
ЭКОЛОГИЯ

УДК 636.596:619:546.48:636.596

Характер и закономерности накопления свинца в тканях и органах птиц и выведение его из организма в условиях эксперимента

Е.Г. ТЮЛКОВА, М.Е. НИКИФОРОВ

В статье исследуются характер и закономерности накопления свинца – одного из наиболее распространенных и опасных токсикантов – в костях, почках, печени, мышцах, сердце, перьях сизых голубей при экспериментальном скормлении различных доз металла с кормом, а также особенности его выведения из организма птиц с экскрементами. Путем сравнения с контрольной группой птиц выявлены наибольшие уровни накопления данного элемента в костях и новом оперении птиц и превышение содержания свинца в экскрементах птиц показателей накопления в органах, тканях и покровах.

Ключевые слова: биоиндикация, птицы, свинец, эксперимент, накопление, корм, органы и ткани, перья, экскременты.

The article investigates the character and laws of lead accumulation being one of the most widespread and dangerous pollutants in bones, kidneys, liver, muscles, heart, feathers of blue rock pigeons at experimental receipting of various doses of metal with forage, and also features of its deducing from bird's organism with excrement. Comparing with control group of birds the greatest levels of element accumulation in birds' bones and new plumage, as well as excess of lead in excrement of accumulation indicators in bodies, muscles and coverings are revealed in the article.

Keywords: bioindication, birds, lead, experiment, accumulation, forage, bodies and fabrics, feathers, excrement.

Введение

Разработка и совершенствование путей и методов использования биоиндикаторов для оценки и мониторинга последствий техногенного химического загрязнения окружающей среды приобретает все большую актуальность как в связи с ростом антропогенного воздействия на природные экосистемы, так и по причине отсутствия в настоящее время надежных методов получения интегрированных показателей, характеризующих такие последствия.

В результате исследований в антропогенном ландшафте установлены диапазоны возможных уровней содержания тяжелых металлов в организме птиц [1]–[5]. Однако является не выясненным, как конкретно уровни накопления токсикантов в органах и тканях птиц связаны с содержанием их в среде обитания. В этой связи особенно актуальным представляется использование комплексного подхода к исследованию органов и тканей птиц в условиях эксперимента при известных концентрациях модельных тяжелых металлов в корме и выяснение закономерностей накопления, распределения и выведения токсикантов из организма, что в совокупности необходимо для установления корреляционных связей и регрессионных зависимостей в системе «природная среда – вид-индикатор» и обоснования индикационных свойств этой группы животных.

Материал и методы исследования

Эксперимент по определению характера накопления и выведения свинца в организме птиц был осуществлен для выяснения количественных показателей депонирования элемента в функционально различных органах и тканях, а также баланса «накопление-выведение» при

разных концентрациях токсиканта в корме. Выбор свинца в качестве модельного загрязнителя для экспериментальных работ мотивировался значительным его присутствием и концентрациями в выбросах, продуцируемых при работе отдельных отраслей промышленности и транспорта, высокой токсичностью, а также способностью в сравнительно малых количествах вызывать гибель или аномалии развития, в том числе и на эмбриональном уровне.

Основным источником поступления свинца в окружающую среду является стекольная промышленность, на долю которой приходится около 88,1% общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и поверхностные воды [6]. Свой вклад в загрязнение окружающей среды свинцом вносят машиностроение и металлообработка, а также черная металлургия (4,0% и 3,5% выбросов загрязнителей соответственно). На долю транспорта приходится 0,7% общего объема выбросов токсикантов. Свинец поступает в окружающую среду в виде сульфатов, сульфидов, пыли, шламов. Кроме того, металлический свинец поступает в природные местообитания в виде свинцовой охотничьей дроби, накапливается на дне водоемов и часто попадает в пищеварительный тракт водоплавающих птиц.

В эксперименте использовались сизые голуби городской популяции г. Минска. Выбранные объекты предположительно в наибольшей степени подвержены риску загрязнения тяжелыми металлами в связи с обитанием в урбанизированном ландшафте.

Всего было сформировано 7 групп птиц: 1-я – контрольная, 2–7-я – опытные. Каждая группа состояла из 3 птиц. В начале эксперимента были извлечены перья птиц: по 4 рулевых и по 2 маховых с каждой стороны.

Во время эксперимента каждую птицу содержали отдельно. Свинец вводили с хлебом в виде растворов соли $Pb(CH_3COO)_2 \times 3H_2O$. Размеры скармливаемых доз рассчитывались на элемент исходя из установленных ветеринарно-санитарными нормами по безопасности кормов и кормовых добавок размеров предельно допустимых концентраций (5 мг/кг корма) с учетом средней массы корма, ежедневно съедаемого птицей. При совместном со свинцом скармливании кадмий вводили в виде раствора соли $CdCl_2 \times 2,5H_2O$ в дозах 10 Cd – 0,28 мг и 20 Cd – 0,57 мг. Исходя из этого доза 1 Pb составила 0,32 мг свинца, 5 Pb – 1,6 мг свинца, 10 Pb – 3,2 мг свинца, 20 Pb – 6,4 мг свинца, 10+10 – 3,2 мг свинца и 0,28 мг кадмия, 20+20 – 6,4 мг свинца и 0,57 мг кадмия.

Контрольная группа птиц получала во время эксперимента только корм; птицы 2–7-й опытных групп получали с хлебом растворы солей различных концентраций свинца и кадмия. Птицы 2-й группы получали с хлебом раствор соли, содержащий 1 дозу ПДК по свинцу, 3-й группы – дозу, превышающую ПДК по свинцу в 5 раз, 4-й группы – дозу, превышающую ПДК по свинцу в 10 раз, 5-й группы – дозу, превышающую ПДК по свинцу в 20 раз. Аналогичным образом скармливались совместные дозы свинца и кадмия, превышающие ПДК в 10 и 20 раз.

В состав кормовой смеси входили зерно злаковых культур, шрот подсолнечный, мука кормовая, мел, фосфат, премикс, соль, авизим.

Ежедневно осуществлялся сбор экскрементов для анализа от каждой опытной и контрольной группы птиц.

Свинец отдельно и совместно с кадмием прекратили вводить в рацион в момент времени, когда на месте извлеченных перьев сформировались новые, которые также были извлечены (время эксперимента – 45 дней). Кроме того, в конце эксперимента были извлечены также и старые перья птиц по такой же схеме, как и перья до начала эксперимента. По окончании введения свинца отдельно и совместно с кадмием птицы были усыплены, а их органы и ткани (перья, печень, почки, сердце, мышечная и костная ткани) подверглись исследованиям.

Анализ содержания свинца в перечисленных органах и тканях сизых голубей проводился в химико-аналитической испытательной лаборатории Научно-практического центра НАН Беларуси по биоресурсам методом индуктивно сопряженной плазменной масс-спектрометрии и вычислялись как среднее арифметическое результатов 3-х параллельных определений в пределах отдельной дозы в каждом органе и ткани.

Подготовка проб осуществлялась методом мокрой минерализации в присутствии концентрированных соляной и серной кислот.

Количество свинца и кадмия на абсолютно сухую массу исследуемых тканей, органов и экскрементов определяли с учетом массовой доли влаги печени (74,1%), почек (74,0%), сердца (80,0%), мышечной ткани (76,0%), костной ткани (30,0%) и экскрементов (50,0%), а также массы навесок исследованных органов и тканей, использованных в процессе подготовки проб. При обработке результатов по перьям их массовая доля влаги в расчетах не учитывалась вследствие малых величин.

Всего проанализировано 110 проб органов и тканей сизого голубя, 70 проб экскрементов и определены коэффициенты накопления свинца как отношение содержания элемента в сыром веществе внутренних органов и экскрементов, а также костях и перьях к общему количеству свинца, поступившего с кормом, выраженное в процентах. Достоверность различий между содержанием свинца в органах и тканях птиц экспериментальных и контрольной группы оценивалась методом дисперсионного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения содержания свинца в организме сизых голубей, которым в эксперименте скармливались различные дозы свинца, представлены в таблице 1. Как следует из данных таблицы, накопление свинца различными органами и тканями птиц происходит неравномерно при различном количестве элемента, вводимого с кормом. Наибольшие уровни накопления свинца при всех его дозах в корме обнаружены в костях, что, возможно, связано с их депонирующей микроэлементной функцией. Следует отметить, что по мере увеличения количества свинца в корме от 1 до 20 доз уровни накопления его в костях также закономерно возрастали.

Таблица 1 – Содержание свинца в тканях и внутренних органах сизого голубя

Количество доз свинца	Содержание свинца, мкг/г сухого вещества				
	кости	почки	печень	мышцы	сердце
1 Pb	10,936±0,0212	0,211±0,0004	0,056±0,0002	0,171±0,0004	0,025±0,0007
5 Pb	12,801±0,0194	1,372±0,0031	0,539±0,0007	0,039±0,0002	0,019±0,0003
10 Pb	20,759±0,0311	1,901±0,0026	0,732±0,0013	0,071±0,0009	0,015±0,0001
20 Pb	31,741±0,0254	6,258±0,0137	2,404±0,0028	0,150±0,0007	0,091±0,0002
10 Pb + 10 Cd	27,627±0,0804	2,155±0,0081	0,931±0,0031	0,068±0,0005	0,014±0,0004
20 Pb + 20 Cd	28,375±0,0546	6,208±0,0094	2,728±0,0078	0,114±0,0003	0,055±0,0017
контроль	5,064±0,0159	0,142±0,0003	0,064±0,0005	0,016±0,0001	0,025±0,00003

Подтверждением депонирующей функции костной ткани может быть еще и то, что уровень содержания свинца в костях даже контрольной группы птиц был достаточно высок. Как ранее уже было сказано, птицы для эксперимента были взяты из городской среды, и это объясняет такие существенные изначальные уровни содержания свинца в их костях.

Что касается других исследованных органов и тканей, то в сердце и мышцах не проявлялось четкой зависимости величины накопления от количества поступаемого в организм токсиканта. При максимальных скармливаемых дозах 20 Pb уровни накопления были в 2–3 раза выше, чем при средних дозах 5 Pb и 10 Pb. Но при этом накопление при средних дозах не превышало показаний ни в контроле, ни при минимальной дозе скармливания 1 Pb. Можно было предположить, что в данном случае проявляется существование какого-то порогового уровня, до которого проникновение свинца блокируется в организме. Однако такое предположение требует более глубокой экспериментальной проверки.

Иная ситуация прослеживается с накоплением свинца органами выделительной системы. В пределах градиента задаваемой концентрации в корме 1–20 Pb происходило закономерное увеличение содержания токсиканта в печени и почках. При этом абсолютные показатели накопления в почках примерно в 2–2,5 раза были выше, чем в печени.

В целом, установлено увеличение содержания свинца в костях в 2,2–9,2 раза по сравнению с контролем, в почках – в 1,5–44,1 раза, в печени – в 0,9–37,6 раза, в мышцах – в 9,4–10,7 раза, в сердце – в 3,6 раза.

Анализ содержания свинца в исследуемых органах и тканях при совместном скармливании свинца с кадмием свидетельствует, что добавление к 10 и 20 дозам свинца 10 и 20 доз кадмия привело к росту содержания свинца в печени; некоторое снижение отмечалось в сердце и мышечной ткани. Почки и кости продемонстрировали неравномерную тенденцию изменения концентрации свинца по мере роста содержания в корме свинца и кадмия: после концентрации в 10 доз ПДК по двум элементам дальнейшего увеличения содержания свинца не происходило по сравнению с введением только 10 доз свинца с кормом, а наблюдалось даже его незначительное снижение.

Таким образом, только в печени сизого голубя было отмечено некоторое увеличение накопления свинца при совместном скармливании с кадмием по сравнению с вариантом, когда скармливался только один свинец. Во всех других исследованных органах и тканях не выявлено однозначных зависимостей накопления свинца от изменения токсического воздействия на организм при совместном введении свинца с кадмием.

Перьевой покров птиц в плане накопления тяжелых металлов представляет особый интерес. Прежде всего, это обусловлено его сменяемостью. Все птицы в течение года один или несколько раз линяют, заменяя весь перьевой покров или его часть. Учитывая мобильность птиц, способность активно перемещаться не только в пределах индивидуального участка обитания, иногда весьма значительного по площади, но и на очень дальние расстояния в процессе кормовых и сезонных миграций, условия отрастания новых перьев могут быть очень различными по содержанию тяжелых металлов в корме и в окружающей среде.

Исходя из вышесказанного, в экспериментальных условиях при задаваемой концентрации модельного тяжелого металла в корме представляло интерес исследование как старых перьев, выросших до начала дозированного скармливания токсиканта, так и новых перьев, выросших за период эксперимента на месте удаленных. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание свинца в перьях сизого голубя

Количество доз свинца	Содержание свинца в перьях, мкг/г сухого вещества	
	новых	старых после эксперимента
1 Pb	0,236±0,0004	1,057±0,0029
5 Pb	1,041±0,0026	1,885±0,0055
10 Pb	3,477±0,0047	5,786±0,0080
20 Pb	20,856±0,0116	6,576±0,0148
10 Pb +10 Cd	4,852±0,0129	2,985±0,0120
20 Pb +20 Cd	12,741±0,0131	6,615±0,0655
контроль	0,039±0,0001	0,054±0,0002

Из данных таблицы 2 видно, что в зависимости от начального уровня, т. е. от контроля, скармливание дозы, 5-кратной ПДК, приводило к увеличению содержания металла в новом перье примерно в 27 раз, 10-кратной дозы – в 89 раз и 20-кратной – в 535 раз. Однако начальное загрязнение перьев свинцом несколько различалось, что отмечено даже на контрольных птицах. Это оказывает определенное влияние на результат при расчете кратности увеличения уровня накопления в эксперименте, но не влияет на выявление общей тенденции увеличения свинца в перье при увеличении скармливаемой дозы.

В старых перьях в процессе эксперимента количество свинца также возросло по сравнению с контролем, т. е. перьями до начала экспериментального кормления токсикантом. Показательна особенность динамики накопления, обнаруживаемая при сравнении новых, отрастающих в период эксперимента, и старых перьев. Как в одних, так и в других перьях удельное содержание свинца возрастало в ряду увеличения скармливаемой дозы. Однако уровни

накопления имели явные различия. Для старых перьев характерно постепенное и равномерное возрастание показателей содержания свинца с увеличением вводимой его концентрации, причем при максимальной дозе в корме в 20 ПДК уровень содержания в пере примерно в 122 раза превысил показатель в контроле. Поскольку активных процессов в отросшем пере не происходит, увеличение в них концентрации в процессе скармливания токсиканта с пищей, возможно, объясняется процессом диффузии из окружающих очин пера тканей.

В растущих перьях элемент накапливался вначале менее интенсивно, но затем при 20 дозах в корме происходил резкий скачок накопления, значительно превышающий таковое в старых перьях. Можно предположить, что усиление токсической нагрузки стимулирует функции выведения свинца из организма путем его депонирования в оперении. Тем не менее, при росте нового оперения, т. е. в очаге активных регенерационных процессов, накопление свинца происходит слабее, но только до какого-то определенного порогового значения интенсивности поступления токсиканта в организм. Резкое увеличение накопления растущим оперением свинца при его поступлении в размере 20 доз позволяет предположить наличие различных механизмов или путей детоксикации организма птиц.

Сравнение старых перьев, взятых у птиц до эксперимента и после его завершения, показывает, что перья до эксперимента, которые все могут рассматриваться как «контроль», содержали намного больше свинца, чем старые перья от контрольных птиц, изъятые после завершения эксперимента. Так, старые перья до начала эксперимента содержали свинец в количестве 0,171–2,614 мкг/г сухого вещества, а контрольные после окончания эксперимента – 0,054 мкг/г сухого вещества. Наиболее логичным выглядит объяснение данного обстоятельства обратной миграцией свинца из оперения при снижении его концентрации в организме вследствие питания птиц не загрязненной пищей в экспериментальных условиях.

Таким образом, усиление токсической нагрузки на организм птиц стимулирует функции выведения свинца из организма путем его депонирования в оперении, особенно новом, рост которого сопровождается интенсивными обменными процессами в организме, вследствие чего накопление свинца возрастает в новых перьях – в 6,1–534,8 раза по сравнению с контрольной группой, в старых перьях после окончания эксперимента – в 19,6–121,8 раза.

Достоверность различий между содержанием свинца в органах и тканях птиц экспериментальных и контрольных групп в эксперименте оценивалась с помощью дисперсионного анализа (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты дисперсионного анализа содержания свинца в тканях и внутренних органах птиц экспериментальных и контрольных групп

Ткани и внутренние органы	Значения F-критерия	
	при раздельном скармливании	при совместном скармливании
кости	776,63	213,48
сердце	30,61	1,74
мышцы	60,02	81,36
печень	1813,44	308,39
почки	602,63	732,21
перья новые	9536,31	1433,64
перья старые после эксперимента	520,25	28,69

Примечание: значение $F_{критич.} (4, 10) = 3,48$ при $p \leq 0,05$ для раздельного скармливания; $F_{критич.} (2, 6) = 5,14$ при $p \leq 0,05$ – для совместного скармливания. Курсивом отмечены недостоверные отличия.

Результаты анализа дисперсионного комплекса, включающего содержание свинца у птиц контрольных и экспериментальных групп, свидетельствуют о том, что значение F-критерия превышает F-критическое для всех исследованных органов и тканей (при $f = 4, 10$ и $p \leq 0,05$; $f = 2, 6$ и $p \leq 0,05$) и содержание свинца достоверно отличается от птиц контрольной группы. Исключение составляет содержание свинца в сердце при совместном скармливании с кадмием.

Для выяснения влияния количества свинца, содержащегося в корме, на интенсивность его выведения из организма сизых голубей нами сравнивались результаты определения содержания свинца в экскрементах в различные периоды его скармливания (таблица 4).

Анализ содержания свинца в экскрементах по пентадам показал, что выведение токсиканта происходит неравномерно, причем амплитуда различий уровня содержания возрастает с увеличением ежедневно скармливаемой дозы.

Таблица 4 – Содержание свинца в экскрементах сизого голубя в различные периоды скармливания

Периоды скармливания, дни	Содержание свинца, мкг/г сухого вещества				
	количество свинца в корме, дозы				
	1	5	10	20	контроль
1	13,585	63,987	148,052	235,443	0,391
5	15,052	34,417	68,526	264,640	0,526
10	15,338	50,982	69,460	192,047	0,528
15	15,872	57,508	72,459	277,906	0,288
20	14,699	30,577	79,059	305,836	0,535
25	16,052	57,228	79,059	51,761	0,555
30	16,032	60,107	77,726	304,236	0,506
35	16,525	66,860	77,126	285,705	0,490
40	16,898	56,374	82,525	81,059	0,340
45	17,672	60,547	83,792	354,098	0,613
среднее	15,773±0,023	53,859±0,240	83,778±0,459	235,273±1,965	0,477±0,002
min	13,585	30,577	68,526	51,761	0,288
max	17,672	66,860	148,052	354,098	0,613

Так, при скармливании дозы в 1 Pb отличия минимального и максимального за пентаду содержания элемента от среднего значения в экскрементах составляли 13,9% и 12,0% от среднего значения соответственно. При 5 Pb, 10 Pb и 20 Pb различия от среднего значения составили соответственно 43,2% и 24,1% при дозе 5 Pb; 18,2% и 76,7% при дозе 10 Pb; 78,0% и 50,5% при дозе 20 Pb.

Наблюдаемые весьма существенные колебания могут свидетельствовать либо о неравномерности выведения токсиканта из организма, либо не вполне отработанной методике усреднения пробы для анализа, либо том и другом вместе. Поскольку суточная порция дозы свинца скармливалась за раз, это могло вызывать повышение концентрации элемента в течение некоторого времени и в экскрементах. В зависимости от того, какая часть таких экскрементов с повышенным уровнем токсиканта попадала в усредненную пробу, наблюдались более или менее значительные отклонения от среднего показателя.

Принципиальным для наших исследований является выяснение характера изменений выведения с увеличением вводимой дозы токсиканта, который свидетельствует об увеличении выведения токсиканта из организма при росте вводимой дозы.

С целью определения соотношения накопления свинца в органах и тканях и его количества, поступившего в организм птиц, нами были рассчитаны коэффициенты накопления, значения которых показаны в таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициенты накопления свинца

Органы и ткани птиц	Коэффициенты накопления, %			
	количество свинца в корме, дозы			
	1	5	10	20
кости	3,137	0,735	0,596	0,455
почки	0,016	0,021	0,015	0,024

печень	0,011	0,022	0,015	0,025
мышцы	0,463	0,021	0,019	0,020
сердце	0,004	0,001	0,0002	0,001
перья новые	0,003	0,002	0,004	0,012
перья старые после эксперимента	0,168	0,060	0,092	0,052
экскременты	1,919	1,311	1,019	1,431

Коэффициенты накопления свинца определяли как отношение содержания элемента в сыром веществе внутренних органов и экскрементов, а также костях и перьях к общему количеству свинца, поступившего с кормом, выраженное в процентах. Для этого рассчитывалось общее количество свинца за весь период эксперимента (1 Pb – 14,4 мг, 5 Pb – 72,0 мг, 10 Pb – 144,0 мг, 20 Pb – 288,0 мг); средняя масса исследуемых органов и тканей (кости – 41,3 г, почки – 2,88 г, печень – 7,65 г, мышцы – 93,34 г, сердце – 4,54 г, перья новые – 1,62 г, перья старые после эксперимента – 22,87 г, экскременты – 8,76 г) и массовая доля влаги исследуемых органов и тканей (отмечена выше).

Из данных таблицы 5 видно, что среди исследуемых органов и тканей птиц наибольшими коэффициентами накопления свинца при его различном количестве в корме характеризуются кости и старые перья птиц. Полученные тенденции увеличения коэффициентов накопления свинца в органах и тканях птиц при его росте поступления с кормом показывают преобладающую реакцию почек, печени и новых перьев на рост величины токсического воздействия на организм. При этом резкий рост величины коэффициентов накопления свинца показывает, что для новых перьев такая реакция наиболее ярко выражена.

Сравнение показаний накопления свинца в органах, тканях и покровах экспериментальных птиц с показателями в экскрементах при различных дозах скармливаемого токсиканта показало более высокую концентрацию свинца в экскрементах по сравнению с органами и тканями, за исключением костей при 1 дозе свинца, что в принципе отражает общую эффективность системы детоксикации организма.

Такая тенденция, возможно, объясняется образованием нестойких комплексных соединений свинца в организме ($K_{\text{нест.}} = 10^{-7} - 10^{-3}$ [7]) и в этой связи более быстрым их удалением с экскрементами в процессе метаболизма (для соединений кадмия, например, $K_{\text{нест.}} = 10^{-17} - 10^{-3}$).

Установленные в результате эксперимента закономерности накопления свинца и кадмия в органах и тканях птиц при задаваемых концентрациях в корме могут быть использованы для разработки тест-систем для биоиндикации состояния окружающей среды и оценки уровней загрязнения тяжелыми металлами кормовых объектов птиц на основании анализа получаемого от птиц биологического материала.

Выводы

1. Результаты экспериментального скармливания сизым голубям доз свинца (9,1–182,9 мкг/г корма) показали наибольшие уровни накопления данного элемента в костях и новом оперении птиц, что, возможно, связано с депонирующей микроэлементной функцией костей и наличием очага активных регенерационных процессов в области растущего оперения. Далее по мере снижения уровня накопления свинца следуют старые перья после окончания эксперимента, почки, печень, мышцы и сердце. По сравнению с контролем накопление свинца увеличивается в костях в 2,2–9,2 раза, в новых перьях – в 6,1–534,8 раза, в старых перьях после окончания эксперимента – в 19,6–121,8 раза, в почках – в 1,5–44,1 раза, в печени – в 0,9–37,6 раза, в мышцах – в 9,4–10,7 раза, в сердце – в 3,6 раза.

2. Экспериментальной оценкой влияния кадмия на уровни накопления свинца в органах и тканях при совместном попадании в организм птиц отмечено возрастание накопления свинца в печени сизых голубей.

3. Анализ содержания свинца в экскрементах показал неравномерное возрастание амплитуды различий максимального и минимального уровней содержания свинца от среднего значения с увеличением ежедневно скармливаемой дозы.

4. Наибольшие коэффициенты накопления свинца при его различном количестве в корме среди исследуемых органов и тканей отмечаются в костях (0,455–3,137%) и старых перьях птиц (0,052–0,168%). Увеличение коэффициентов накопления свинца в органах и тканях птиц при росте его поступления с кормом демонстрирует преобладающую реакцию почек, печени и новых перьев на рост величины токсического воздействия на организм, при этом резкий рост величины коэффициентов накопления свинца показывает, что именно для новых перьев такая реакция наиболее ярко выражена.

5. В экскрементах птиц содержание свинца превышает показатели накопления в органах, тканях и покровах (за исключением костей при дозе 1 Pb), что, возможно, объясняется образованием нестойких комплексных соединений свинца с веществом тканей и органов и в этой связи достаточно быстрым их удалением с экскрементами в процессе метаболизма и отражает эффективность выделительной системы организма экспериментальных птиц в условиях стрессового воздействия токсиканта.

Литература

1. Лебедева, Н.В. Экоотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц / Н.В. Лебедева. – М. : Наука, 1999. – 199 с.
2. Кирьякулов, В.М. Последствия загрязнения свинцом и другими поллютантами среды обитания водоплавающей дичи : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 ; 06.02.03 / В.М. Кирьякулов ; ФГОУ ВПО «Рос. гос. аграр. заоч. ун-т». – М., 2009. – 22 с.
3. Сергеев, А.А. Тяжелые металлы в охотничьих птицах Кировской области (биологические, индикационные и санитарно-гигиенические аспекты) : дис. ... канд. биол. наук : 06.02.03 / А.А. Сергеев. – Киров, 2003. – 183 л.
4. Kaimal, B. Laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry as a technique to quantify trace metals in bird feathers / B. Kaimal, R.E. Hannigan, C.B. Dowling // ICP Inf. Newslett. – 2007. – № 8. – P. 839.
5. Concentrations of metals in blood and feathers of nestling ospreys (*Pandion haliaetus*) in Chesapeake and Delaware Bays / B.A. Ratter [et al.] // Arch. Environ. Contam. and Toxicol. – 2008. – № 1. – P. 114–122.
6. Головатый, С.Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С.Е. Головатый. – Минск : РУП «Ин-т почвовед. и агрохим.», 2002. – 239 с.
7. Вторичная диссоциация комплексов. Константа диссоциации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://chem.-astu.ru/chair/study/genchem/r5_4.htm. – Дата доступа : 25.04.2011.

Государственное научно-производственное
объединение «Научно-практический центр
НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск

Поступило 24.01.12