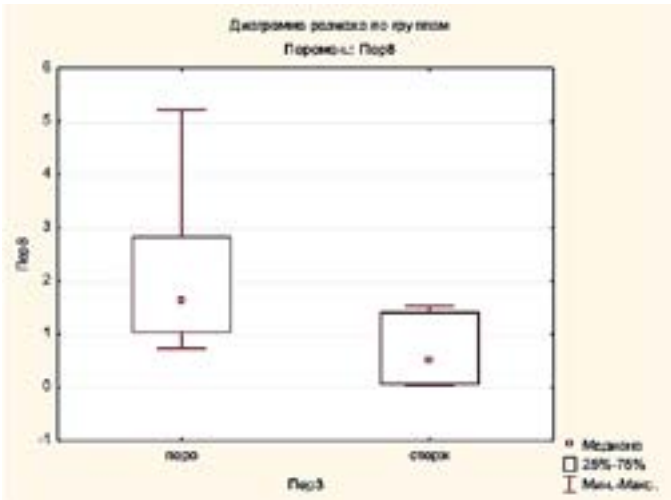
Таблица 1

Показатели содержания Zn, Pb, Cu, Fe, Cd в перьях орлана — белохвоста *Haliaeetus albicilla*

Принцип сравнения	Наименование	МЭ и ТТМ (мг/кг)					
		Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	As
Место отбора проб	Москва	$138,91 \pm 9,43$	$3,44 \pm 0,14^*$	$447,66 \pm 16,85$	$30,86 \pm 7,05^*$	$2,46 \pm 0,71$	$0,28 \pm 0,12$
	Ярославль	$86,95 \pm 18,72$	$21,33 \pm 5,52^*$	$444,17 \pm 127,56$	$23,94 \pm 6,67^*$	$1,32 \pm 0,54$	$0,92 \pm 0,36$
	Иваново	$134,26 \pm 8,34$	$5,45 \pm 0,59^*$	$284,87 \pm 41,10$	$1,12 \pm 0,41^*$	$0,40 \pm 0,18$	$0,16 \pm 0,06$
Часть пера	Стержень	$92,92 \pm 33,49$	$13,26 \pm 8,57$	$320,70 \pm 53,40$	$19,04 \pm 9,76$	$0,59 \pm 0,16^*$	$0,44 \pm 0,19$
	Опахало	$130,61 \pm 28,49$	$12,51 \pm 7,52$	$489,73 \pm 165,50$	$5,51 \pm 1,25$	$2,15 \pm 0,58^*$	$0,71 \pm 0,17$
Пол	Самки	$19,30 \pm 0,53^*$	$2,33 \pm 0,22^*$	$372,26 \pm 17,85$	$32,62 \pm 0,01$	$1,47 \pm 0,01^*$	$1,34 \pm 0,17^*$
	Самцы	$162,34 \pm 3,16^*$	$32,58 \pm 7,26^*$	$592,11 \pm 51,35$	$29,97 \pm 2,53$	$0,92 \pm 0,09^*$	$0,11 \pm 0,04^*$
В среднем по виду		$111,77 \pm 10,66$	$12,89 \pm 3,86$	$405,21 \pm 26,23$	$12,27 \pm 1,61$	$1,37 \pm 0,41$	$0,57 \pm 0,08$

*Достоверные отличия ($p < 0,05$)

Рисунок 2
Зависимость уровня накопления кадмия в стержне и опахале перьевого покрова орлана – белохвоста



При изучении различий кумуляции тяжелых металлов в перьях орлана – белохвоста установлено достоверное ($p = 0,012$) увеличение концентрации кадмия стержне в 3,64 раза (Рисунок 2), что свидетельствует о его внешнем поступлении (Janssens et al., 2003).

В перьях самцов, по сравнению с самками, выявлено достоверное ($p < 0,05$) увеличение содержания Cu в 13,98 раза, Zn – в 8,41 раза, что совпадает с более ранними исследованиями (Степанова и др., 2020). У самок установлено достоверное увеличение концентрации ксенобиотиков Cd в 1,60 раза, As – в 12,18 раза. Более высокие концентрации Cd в организме самок связаны с более высоким уровнем накопления производными кожи (Sengupta et al., 2015). По другим элементам достоверных половых отличий уровня содержания не выявлено.

Для проверки возможного взаимозависимого накопления металлов в биосубстратах был проведен попарный корреляционный анализ (Таблица 2), в ходе которого выявлена достоверная средняя прямая связь между уровнем Zn и Fe, Cu и Pb, Cd и As ($r = 0,50$, $r = 0,51$ и $r = 0,83$ соответственно), что свидетельствует о взаимной симбатности между этими металлами в организме животных. Между цинком и мышьяком определено антагонистическое совместное накопление.

В настоящий момент времени в литературе нет информации о фоновом и нормальном уровнях содержания изучаемых токсикантов в перьях исследуемых объектов, поэтому для оценки концентрации металлов в биосубстратах на основании выше указанных сведений были составлены центильные шкалы (Таблица 3).

Таблица 2
Корреляционный анализ совместной кумуляции исследуемых металлов в перьях орлана – белохвоста *Haliaeetus albicilla*

	Медь	Железо	Свинец	Кадмий	Мышьяк
Цинк	0,32	0,50*	–0,27	–0,03	–0,42*
Медь	–	–0,19	0,51*	0,08	–0,26
Железо		–	–0,11	0,31	0,07
Свинец			–	0,02	–0,06
Кадмий				–	0,83*

*Достоверные отличия ($p < 0,05$).

Таблица 3
Центильные шкалы для оценки тяжелых металлов в перьях орланов – белохвостых *Haliaeetus albicilla*

Про- цен- тиль	МЭ и ТТМ (мг/кг)					
	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	As
5	3,8653	0,7826	220,4490	0,0001	0,0459	0,0001
10	8,5369	1,4187	229,0632	0,0002	0,1221	0,0043
25	57,3870	4,2806	284,7511	0,6571	0,4727	0,1127
50	134,068	5,9596	342,2875	1,9602	1,0025	0,2646
75	151,9250	18,6405	421,3341	21,6645	1,6243	0,7015
90	194,2302	36,2686	775,7251	39,1042	3,1811	1,8122
95	208,5125	43,6449	883,6790	42,4552	4,7108	1,8889

По градации была произведена оценка содержания химических веществ в перьях обследованных птиц. Наименьшие колебания в отклонении уровня накопления ксенобиотиков отмечены в отношении Fe и As. У 12,5 % исследуемых орланов – белохвостых выявлено очень низкое содержание Zn, а у 12,5 % очень высокое – Cu, Fe и Pb.

Средние концентрации Zn, Cu, Pb и Cd установлены у 50 % экземпляров орланов, Fe и As – у 62,5 % от общего количества изученных птиц (Рисунок 3). В исследуемой выборке животных выявлена тенденция к увеличению накопления Fe и As.

Чаще всего в исследуемых пробах наблюдали отклонение от среднего уровня содержания элемента I степени по Zn, Cu, Fe и Cd, II степени – по Pb и As (Рисунок 4).

Уровень микроэлементов в организме животных и человека влияет на состояние их здоровья. При существенных отклонениях в их содержании развивают-

Рисунок 3

Оценка уровня накопления исследуемых микроэлементов первым покровом орлана-белохвоста

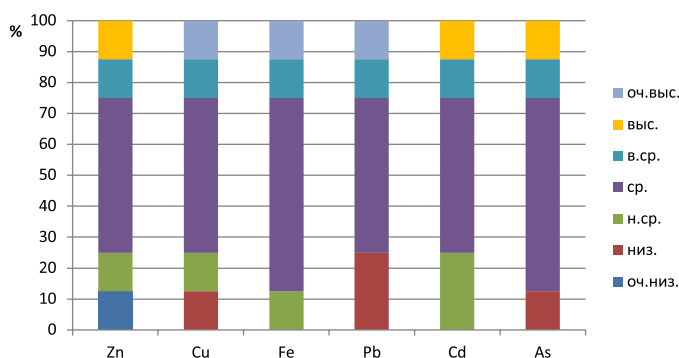
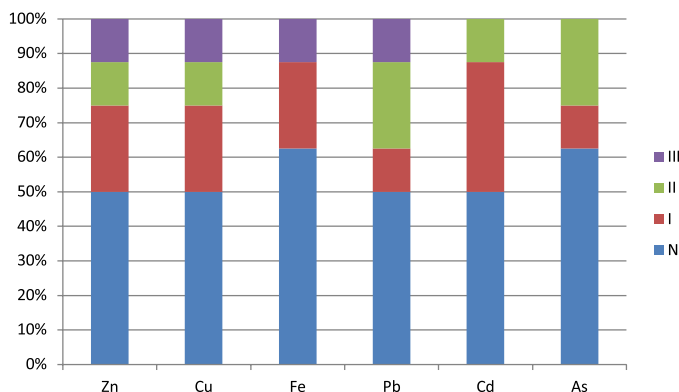


Рисунок 4

Процентное содержание изучаемых микроэлементов в перьях орлана – белохвоста в пределах нормы и отклонения от нее



ся различные патологические состояния. Считается, что цинк необходим для оптимального метаболизма клеток сетчатки, модификации плазматических мембран фоторецепторов, регуляции реакции свет-родопсин и модуляции синаптической передачи. Имеются наблюдения о значительном увеличении концентрации Zn как при злокачественных, так и доброкачественных опухолевых тканях кожи. Это было связано с двумя

возможными причинами: интенсивными метаболическими процессами в неопластических клетках и повышенной активностью внутриклеточных ферментов, которые требуют внутриклеточного цинка для правильного функционирования, или увеличением внутриклеточного Zn, который ингибирует апоптоз опухолевых клеток. Напротив, содержание цинка было значительно ниже, а меди значительно выше в неопластической ткани с гепатоцеллюлярной карциномой и самок с опухолями молочной железы по сравнению со здоровыми тканями. Поэтому предложенные центильные шкалы можно применять для оценки факторов развития паранеопластических офтальмопатий.

Уровень содержания металлов в организме отражает влияние окружающей среды на животных. На это указывает выявленная прямая корреляция между уровнями Cd и Cu в почве и в перьях ($r = 0,26$ и $0,19$ соответственно при $p < 0,05$), а также прямая связь с уровня Cd и металла-синергиста Pb в снежном покрове ($r = 0,26$; $p < 0,05$). Антагонизм между металлами объясняется их связью с белком металлотионеином.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у орланов – белохвостых, содержащихся в зоопарках, наблюдается тенденция к увеличению содержания железа и снижению уровня меди, остальные металлы содержатся в пределах нормы. Уровень концентрации токсикантов в биосубстратах определяется взаимным влиянием металлов – антагонистов и синергистов. Также содержание поллютантов связано с поступлением их из окружающей среды, на что указывает наличие сильной прямой корреляционной связи. В дальнейшем планируется провести исследование особенности накопления микроэлементов в зависимости от внешних (влияние окружающей среды, особенностей питания) и внутренних (пол, возраст, состояние здоровья) факторов и оценить возможность применения центильных шкал для оценки развития паранеопластических офтальмопатий.

ЛИТЕРАТУРА

- Еськов, Е. К., & Кирьякулов, В. М. (2008). Содержание тяжелых металлов в тканях уток, оседло зимующих в Московской области. *Сельскохозяйственная биология*, 6, 115–118.
- Добровольская, Е. В. (2004). Тяжелые металлы в оперении птиц как природная метка. *Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства*, 1, 122–124.
- Лысенкова, Л. Е., & Шубина, О. С. (2004). Содержание тяжелых металлов в оперении большой синицы (*Parus major major* L.), обитающей в районе города Саранска. *Успехи современного естествознания*, 6, 112–113.
- Нода, И. Б., Пономарев, В. А., Клетикова, Л. В., Пронин, В. В., Якименко, Н. Н., & Мартынов, А. Н. (2016). Содержание тяжелых металлов в органах и тканях птиц-урбофилов. *Успехи современной науки и образования*. Меж-

- дународный научно-исследовательский журнал, 3(2), 141–147.
- Остапенко, В. А., & Некрасова, М. Н. (2017). Сохранение крупных соколов методами ex-situ в России. Ежегодник: *Хищные птицы в зоопарках и питомниках*, 26, 16–39.
- Пономарев, В. А., Нода, И. Б., Клетикова, Л. В., Пронин, В. В., & Якименко, Н. Н. (2018). Содержание тяжелых металлов в перьевом покрове птиц разных экологических групп. В *Актуальные исследования в области биологии и смежных наук*, (с. 69–74).
- Пономарев, В. А., Рябов, А. В., Клетикова, Л. В., Пронин, В. В., Якименко, Н. Н., Нода, И. Б., Мартынов, А. Н., Хозина, В. М., & Клетиков, С. С. (2015). Химическая экология птиц-урбофилов на примере серой вороны. *Современные проблемы науки и образования*, 5. <http://www.science-education.ru/128-22143>.
- Степанова, М. В., & Остапенко, В. А. (2020). Содержание тяжелых металлов в снежном покрове разного функционального назначения. *АгроЭкоИнфо*, 3.
- Степанова, М. В., Остапенко, В. А., & Каледин, А. П. (2020). Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах сельскохозяйственного назначения. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 6(86), 15–21.
- Шашкин, М. М. (2010). Распространение, численность и экология орлана — белохвоста (*Haliaeetus albicilla* Linnaeus, 1758) в Среднем Поволжье. *Вестник ОГУ*, 6(112), 99–102.
- Adout, A., Hawlena, D., Maman, R., Paz-Tal, O., & Karpas, Z. (2007). Determination of trace elements in pigeon and raven feathers by ICPMS. *International Journal of Mass Spectrometry*, 267, 109–116.
- Aladdin, D., Ismail, A., Taha, A., & Hussein, Z. (2022). Measurement of the trace element concentration in some livestock and poultry bone samples using X-ray fluorescence. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 34, 67–73. <http://dx.doi.org/10.21271/ZJPAS.34.4.7>
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2009). Comparison of arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury and selenium in bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*), and comparison with common eider (*Somateria mollissima*), glaucous — winged gull (*Larus glaucescens*), pigeon guillemot (*Cephus Columba*), and tufted puffin (*Fratercula cirrhata*) from the Aleutian Chain of Alaska. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 357–367. — <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-008-0321-7>
- Betleja, J., Cempulik, P. & Kwapulinski J. (1993). Ecotoxicological characteristics of the winter habitat of the moorhen (*Gallinula chlorops*). *Pollutants in Environment*, 3, 142–145.
- Çelik, E., Durmus, A., Adizel, O., & Nergiz, H. (2021). A bibliometric analysis: what do we know about metals (loids) accumulation in wild birds? *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 10302–10334 <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-12344-8>
- Chatelain, M., Da Silva, A., Celej, M., Kurek, E., Bulska, E., Corsini, M., & Szulkin, M. (2021). Replicated, urban-driven exposure to metallic trace elements in two passerines. *Scientific Reports*, 11, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-99329-2>
- Fernando, W. B. P. S., Perera, S. P. P. M., Vithanarachchi, R. M., Wijesekera R. D., & Wijesinghe M. R. (2020). Heavy metal accumulation in two synanthropic avian species in Sri Lanka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 688 <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-020-08654-y>
- Gamberg, M., Pratte, I., Brammer, J., Cuyler, C., Elkin, B., Gurney, K., Kutz, S., Larter, N. C., Muir, D., Wang, X., Provencher J. F., & Gamberg, M. (2020). Renal trace elements in barren-ground caribou subpopulations: Temporal trends and differing effects of sex, age and season. *The Science of the Total Environment*, 1, 724:138305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138305>
- Janssens, E., Janssens, E., Dauwe, T., Van Duyse, E., Beer-naert, J., Pinxten, R., & Eens, M. (2003). Effects of heavy metal exposure on aggressive behavior in a small territorial songbird. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45, 121–127. <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-002-0133-7>
- Joshua, G., Ali, Z., Ayub, M., & Nadeem, S. I. (2021). Heavy metal contamination in wild avian species inhabiting human-modified habitats. *Environmental Monitoring and Assessment*, 20, 193(9), 588. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-021-09387-2>
- Kar, P., & Misra, M. (2004). Zinc transporters. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79(11), 1313–1319.
- Kar, I., & Patra, A. (2021). Tissue Bioaccumulation and Toxicopathological Effects of Cadmium and Its Dietary Amelioration in Poultry—a Review. *Biological Trace Element Research*, 199. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-020-02503-2>
- Korbecki, J., Gutowska, I., Chlubek, D., & Baranowska-Bosiacka I. (2019). Lead (Pb) in the tissues of Anatidae, Ardeidae, Sternidae and Laridae of the Northern Hemisphere: a review of environmental studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(13), 12631–12647. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-04799-7>
- Lock, J. W., Thompson, D. R., Furness, R. W. & Bartle J. A. (1992). Metal concentration in seabirds of the New Zealand region. *Environmental Science and Pollution Research*, 75, 289–300. [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(92\)90129-x](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(92)90129-x)
- Masterov, V. B., & Romanov, M. S. (2022). Reproduction efficiency of the Steller's sea Eagle on Sakhalin Island and the lower Amur (Russia). *Nature Conservation Research*, 7, S1, 1–13. <http://dx.doi.org/10.24189/ncr.2022.002>. — EDN OJRQQN.

- Mukherjee, A., Pal, S., Das, P., & Mukhopadhyay, S. (2022). Heavy metal exposure to a migratory waterfowl, Northern Pintail (*Anas acuta*), in two peri-urban wetlands. *Science of The Total Environment*, 851, 158238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158238>
- Pereira, A. M., Maia, M. R. G., Fonseca, A. J. M., & Cabrita, A. R. J. (2021). Zinc in Dog Nutrition, Health and Disease: A Review. *Animals (Basel)*, 11(4), 978. <http://dx.doi.org/10.3390/ani1104097>
- Poesel, A., Nelson, D. A., Gibbs, H. L., & Olesik, J. W. (2008). Use of trace element analysis of feathers as a tool to track fine-scale dispersal in birds. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63, 153–158. <https://doi.org/10.1007/s00265-008-0644-y>
- Santos, A., Recktenvald, M., Carvalho, D., Puerta, E., Sousa-Filho, I., Dórea, J., & Bastos, W. (2021). Mercury in birds (aquatic and scavenger) from the Western Amazon. *Environmental Research*, 201, 111574. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111574>
- Sengupta, P., Banerjee, R., Nath, S., Das, S. & Banerjee S. (2015). Metals and female reproductive toxicity. *Human & Experimental Toxicology*, 34(7), 679–697. <https://doi.org/10.1177/0960327114559611>
- Yao, T., Zhu, G., Zhang, Y., Yan, P., Li, C., de Boer W. F. (2021). Bird's feather as an effective bioindicator for detection of trace elements in polymetallic contaminated areas in Anhui Province, China. *The Science of the Total Environment*, 1, 771:144816. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144816>
- ## REFERENCES
- Eskov, E. K., & Kiryakulov, V. M. (2008). The content of heavy metals in the tissues of ducks wintering settled in the Moscow region. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 6, 115–118.
- Dobrovolskaya, E. V. (2004). Heavy metals in bird plumage as a natural marker. *Sovremennye problemy prirodopol'zovaniya, ohotovedeniya i zverovodstva* [Modern problems of nature management, hunting and fur farming], 1, 122–124.
- Lysenkova, L. E., & Shubina, O. S. (2004). The content of heavy metals in the plumage of the great tit (*Parus major* L.), living in the area of the city of Saransk. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 6, 112–113.
- Noda, I. B., Ponomarev, V. A., Kletikova, L. V., Pronin, V. V., Yakimenko, N. N., & Martynov, A. N. (2016). The content of heavy metals in the organs and tissues of urbophilous birds. *Uspekhi sovremennoj nauki i obrazovaniya. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [Successes of modern science and education. International research journal], 3(2), 141–147.
- Ostapenko, V. A., & Nekrasova, M. N. (2017). Ex-situ conservation of large falcons in Russia. *Ezhegodnik: Hishchnye pticy v zooparkah i pitomnikah* [Yearbook: Birds of Prey in Zoos and Nurseries], 26, 16–39.
- Ponomarev, V. A., Noda, I. B., Kletikova, L. V., Pronin, V. V., & Yakimenko, N. N. (2018). The content of heavy metals in the feather cover of birds of different ecological groups. In *Aktual'nye issledovaniya v oblasti biologii i smezhnyh nauk* [Actual research in the field of biology and related sciences], (pp. 69–74).
- Ponomarev, V. A., Ryabov, A. V., Kletikova, L. V., Pronin, V. V., Yakimenko, N. N., Noda, I. B., Martynov, A. N., Khozina, V. M., & Kletikov, S. S. (2015). Chemical ecology of urbophilous birds on the example of the gray crow. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 5. <http://www.science-education.ru/128-22143>.
- Stepanova, M. V., & Ostapenko, V. A. (2020). The content of heavy metals in the snow cover of different functional purposes. *AgroEkolInfo*, 3.
- Stepanova, M. V., Ostapenko, V. A., & Kaledin, A. P. (2020). The content of heavy metals and arsenic in agricultural soils. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 6(86), 15–21. — <http://dx.doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-15-21>.
- Shashkin, M. M. (2010). Distribution, abundance and ecology of the white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla* Linnaeus, 1758) in the Middle Volga region. *Vestnik OGU* [Bulletin of OSU], 6(112), 99–102.
- Adout, A., Hawlena, D., Maman, R., Paz-Tal, O., & Karpas, Z. (2007). Determination of trace elements in pigeon and raven feathers by ICPMS. *International Journal of Mass Spectrometry*, 267, 109–116.
- Aladdin, D., Ismail, A., Taha, A., & Hussein, Z. (2022). Measurement of the trace element concentration in some livestock and poultry bone samples using X-ray fluorescence. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 34, 67–73. <http://dx.doi.org/10.21271/ZJPAS.34.4.7>.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2009). Comparison of arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury and selenium in bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*), and comparison with common eider (*Somateria mollissima*), glaucous-winged gull (*Larus glaucescens*), pigeon guillemot (*Cepphus columba*), and tufted puffin (*Fratercula cirrhata*) from the Aleutian Chain of Alaska. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 357–367. — <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-008-0321-7>.

- Betleja, J., Cempulik, P. & Kwapulinski J. (1993). Ecotoxicological characteristics of the winter habitat of the moorhen (*Gallinula chlorops*). *Pollutants in Environment*, 3, 142–145.
- Çelik, E., Durmus, A., Adizel, O., & Nergiz, H. (2021). A bibliometric analysis: what do we know about metals (loids) accumulation in wild birds? *Environmental Science and Pollution Research*, 28, <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-12344-8>
- Chatelain, M., Da Silva, A., Celej, M., Kurek, E., Bulska, E., Corsini, M., & Szulkin, M. (2021). Replicated, urban-driven exposure to metallic trace elements in two passerines. *Scientific Reports*, 11, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-99329-2>
- Fernando, W. B. P. S., Perera, S. P. P. M., Vithanarachchi, R. M., Wijesekera R. D., & Wijesinghe M. R. (2020). Heavy metal accumulation in two synanthropic avian species in Sri Lanka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 688 <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-020-08654-y>
- Gamberg, M., Pratte, I., Brammer, J., Cuyler, C., Elkin, B., Gurney, K., Kutz, S., Larter, N. C., Muir, D., Wang, X., Provencher J. F., & Gamberg, M. (2020). Renal trace elements in barren-ground caribou subpopulations: Temporal trends and differing effects of sex, age and season. *The Science of the Total Environment*, 1, 724:138305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138305>
- Janssens, E., Janssens, E., Dauwe, T., Van Duyse, E., Beer-naert, J., Pinxten, R., & Eens, M. (2003). Effects of heavy metal exposure on aggressive behavior in a small territorial songbird. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45, 121–127. <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-002-0133-7>
- Joshua, G., Ali, Z., Ayub, M., & Nadeem, S. I. (2021). Heavy metal contamination in wild avian species inhabiting human-modified habitats. *Environmental Monitoring and Assessment*, 20, 193(9):588. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-021-09387-2>
- Kar, P., & Misra, M. (2004). Zinc transporters. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79(11), 1313–1319.
- Kar, I., & Patra, A. (2021). Tissue Bioaccumulation and Toxicopathological Effects of Cadmium and Its Dietary Amelioration in Poultry—a Review. *Biological Trace Element Research*, 199. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-020-02503-2>
- Korbecki, J., Gutowska, I., Chlubek, D., & Baranowska-Bosiacka I. (2019). Lead (Pb) in the tissues of Anatidae, Ardeidae, Sternidae and Laridae of the Northern Hemisphere: a review of environmental studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(13), 12631–12647. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-04799-7>
- Lock, J. W., Thompson, D. R., Furness, R. W. & Bartle J. A. (1992). Metal concentration in seabirds of the New Zealand region. *Environmental Science and Pollution Research*, 75, 289–300. [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(92\)90129-x](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(92)90129-x)
- Masterov, V. B., & Romanov, M. S. (2022). Reproduction efficiency of the Steller's sea Eagle on Sakhalin Island and the lower Amur (Russia). *Nature Conservation Research*, 7, S1, 1–13. <http://dx.doi.org/10.24189/ncr.2022.002>. — EDN OJRQQN.
- Mukherjee, A., Pal, S., Das, P., & Mukhopadhyay, S. (2022). Heavy metal exposure to a migratory waterfowl, Northern Pintail (*Anas acuta*), in two peri-urban wetlands. *Science of The Total Environment*, 851, 158238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158238>
- Pereira, A. M., Maia, M. R. G., Fonseca, A. J. M., & Cabrita, A. R. J. (2021). Zinc in Dog Nutrition, Health and Disease: A Review. *Animals (Basel)*, 11(4), 978. <http://dx.doi.org/10.3390/ani1104097>
- Poesel, A., Nelson, D. A., Gibbs, H. L., & Olesik, J. W. (2008). Use of trace element analysis of feathers as a tool to track fine-scale dispersal in birds. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63, 153–158. <https://doi.org/10.1007/s00265-008-0644-y>
- Santos, A., Recktenvald, M., Carvalho, D., Puerta, E., Sousa-Filho, I., Dórea, J., & Bastos, W. (2021). Mercury in birds (aquatic and scavenger) from the Western Amazon. *Environmental Research*, 201, 111574. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111574>
- Sengupta, P., Banerjee, R., Nath, S., Das, S. & Banerjee S. (2015). Metals and female reproductive toxicity. *Human & Experimental Toxicology*, 34(7), 679–697. <https://doi.org/10.1177/0960327114559611>
- Yao, T., Zhu, G., Zhang, Y., Yan, P., Li, C., de Boer W. F. (2021). Bird's feather as an effective bioindicator for detection of trace elements in polymetallic contaminated areas in Anhui Province, China. *The Science of the Total Environment*, 1, 771:144816. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144816>