

Особенности накопления свинца в органах и тканях сизого голубя

М. Е. НИКИФОРОВ, Е. Г. ТЮЛЬКОВА

Введение

Согласно аналитических данных, качество окружающей среды в Республике Беларусь за последние годы оценивается как стабильно благополучное [1].

Однако рост промышленных предприятий, развитие научно-технического прогресса, сильнозагрязненные почвы большого количества контролируемых городов Республики Беларусь (по свинцу установлены наибольшие коэффициенты аномальности – отношение среднего содержания загрязнителя в почве к среднему фоновому содержанию) свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования методов контроля за состоянием окружающей среды.

Для мониторинговых исследований достаточно перспективными представляются результаты комплексных исследований зависимости химизма оперения птиц от характера питания, степени антропогенной нагрузки региона, характера местообитания вида птиц. Важным является также выяснение возможностей оценки загрязнения организма птицы путем прижизненного исследования перьевого покрова. Изучение уровней накопления тяжелых металлов в печени и почках птиц в зависимости от их количества, поступающего из внешней среды, имеет важное значение, так как это органы, где происходит детоксикация и выведение токсикантов из организма птиц. Кости птиц отражают результаты долговременного воздействия на организм токсикантов из внешней среды.

В этой связи целью нашего исследования явилось изучение особенностей накопления свинца в органах и тканях птиц и возможности их использования для оценки степени антропогенной нагрузки на природную среду региона.

Материал и методы исследования

В соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585 настоящее исследование соответствует одному из приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. «Проблемы миграции и накопления загрязняющих веществ в ландшафтах и трофических цепях» и может являться основой для разработки эффективных мер сохранения популяций птиц и охраны окружающей среды от химического загрязнения и рационального природопользования.

Схема исследований представлена на рисунке 1.

Эксперимент проводился в течение 2009–2010 гг. на сизых голубях как типичных представителях растительноядных видов. Всего было сформировано 7 групп птиц: 1-я – контрольная, 2–7-я – опытные. Перед началом введения свинца у птиц извлекли перья: по 4 рулевых и по 2 маховых с каждой стороны. Во время эксперимента каждую птицу содержали отдельно в клетке размером 34×30×27 см. Свинец и кадмий совместно со свинцом вводили с хлебом в виде растворов солей $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\times 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CdCl}_2\times 2,5\text{H}_2\text{O}$.

Количество вводимых элементов представлено в таблице 1.

Свинец в эксперименте был выбран потому, что по токсичности этот элемент принадлежит к первому классу опасности; в списке химических загрязнителей он занимает приоритетное положение и является кумулятивным ядом, способным аккумулироваться в костях, печени и почках.

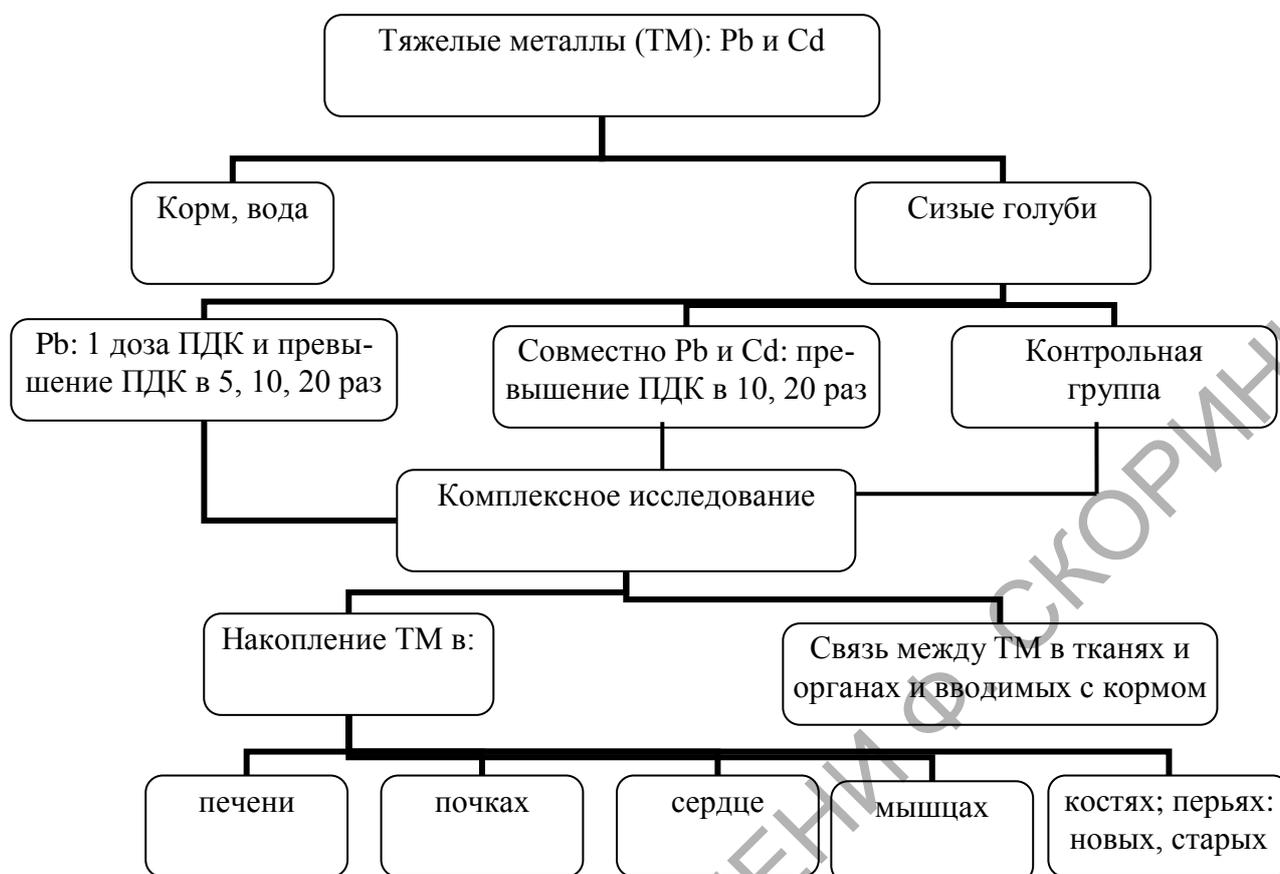


Рисунок 1 – Схема исследований

Таблица 1 – Количество свинца и кадмия, вводимого с кормом

Доза свинца и кадмия	Количество свинца и кадмия, мг
1 Pb	0,32
5 Pb	1,6
10 Pb	3,2
20 Pb	6,4
10 Pb +10 Cd	3,2+0,28
20 Pb +20 Cd	6,4+0,568

Птицы контрольной группы получали только корм, птицы 2 – 7-й опытных групп получали с хлебом и кормом растворы солей свинца, содержащие 1 дозу ПДК в корме по свинцу (5,0 мг/кг) и дозы, превышающие ПДК по свинцу в 5, 10 и 20 раз; а также совместно свинец и кадмий в дозах, превышающих ПДК в 10 и 20 раз. Совместное введение свинца и кадмия обусловлено выяснением возможного синергического или антагонистического влияния кадмия на уровень накопления свинца в тканях и органах птиц.

В состав кормовой смеси входили зерно злаковых культур, шрот подсолнечный, мука кормовая, мел, фосфат, премикс, соль, авизим. Массовая доля сырого протеина в корме составляла 14,26 %; кальция – 2,03 %; фосфора – 0,58 %.

Свинец прекратили вводить в рацион в момент времени, когда на месте извлеченных перьев оформились новые, которые также были извлечены. Кроме того, в конце эксперимента были извлечены также и старые перья птиц по такой же схеме: по 4 рулевых и по 2 маховых с каждой стороны.

По окончании введения свинца и свинца совместно с кадмием был проведен убой птиц всех наблюдаемых групп. Взяты пробы печени, почек, сердца, мышечной и костной ткани.

Анализ содержания свинца в перечисленных органах и тканях, а также перьях и костях сизых голубей проводились в химико-аналитической испытательной лаборатории ГНУ

«Центральный ботанический сад НАН Беларуси» методом индуктивно сопряженной плазменной масс-спектрометрии. Подготовка проб осуществлялась методом мокрой минерализации в присутствии концентрированных соляной и серной кислот.

В работе были определены коэффициенты накопления свинца как отношение содержания свинца в органах, костях и перьях птиц к его количеству, поступившему с кормом, выраженное в процентах.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения содержания свинца в тканях и органах сизого голубя, представленные в таблице 2, показали, что накопление свинца различными органами и тканями птиц происходит неравномерно при различном количестве свинца, введенного с кормом.

Так, наибольшие уровни накопления свинца при всех его дозах в корме обнаружены в костях и перьях птиц, что возможно связано с депонирующей микроэлементной функцией костей и отсутствием барьерных механизмов мертвых клеток пера при проникновении чужеродных веществ. Следует отметить, что по мере увеличения количества свинца в корме от 1 до 20 доз уровни накопления его в костях и перьях также возрастали.

Таблица 2 – Содержание свинца в органах и тканях сизого голубя

Количество свинца	Содержание свинца, мкг/г сухого вещества							
	сердце	печень	почки	мышцы	кости	перья		
						до введения свинца	новые	после окончания введения свинца
1 Рb	0,048	0,052	0,209	0,183	11,014	0,444	0,233	0,966
5 Рb	0,010	0,552	1,308	-	12,737	1,160	0,982	1,937
10 Рb	0,014	0,693	1,984	-	19,920	1,672	3,520	5,565
20 Рb	0,085	2,340	6,035	0,128	31,472	2,614	21,208	6,168
10+10	-	1,011	2,331	-	30,083	-	5,005	2,665
20+20	-	2,549	6,088	-	27,502	2,528	13,084	8,693
контроль	0,026	0,054	0,146	-	5,432	0,171	0,343	0,594

Совместное введение свинца и кадмия не показало устойчивого эффекта влияния кадмия на концентрации свинца в костях и перьях, так как добавление к 10 дозам свинца 10 доз кадмия привело к снижению содержания свинца в перьях и росту в костях по сравнению с введением только 10 доз свинца. Введение 20 доз свинца совместно с 20 дозами кадмия привело к росту его содержания в перьях и снижению в костях по сравнению с введением только 20 доз свинца.

Интерес представляют результаты определения содержания свинца в перьях, выросших в условиях эксперимента. Количество свинца в новых перьях подобно старым перьям после окончания введения свинца также увеличивалось по мере роста вводимых с кормом доз, однако в новых перьях этот рост был более резким, что отразилось на изменении величины коэффициента накопления свинца в перьях птиц. Так, введение 1 дозы свинца привело к его накоплению в новых перьях до 0,233 мкг/г сухого вещества (в старых – до 0,966); 20 доз свинца в корме привело к его содержанию в новых перьях 21,208 мкг/г сухого вещества, в старых – 6,168.

Результаты анализа литературных данных показали следующие результаты по содержанию свинца и кадмия в перьях различных видов птиц: свинец – 0,1 – 0,5, кадмий – 0,01 – 0,15 мг/г сухого веса [2]; кадмий 2,40 – 9,12; свинец 16,9 – 277 мкг/кг [3]; свинец 1,1 – 28,5 мкг/г сухой массы [4]; повышение концентраций в загрязненной зоне по сравнению с контролем по свинцу – 0,543 до 1,47 мкг/г сухой массы [5]. Выяснению характера влияния кадмия на содержание свинца при совместном их поступлении внимание не уделяется.

Кроме того, имеются данные о том, что свинец, например, присутствует как на наружной поверхности, так и внутри перьев, кадмий и медь находятся преимущественно внутри перьев, а цинк – исключительно внутри перьев и загрязнение перьев металлами наиболее значительно у городских всеядных птиц по сравнению с птицами, обитающими на прилегающих к городу территориях [6].

Некоторыми исследователями рассматривается проблема связи содержания тяжелых металлов в оперении птиц с их таксономическим положением [7]. При этом в оперении исследуемых птиц выделяется две группы элементов – сопряженные (медь, цинк, марганец, никель и кобальт) и несопряженные (хром, ванадий, титан, молибден, железо и серебро) и для каждого таксона птиц можно выделить характерную группу элементов. Соотношение этих элементов в оперении отражает систематическое положение птицы.

Результаты изучения закономерностей аккумуляции тяжелых металлов в оперении различных участков тела птиц («шапочки», спинки и брюшка) показали, что оперение «шапочки» аккумулирует большее количество тяжелых металлов (кроме свинца), чем другие участки [8]; по данным других авторов, рулевые перья птиц способны накапливать большее количество тяжелых металлов по сравнению с маховыми перьями [9].

Сравнение содержания свинца, никеля, кадмия, молибдена, железа, марганца, цинка, хрома и ртути в костной ткани птиц показало видовую специфику в уровнях накопления хрома, свинца, никеля, кадмия, молибдена и ртути и преимущественную аккумуляцию никеля и кадмия в костях птиц-фитофагов, а свинца и молибдена – у хищных птиц.

Кроме того, концентрации некоторых металлов в костях коррелируют друг с другом [4]. Умеренная корреляция в костях установлена между медью и кобальтом (0,52), медью и хромом (0,58), мышьяком и хромом (0,45), свинцом и никелем (0,44). Сильная корреляция отмечена между хромом и марганцем (0,82).

В наших исследованиях установлено, что по сравнению с содержанием до начала эксперимента (0,171 – 2,614 мкг/г сухого вещества) во всех группах отмечается рост уровней накопления свинца в старых перьях до 0,966 – 8,693 мкг/г сухого вещества и перьях, выросших в условиях эксперимента, до 0,233 – 21,208 мкг/г сухого вещества по мере увеличения вводимых с кормом доз свинца, что можно использовать для прижизненной оценки характера загрязнения организма птицы путем исследования перьевого покрова. Накопление свинца в костях при его различном поступлении в организм по сравнению с контролем важно для обоснования возможности использования птиц в качестве биоиндикаторов и возможно использовать при исследовании мертвых остатков птиц для оценки степени антропогенного воздействия на организм.

Известно, что отравляющий эффект тяжелых металлов в целом и свинца в частности проявляется в том, что они способны чисто механически засорять организм: оседать на стенках сосудов, почечных каналов, каналов печени, таким образом снижая фильтрационную способность этих органов. Соответственно, это приводит к накоплению токсинов и продуктов жизнедеятельности клеток организма, т.е. самоотравлению организма, так как именно печень отвечает за переработку токсичных веществ, попадающих в организм, и продуктов жизнедеятельности организма, а почки – за их выведение из организма.

Из данных таблицы 2 видно, что при введении 1 дозы свинца с кормом его концентрация в печени составила 0,052 мкг/г сухого вещества, в почках – 0,209 при контроле 0,054 и 0,146 мкг/г сухого вещества соответственно в каждом органе. Далее, по мере роста доз свинца в корме аналогично перьям наблюдается увеличение уровней его содержания в печени и почках, причем почки характеризуются более высокими по сравнению с печенью уровнями содержания свинца по мере роста его концентраций в корме, что, возможно, связано с процессом интенсификации функционирования выделительной системы организма при увеличении токсичного воздействия [3].

Совместное введение свинца и кадмия с кормом отразилось ростом концентраций свинца в печени и почках по сравнению с его введением без кадмия, что также следует учитывать при оценке степени загрязнения организма птиц. Так, при введении 10 доз свинца и 10 доз кадмия с кормом содержание свинца в печени составило 1,011 мкг/г сухого вещества,

в почках – 2,331, а при 10 дозах свинца без кадмия – 0,693 и 1,984 мкг/г сухого вещества, соответственно в каждом органе. Такая же картина роста наблюдалась и при 20 дозах свинца и 20 дозах кадмия совместно.

По накоплению свинца и кадмия в печени птиц в литературе существуют следующие данные: свинец – 0,06 – 21,4 мг/г [4]; свинец – 6,3 – 14,1 мкг/г, кадмий – 0,1 – 2,2 [10]; свинец – 0,58 – 58,13 мг/кг, кадмий – 0,11 – 1,04 [11]; свинец – 3,6 мг/кг у взрослых особей и 2,9 – у птенцов, кадмий – 0,8 у взрослых особей [12].

Свинец и кадмий в почках птиц содержится в следующем количестве: свинец – 6,5 – 200,0 мг/г, у сизого голубя – свинец – 6,46 – 24,2 мг/г, кадмий – 1,92 – 8,96 мг/г сухого веса [4]; свинец – 8,9 – 19,5 мкг/г, кадмий – 1,9 – 6,4 [10]; свинец – 0,84 – 2,0 мг/кг, кадмий – 0,11 – 1,45 мг/кг [11]; свинец – у взрослых особей – 9,5 мг/кг, у птенцов – 8,9, кадмий – 7,8 у взрослых и 4,1 мг/кг у птенцов [12].

Полученные нами данные по содержанию свинца в мышцах и сердце показали, что сердечные мышцы характеризуются неустойчивой тенденцией изменения концентраций и отсутствием роста уровней накопления свинца по мере увеличения его содержания в корме, что, возможно, связано с функцией кровообращения в организме. Исследование мышечной ткани позволило установить содержание свинца при 1 дозе в корме и при 20 дозах, что недостаточно для выявления каких-либо особенностей и закономерностей и оценки степени загрязнения организма птицы.

С целью определения соотношения поступившего в организм свинца и его количества, накопленного в органах и тканях, нами были рассчитаны коэффициенты накопления, значения которых показаны в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что наибольшими коэффициентами накопления свинца при его различном количестве в корме характеризуются кости, перья и почки птиц.

Таблица 3 – Коэффициенты накопления свинца

Органы птиц	Коэффициенты накопления, %			
	количество свинца в корме, дозы			
	1 Рб	5 Рб	10 Рб	20 Рб
сердце	0,0150	0,0006	0,0004	0,0013
печень	0,0163	0,0345	0,0217	0,0366
почки	0,0653	0,0818	0,0620	0,0943
мышцы	0,0572	0,0000	0,0000	0,0020
кости	3,4419	0,7961	0,6225	0,4918
перья новые	0,0728	0,0614	0,1100	0,3314
перья после окончания введения свинца	0,3019	0,1211	0,1739	0,0964

При этом для костей и перьев после окончания опыта величина этого показателя снижается в направлении от 1 дозы свинца в корме к 20 дозам; для почек наблюдается рост величины коэффициента накопления по мере увеличения свинца в корме с 0,0653 % (при 1 дозе свинца) до 0,0943 % (при 20 дозах свинца); для перьев, выросших в условиях эксперимента, этот показатель несколько выше по сравнению с почками, и его рост составил с 0,0728 % (при 1 дозе свинца) до 0,3314 % (при 20 дозах свинца), что указывает на преобладающую реакцию почек и новых перьев на рост величины токсического воздействия на организм.

С целью установления характера связи между свинцом, вводимым в организм сизых голубей с кормом, и его содержанием в перьях, костях и органах были определены коэффициенты корреляции и получены уравнения тренда, представленные в таблице 4.

В соответствии с литературными данным установлена регрессионная зависимость возрастного накопления кадмия в печени птиц, свинца в костях [11]; корреляция между содержанием в печени ртути и селена [13]; отрицательная корреляция между содержанием в крови свинца и активностью аминолевулинатдегидратазы [14]; корреляция между содержа-

нием молибдена, меди и хрома в печени [15]; между концентрацией кадмия в печени и почках [16]; между количеством ртути в крови взрослых орланов и их птенцов [17].

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции и уравнения тренда содержания свинца в перьях и органах сизого голубя в зависимости от его количества в корме

Органы и ткани сизого голубя	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Уравнения тренда
печень	0,974	0,949	$y = -0,15 + 0,37x$
почки	0,982	0,965	$y = -0,35 + 0,95x$
кости	0,992	0,984	$y = 8,67 + 3,51x$
перья новые	0,946	0,896	$y = -3,81 + 3,57x$
перья после окончания введения свинца	0,908	0,824	$y = 1,08 + 0,90x$

Установлению корреляционных связей и других зависимостей между элементами, другими органами и тканями птиц и поступающим количеством этих элементов из внешней среды уделено меньше внимания, что, возможно, связано с исследованиями других биоиндикаторов, таких как рыбы, планктонные организмы, растительность.

В результате наших исследований установлена высокая положительная корреляционная связь между накоплением свинца в перьях, выросших в условиях эксперимента, а также печени, почках и костях и его количеством в корме: коэффициенты корреляции составили 0,946, 0,974, 0,982 и 0,992, соответственно каждому органу, что показано в таблице 4. Несколько ниже (0,908) коэффициент корреляции определен для перьев после окончания введения свинца. Наличие высокой положительной корреляционной связи между свинцом, поступающим в организм птицы, и его накоплением в перьях важно для обоснования возможности прижизненной оценки степени загрязнения организма птицы с использованием перьевого покрова.

Величина коэффициентов детерминации (0,824 – 0,984), показанная в таблице 4, указывает на зависимость накопления свинца в органах и перьях птиц от его количества в корме, близкую к линейной регрессии.

Результаты расчета парных коэффициентов корреляции, представленные в таблице 5, показали наличие высокой корреляционной связи между содержанием свинца в печени, почках, костях и перьях, выросших в условиях эксперимента (коэффициенты корреляции составили 0,983, 0,985, 0,959 в указанных случаях), что, возможно, является результатом влияния на рост пера метаболических процессов организма, происходящих при этом, и может быть использовано для обоснования оценки характера загрязнения организма птицы путем прижизненного исследования перьевого покрова.

Таблица 5 – Матрица парных коэффициентов корреляции

Органы	Количество свинца в корме	Сердце	Печень	Почки	Кости	Перья новые
сердце	0,607	1,000				
печень	0,974	0,708	1,000			
почки	0,982	0,709	0,999	1,000		
кости	0,992	0,675	0,966	0,977	1,000	
перья новые	0,946	0,820	0,983	0,985	0,959	1,000
перья после окончания введения свинца	0,908	0,340	0,791	0,815	0,904	0,747

Также выявлена высокая корреляционная связь между содержанием свинца в костях и в печени и почках.

Для получения достоверной регрессионной зависимости между уровнями накопления свинца в перьях, органах и тканях птиц и его количеством в корме планируется продолжить

работу в этом направлении.

Выводы

1 путем изучения зависимости накопления свинца в тканях и органах сизого голубя от его количества, вводимого с кормом, реализован комплексный подход к оценке уровня загрязнения организма птиц в системе «окружающая среда – вид-индикатор» на птицах, взятых из антропогенного ландшафта;

2 в печени, почках, костях и перьях птиц наблюдался рост концентрации свинца по мере увеличения его количества, вводимого с кормом; совместное введение свинца и кадмия с кормом отразилось ростом концентраций свинца в печени и почках по сравнению с его введением без кадмия;

3 наибольшими коэффициентами накопления свинца при его различном количестве в корме характеризуются перья, кости и почки птиц; для почек и новых перьев наблюдается рост величины коэффициента накопления по мере увеличения свинца в корме;

4 установлена высокая положительная корреляционная связь между уровнями накопления свинца в перьях, костях, печени и почках и его количеством в корме, между содержанием свинца в печени, почках, костях и перьях, выросших в условиях эксперимента, между содержанием свинца в костях и в печени и почках, а также получены уравнения тренда, позволяющие прогнозировать содержание свинца в органах птиц в зависимости от его количества, поступающего из внешней среды.

Резюме. Для мониторинговых исследований достаточно перспективными представляются результаты изучения зависимости химизма оперения, печени, почек, костной ткани птиц от характера питания, а также возможности оценки загрязнения организма птицы путем прижизненного исследования перьевого покрова.

Изучением особенностей накопления свинца в печени, почках, сердце, мышцах, костях и перьях сизых голубей при введении различного его количества с кормом показаны максимальные концентрации свинца в перьях и костях птиц. Увеличение количества свинца в корме приводило к росту его концентрации в печени, почках, костях и перьях птиц. При этом установлена высокая положительная корреляционная связь между уровнями накопления свинца в перьях, костях, печени и почках и его количеством в корме, между содержанием свинца в печени, почках, костях и перьях, выросших в условиях эксперимента, между содержанием свинца в костях и в печени и почках, а также получены уравнения тренда, позволяющие прогнозировать накопление свинца в органах, костях и перьях птиц в зависимости от его количества, поступающего из внешней среды.

Abstract. For researches perspective results of dependence study chemistry plumage, a liver, kidneys of birds from character of a food are represented, and also possibility of an estimation of bird organism pollution by lifetime research a cover.

By studying of features of lead accumulation pigeons liver, kidneys, heart, muscles, feathers at introduction of its various quantity with a forage the maximum concentration of lead in feathers and bones of birds are shown. The increase in lead quantity in a forage led to growth of its concentration in a liver, kidneys, bones and feathers of birds. High positive correlation connection between levels of accumulation of lead in feathers, liver, bones and kidneys and its quantity in a forage, between the lead maintenance in liver, kidneys, bones and the feathers which have grown in the conditions of experiment is thus established, and also the trend equations are received, allowing to predict lead accumulation in bodies and feathers of birds depending on its quantity arriving from an environment.

Литература

1. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2008 / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, гл. информ.-аналит. центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, РУП «Бел НИЦ «Экология»; под ред. С.И. Кузьмина, С.П. Уточкиной. – Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология», 2009. – 340 с.

2. Risk to breeding success of ardeids by contaminants in Hong Kong: Evidence from trace metals in feathers / D.W. Connell [et al.] // *Ecotoxicology*. – 2002. – Vol. 11, № 1. – P. 49-59.
3. 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 «Российский государственный аграрный заочный университет». – М., 2009. – 22 с.
4. Лебедева, Н.В. Экотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц / Н.В. Лебедева. – М.: Наука, 1999. – 199 с.
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. Comparative tissue distribution of metals in birds in Sweden using ICP-MS and laser ablation ICP-MS / H. Ek Kristine [et al.] // *Arch. Environ. Contam. and Toxicol.* – 2004. – Vol. 47, № 2. – P. 259 – 269.
7. Добровольская, Е.В. Особенности содержания рассеянных химических элементов в оперении птиц разных таксонов / Е.В. Добровольская // *Успехи современной биологии*. – 2002. – № 5. – С. 489 – 494.
8. Лысенкова, Л.Е. Содержание тяжелых металлов в оперении большой синицы (*Parus major major* L.), обитающей в районе города Саранска / Л.Е. Лысенкова, О.С. Шубина // *Успехи современного естествознания*. – 2004. – № 6. – С. 112 – 113.
9. 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.
10. Pieter, H. Metal concentrations in selected organs and tissues of five Red-knobbed Coot (*Fulica cristata*) populations / Pieter, H. // *Water SA*. – 2003. – Vol. 29, № 3. – P. 313-322.
11. 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 с.
12. Родзин, Е.В. Эколого-токсикологический анализ тяжёлых металлов в организме серой вороны в Люберецком районе Московской области / Е.В. Родзин, В.М. Константинов, Н.Н. Федоровский // *Врановые птицы в антропогенном ландшафте: межвузовский сборник научных трудов*, Липецк: ЛГПУ. – 2001. – Вып.4. – С. 104-107.
13. Mercury and selenium concentrations in livers and eggs of common loons (*Gavia immer*) from Minnesota / K. Bischoff [et al.] // *Arch. Environ. Contam. and Toxicol.* – 2002. – Vol. 42, № 1. – P. 71-76.
14. Strom, Sean M. Aminolevulinic acid dehydratase activity in American dippers (*Cinclus mexicanus*) from a metal-impacted stream / Strom Sean M., Ramsdell Howard S., Archuleta Andrew S. // *Environ. Toxicol. and Chem.* – 2002. – Vol. 21, № 1. – P. 115-120.
15. The distribution of molybdenum in the tissues of wild ducks / M. Mariko. [et al.] // *Environ. Monit. and Assess.* – 2002. – Vol. 77, № 2. – P. 155-161.
16. Barjaktarovic, L. Metal and metallothionein concentrations in scoter (*Melanitta spp.*) from the Pacific northwest of Canada / L. Barjaktarovic, J.E. Elliott, A.M. Scheuhammer // *Contam. and Toxicol.* – 2002. – Vol. 43, № 4. – P. 486-491.
17. Weech, S.A. Mercury exposure and reproduction in fish-eating birds breeding in the Pinchi lake region, British Columbia / S.A. Weech, A.M. Scheuhammer, J.E. Elliott // *Environ. Toxicol. and Chem.* – 2006. Vol. 25, № 5. – P. 1433-1440.