

УДК 504.054:574.24+598.813

## РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МУХОЛОВКИ-ПЕСТРУШКИ *Ficedula hypoleuca* Pall. И МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЕ ПТЕНЦОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТООБИТАНИЙ

© 2005 г. Е. А. Бельский, Н. В. Лугаськова, А. А. Карфидова

Институт экологии растений и животных УрО РАН  
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Поступила в редакцию 24.02.2004 г.

Показаны основные эффекты токсического воздействия выбросов Среднеуральского медеплавильного завода (тяжелые металлы и диоксид серы) на репродуктивные показатели мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca* Pall. и морфофизиологические характеристики потомства этого вида. На загрязненных территориях снижается плодовитость взрослых птиц и увеличивается смертность потомства, отмечаются изменения физиологических показателей. Эффекты воздействия ярче выражены у птенцов по сравнению со взрослыми особями. Токсическая нагрузка приводит к увеличению индекса печени, снижению концентрации гемоглобина и увеличению доли незрелых эритроцитов в периферической крови. Возрастает доля анемичных особей. Ослабление организма птенцов способствует увеличению их зараженности личинками паразитических мух. Изменения в лейкоцитарной формуле птенцов отражают комплексное воздействие токсикантов и паразитов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, мухоловка-пеструшка, репродуктивные показатели, печень, красная кровь, лейкоцитарная формула, эктопаразиты, *Ficedula hypoleuca*, *Protocalliphora azurea*.

Адекватная оценка успеха размножения животных требует учета качества потомков, которое во многом определяется их физиологическим состоянием. Характеристики ряда органов и систем, обладающих высокой метаболической активностью и быстро реагирующих на внешние воздействия, традиционно используются для оценки состояния животных организмов при воздействии разных экологических факторов, а также для биоиндикации загрязнения среды (Шварц и др., 1968; Богач и др., 1988; Лебедева, 1996). К ним относятся индексы печени, почек и других органов, а также гематологические показатели. Важность изучения системы крови обусловлена тем, что этой внутренней среде организма принадлежит решающая роль в поддержании гомеостаза, в том числе обеспечении устойчивости к инфекциям и другим неблагоприятным воздействиям. Значение печени в организме связано с многофункциональностью этого органа, играющего важную роль в процессах обмена веществ, детоксикации чужеродных соединений и кроветворении.

К настоящему времени накоплен значительный материал по влиянию тяжелых металлов на физиологическое состояние птиц. Большинство работ выполнено в лабораторных условиях. Биологические эффекты токсического воздействия

на птиц в природе изучены неравномерно. Лучше всего исследованы эффекты популяционного уровня – изменения таких репродуктивных показателей, как размер кладки, выводка, успех размножения, смертность потомства в гнезде. Гораздо меньше данных по воздействию тяжелых металлов на морфофизиологические характеристики птиц. Ряд таких работ проведен на птенцах мухоловки-пеструшки и большой синицы в окрестностях предприятий цветной металлургии в Скандинавии и на Кольском полуострове (Nyholm, 1995; Eeva et al., 2000; Гилязов, 2001). Основное внимание авторы уделяли либо изменениям индексов внутренних органов (Nyholm, 1995), либо биохимическим показателям (Eeva et al., 2000). При характеристике картины крови большинство авторов ограничивалось определением концентрации гемоглобина и гематокрита. Практически не изучено многокомпонентное токсическое воздействие в природных условиях на характеристики эритроцитов и лейкоцитарный состав крови птиц.

Цель работы – изучение влияния токсического загрязнения среды обитания на массу тела, индекс печени и основные гематологические характеристики птенцов мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca* Pall. на Среднем Урале.

**Таблица 1.** Концентрации металлов в почве (подвижные формы) и печени птенцов мухоловки-пеструшки в разных зонах загрязнения (мкг/г воздушно-сухой массы)

Субстрат	Металл	Зона токсической нагрузки		
		фоновая	буферная	импактная
Почва	Pb	67.3 ± 4.9	283.2 ± 14.1**	639.1 ± 43.2**
	Cd	2.0 ± 0.2	8.0 ± 0.8**	6.5 ± 0.4**
	Cu	86.9 ± 7.6	862.4 ± 63.9**	3769.6 ± 151.9**
	Zn	135.2 ± 18.3	366.0 ± 34.2**	241.8 ± 11.8**
<i>n</i>		32	42	47
Печень птенцов	Pb	5.5 ± 0.9	10.1 ± 1.7*	21.7 ± 2.8**
	Cd	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1	2.6 ± 0.3**
	Cu	16.1 ± 1.0	14.9 ± 1.3	20.2 ± 2.2
	Zn	92.5 ± 6.2	125.8 ± 11.0*	145.3 ± 8.8**
<i>n</i>		31	27	22

\* Отличия от фонового показателя достоверны при  $p < 0.05$ .

\*\*  $p < 0.001$ .

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проведены в 2000–2001 гг. в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода – мощного источника выбросов двуокиси серы и полиметаллической пыли. Так, в 2000 г. валовые выбросы этого предприятия составили 62 тыс. т, из них  $SO_2$  – 56.3 тыс. т (О состоянии окружающей природной среды..., 2001). Доля тяжелых металлов в общей массе поллютантов составляет около 4%.

Вдоль градиента загрязнения выделены три зоны токсической нагрузки: импактная (до 3 км от завода), буферная (3–15 км) и фоновая (свыше 15 км в западном направлении, противоположном преобладающим ветрам). В каждой зоне заложено по 2–4 площадки с искусственными гнездовьями, на которых проводили наблюдения за гнездованием воробьиных-дуплогнездяников (наиболее многочисленный вид – мухоловка-пеструшка). Уровень токсической нагрузки на площадках оценивали по концентрациям тяжелых металлов в почве (горизонт A1), определяемым в слабокислых вытяжках (5%  $HNO_3$ ).

При регулярных проверках занятых гнездовий регистрировали размер кладки, количество птенцов после вылупления и перед вылетом. Птенцов мухоловки-пеструшки в возрасте 14 дней (накануне вылета) взвешивали на электронных весах KERN с точностью до 0.01 г. Невдалеке от гнезда у 2–3 птенцов из выводка прижизненно отбирали порции крови из локтевой вены. Здесь же определяли концентрацию гемоглобина по Сали и готовили мазки на предметных стеклах. Мазки фиксировали раствором Май-Грюнвальда с последующим окрашиванием по Романовскому. В лаборатории на препаратах под микроскопом

подсчитывали количество зрелых и незрелых эритроцитов на 200 клеток, а также определяли лейкоцитарную формулу на 100 лейкоцитов. При этом учитывали следующие виды клеток: псевдоэозинофилы (юные, палочкоядерные, сегментоядерные), эозинофилы, базофилы, моноциты и лимфоциты.

При осмотре у птенцов отмечали наличие под кожей личинок паразитических мух *Protocalliphora azurea* Fll или следов их инвазии. По одному птенцу средних размеров из выводка отбирали для морфофизиологических исследований и химического анализа. Сразу после вскрытия печень взвешивали на торсионных весах с точностью до 0.001 г. Индекс печени рассчитывали как отношение массы этого органа к массе тела в %. В высушенных образцах печени определяли содержание тяжелых металлов (меди, свинца, цинка и кадмия) методом атомно-абсорбционной спектроскопии в пламени на приборе ААС-3.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Величину токсической нагрузки, действующей на природные экосистемы и на птиц в окрестностях СУМЗ, мы оценивали по концентрациям тяжелых металлов соответственно в почве и печени птенцов (табл. 1). Величины накопления токсикантов в почве как депонирующей среде экосистемы достаточно точно отражают химический состав выбросов и интенсивность загрязнения конкретной территории. Наибольшее увеличение концентрации в градиенте загрязнения среди изученных металлов отмечается для меди – более 40 раз, наименьшее для цинка – в 1.8 раза. Уровни свинца и кадмия в почве вблизи завода превышают фоновые в 9.5 и 3.3 раза соответственно. Ана-

**Таблица 2.** Основные репродуктивные показатели мухоловки-пеструшки на территории с разным уровнем загрязнения

Показатель	Зона токсической нагрузки		
	фоновая	буферная	импактная
Количество яиц в полной кладке	6.4 ± 0.1	6.3 ± 0.1	4.4 ± 0.3*
<i>n</i>	131	56	24
Количество вылупившихся птенцов	5.9 ± 0.1	5.7 ± 0.2	3.0 ± 0.4*
<i>n</i>	116	54	24
Количество слетков на гнездо	5.5 ± 0.1	5.5 ± 0.2	2.8 ± 0.4*
<i>n</i>	118	54	23
Гибель яиц, %	7.8 ± 1.0	9.8 ± 1.6	27.0 ± 4.4*
<i>n</i>	740	336	100
Гибель птенцов в гнезде, %	7.1 ± 1.0	5.1 ± 1.3	12.3 ± 3.8
<i>n</i>	675	297	73

\* Отличия от фонового показателя достоверны при  $p < 0.001$ .

**Таблица 3.** Масса тела, индекс печени птенцов мухоловки-пеструшки в возрасте 14 дней и их пораженность личинками *Protocalliphora azurea* в разных зонах загрязнения

Показатель	Зона токсической нагрузки		
	фоновая	буферная	импактная
Масса тела, г	13.25 ± 0.12	14.00 ± 0.13	13.46 ± 0.21
<i>n</i>	116	91	45
Индекс печени, %	4.28 ± 0.09	5.15 ± 0.26**	5.72 ± 0.34***
<i>n</i>	29	28	20
Доля пораженных птенцов, %	1.24 ± 0.62	21.43 ± 3.31**	20.63 ± 5.10**
Количество личинок мух на пораженного птенца	1.75 ± 0.48	2.58 ± 0.42	3.77 ± 0.73*
Среднее количество личинок мух на птенца (включая непораженных)	0.02 ± 0.01	0.55 ± 0.12***	0.78 ± 0.24**
<i>n</i>	322	154	63

\* Отличия от фонового показателя достоверны при  $p < 0.05$ .

\*\*  $p < 0.01$ .

\*\*\*  $p < 0.001$ .

логичное увеличение концентраций тяжелых металлов наблюдается и в печени птенцов мухоловки-пеструшки. Достоверные различия в градиенте нагрузки демонстрируют свинец, кадмий и цинк, концентрация меди у птенцов в импактной зоне несущественно больше, чем в контроле.

Изменение основных репродуктивных показателей мухоловки-пеструшки в градиенте токсической нагрузки в 2000–2001 гг. показано в табл. 2. Показатели размножения мухоловки-пеструшки в зоне максимального загрязнения на высоком уровне значимости отличаются от контрольных. Различия между импактной и фоновой зонами по среднему размеру кладки составляют 1.5 раза, по количеству птенцов и слетков на гнездо (исключая брошенные кладки) – 2 раза. Гибель яиц вбли-

зи завода в 3.5 раза больше, чем на фоновой территории, смертность птенцов – в 1.7 раза, однако по этому показателю различия недостоверны. Репродуктивные характеристики мухоловки-пеструшки в зоне умеренного загрязнения практически не отличаются от контрольных.

Средняя масса тела слетков мухоловки-пеструшки практически не зависела от уровня токсической нагрузки (табл. 3). Эти показатели в импактной зоне и в контроле статистически не различались, а в буферной зоне птенцы были даже крупнее, чем на фоновой территории.

На загрязненной территории мы неоднократно регистрировали птенцов, пораженных личинками мух *Protocalliphora azurea* FII, поселяющимися под кожей. Личинки локализуются в основном

**Таблица 4.** Показатели красной крови и лейкоцитарная формула птенцов мухоловки-пеструшки в зонах с различной токсической нагрузкой

Показатель, %	Зона токсической нагрузки		
	фоновая	буферная	импактная
Гемоглобин, г/л	110.1 ± 1.9	101.1 ± 2.6*	97.9 ± 2.7*
<i>n</i>	55	52	45
Незрелые эритроциты	9.1 ± 0.8	11.5 ± 0.8	16.9 ± 1.4
Лейкоцитарная формула:			
Псевдоэозинофилы	8.2 ± 1.2	4.5 ± 0.7	7.7 ± 1.3
В том числе:			
юные	0.5 ± 0.2	1.0 ± 0.3	0.8 ± 0.2
палочкоядерные	4.1 ± 0.6	1.9 ± 0.4	3.6 ± 0.6
сегментоядерные	3.6 ± 0.6	1.6 ± 0.3	3.3 ± 0.8
Эозинофилы	3.8 ± 0.5	4.9 ± 0.7	5.4 ± 1.3
Базофилы	11.2 ± 1.2	7.2 ± 0.8	10.3 ± 1.1
Моноциты	3.1 ± 0.6	3.5 ± 0.7	2.6 ± 0.4
Лимфоциты	73.7 ± 2.0	79.9 ± 1.8	74.0 ± 2.2
<i>n</i>	58	59	48

\* Отличия от фонового показателя достоверны при  $p < 0.05$ .

на верхней стороне тела: на крыльях и голове, что, по-видимому, объясняется наибольшей доступностью этих частей тела для мух, залетающих в гнездовье через леток для откладки яиц. Напитавшиеся личинки покидают птенца, ранки могут затягиваться, но перья в очагах поражения не восстанавливаются. В зонах загрязнения увеличиваются как экстенсивность, так и интенсивность поражения, причем преимущественно первый показатель (см. табл. 3). В то время как доля пораженных птенцов уже на участке с умеренным загрязнением достоверно больше, чем в контроле, количество личинок мух на пораженного птенца лишь в зоне максимального загрязнения значимо превышает контрольный показатель.

Относительная масса печени птенцов достоверно больше в зоне максимального загрязнения. Эта закономерность отмечалась нами в оба года исследований. Так, в 2000 г. индекс печени составил в среднем на фоновой территории  $4.4 \pm 0.1\%$  ( $n = 12$ ), а в импактной зоне –  $6.0 \pm 0.4\%$  ( $n = 9$ ), в 2001 г. соответственно  $4.2 \pm 0.1\%$  ( $n = 17$ ) и  $5.5 \pm 0.5$  ( $n = 11$ ). У отдельных особей он варьировал в контроле от 3.4 до 5.4%, в буферной зоне – от 3.4 до 9.0%, в импактной зоне – от 3.5 до 9.8%. Обнаружена сильная связь между количеством личинок мух на птенцах и индексом печени: коэффициент линейной корреляции  $r = 0.74$  ( $n = 77$ ,  $p < 0.001$ ).

Результаты исследования системы красной крови у птенцов приведены в табл. 4. Отмечено достоверное изменение показателей красной кро-

ви птенцов по мере роста токсической нагрузки. Наблюдается снижение среднего уровня гемоглобина у птенцов в условиях загрязнения. Анализ распределения птенцов по содержанию дыхательного пигмента в крови показал, что в контрольной выборке 95% особей имеют концентрацию гемоглобина не менее 91 г/л. Этот уровень гемоглобина мы приняли в качестве границы нормы, ниже которой диагностируется анемия. Доля анемичных птенцов составила в буферной зоне 26.9%, в импактной – 31.1%, отличия от контроля достоверны при  $p < 0.01$ .

Выявлена довольно высокая степень отрицательной корреляции ( $r = -0.60$ ,  $n = 42$ ,  $p < 0.001$ ) между концентрацией гемоглобина в крови и содержанием металлов в печени птенцов, не зараженных эктопаразитами. Птенцы, пораженные личинками мух, имеют более низкое содержание гемоглобина при сходной токсической нагрузке: в импактной зоне – 92% от такового у непораженных птенцов, а в буферной – 77%. Среднее содержание функционально неактивных эритроцитов в периферической крови птенцов растет в градиенте нагрузки в 1.9 раза. У паразитированных особей доля незрелых эритроцитов в 1.6–1.7 раза больше, чем у непораженных на тех же участках.

Изменения в составе белой крови, наблюдаемые в градиенте токсической нагрузки, в основном имеют характер тенденции (см. табл. 4). Наиболее выраженные сдвиги в лейкоцитарной формуле отмечены у птенцов из буферной зоны. Перераспределение по сравнению с контролем

нова, 1995). Активизацию оксигеназ со смешанной функцией в печени регистрировали также у птенцов мухоловки-пеструшки вблизи медноникелевого завода в Финляндии (Eeva et al., 2000).

Инактивацию радикалов, способных повреждать биомембраны, осуществляют эндогенные антиоксиданты – витамины А и Е (Кухтина и др., 1983). Их концентрации в печени птенцов мухоловки-пеструшки и большой синицы уменьшаются с ростом техногенной нагрузки (Бельский, Степанова, 1995). Истощение ресурсов протекторов чревато избыточным накоплением продуктов ПОЛ в организме, способным приводить к повреждению биомембран, нарушению ферментных систем метаболизма ксенобиотиков и интоксикациям.

Гиперфункция печени в условиях токсического воздействия проявляется внешне в увеличении ее размеров. Это отмечали у крякв, зимующих на загрязненном водоеме в Белоруссии (Kozulin, Pavluschick, 1993), у птенцов мухоловки-пеструшки в окрестностях металлургического завода в Швеции, у которых индекс печени возрастал с 4.2% в контроле до 4.5% вблизи завода (Nyholm, 1995). В нашем районе исследований увеличение относительной массы печени выражено в большей степени (см. табл. 3).

В лабораторных опытах выявлены эффекты воздействия тяжелых металлов на систему крови. Так, повышенные уровни свинца и кадмия в организме способствуют преждевременному разрушению эритроцитов, нарушению эритропоэза в костном мозгу, снижению уровня гемоглобина в крови, ингибированию ряда ферментов (Hoffman et al., 1985; Даскалова, 1989; Ochiai et al., 1993). Полученные нами данные также свидетельствуют о высокой чувствительности к химическому загрязнению показателей красной крови (содержание гемоглобина, соотношение зрелых и незрелых форм эритроцитов). При этом токсические эффекты ярче выражены у птенцов по сравнению с взрослыми особями.

С увеличением токсической нагрузки у птенцов происходит угнетение дыхательных процессов, а также общее ослабление организма. У птенцов на загрязненных территориях диагностируется анемия. В импактной зоне средняя концентрация гемоглобина в крови снижается более чем на 11%, кроме того, доля анемичных птенцов в шесть раз превышает контрольный уровень. Аналогичное снижение уровня гемоглобина в крови при воздействии выбросов предприятий и автотранспорта отмечено у птенцов мухоловки-пеструшки в Швеции (Nyholm, 1995), американской пустельги (Henny et al., 1994) и скворца в США (Grue et al., 1986). Сокращение доли зрелых эритроцитов связано с их преждевременным разрушением. В зонах загрязнения это создает до-

полнительную нагрузку на печень, так как в ней происходит утилизация поврежденных эритроцитов. Функциональная недостаточность системы транспорта кислорода в организме приводит к “экстренному выбросу” в периферическую кровь большого количества не успевших созреть эритроцитов из костного мозга.

Интоксикация снижает иммунный статус и вследствие этого резистентность организма к инфекциям и инвазиям. Отмечена связь между загрязнением среды и зараженностью фазанов в природе нематодами (Novakova, Tremilova, 1971), обилием блох *Ceratophyllus gallinae* в гнездах мухоловки-пеструшки в окрестностях металлургического завода в Финляндии (Eeva et al., 1994). Мы наблюдали это на примере поражения птенцов личинками *Protocalliphora azurea*. Заражение паразитами оказывает существенное воздействие на физиологические процессы в организме птенцов, включая снижение гематокрита, массы тела, замедление развития и гибель птенцов (Баккал, 1980; Керимов и др., 1985; Heeb et al., 2000). У паразитированных особей мы регистрировали снижение уровня гемоглобина и увеличение содержания незрелых эритроцитов в крови по сравнению с непораженными птенцами, а также снижение массы тела, неровное оперение, нарушение поведения (вялость). Не исключено вторичное инфицирование таких птенцов болезнетворными микроорганизмами через открытые раны на теле. Таким образом, инвазия паразитами усугубляет токсическое воздействие загрязнителей на организм.

Лейкоциты обеспечивают иммунный ответ организма: они осуществляют фагоцитоз, участвуют в нейтрализации токсинов (Кудрявцев, Кудрявцева, 1974). Наблюдаемые изменения лейкоцитарной формулы и увеличение доли юных форм псевдоэозинофилов у птенцов на загрязненной территории свидетельствуют об интенсификации гранулоцитопоэза и ускорении выхода этих клеток в кровь. Отсутствие достоверных изменений некоторых гематологических показателей в градиенте токсической нагрузки может объясняться гибелью части ослабленных птенцов на ранних стадиях развития: смертность гнездовых птенцов в зоне максимального загрязнения в 1.7 раза превышает контрольный уровень. При этом маргинальные особи не попадают в выборку и не оказывают влияния на ее статистические характеристики (Безель и др., 2001).

Увеличение относительного количества эозинофилов и лимфоцитов, очевидно, является ответной реакцией организма птенцов на комплексное воздействие токсикантов и паразитов. Эозинофилия проявляется при заболеваниях, протекающих с компонентом аллергии. Лимфоциты играют важную роль в иммунных реакциях

количественного состава отмечено практически для всех форм лейкоцитов. Так, в крови птенцов из зоны умеренной токсической нагрузки снижается общее содержание псевдоэозинофилов (за счет сокращения количества функционально активных клеток) и базофилов. В то же время несколько возрастает относительное количество эозинофилов, моноцитов и лимфоцитов. В зоне сильного загрязнения соотношение этих форм клеток близко к контрольному. У птенцов, пораженных эктопаразитами, отмечено увеличение количества лимфоцитов и эозинофилов при одновременном уменьшении относительного числа базофилов. Так, в импактной зоне доля эозинофилов составляет 4.0% у непораженных особей и 11.4% – у пораженных, а доля базофилов – соответственно 11.3 и 5.9%. Отмечена достоверная положительная линейная корреляция содержания в крови лимфоцитов с интенсивностью поражения птенцов ( $r = 0.20$ ,  $n = 139$ ,  $p < 0.05$ ).

### ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленные концентрации металлов в печени птенцов мухоловки-пеструшки изменяются в градиенте токсической нагрузки аналогично их уровням в почве, однако кратность изменения этих показателей в градиенте загрязнения у птиц меньше, чем в почве: свинца – в 3.9 раза, кадмия – в 2.6 раза, меди и цинка – в 1.3 и 1.6 раза соответственно. Это связано со снижением концентраций ряда металлов в процессе их миграции по пищевым цепям, а также с наличием в организме животных механизмов регуляции физиологически значимых элементов (среди названных металлов – медь и цинк). Аналогичные различия в накоплении в печени птенцов мухоловки-пеструшки мышьяка, кадмия, ртути и свинца, с одной стороны, и меди и цинка – с другой, отмечены в окрестностях металлургического завода в Швеции (Nyholm, 1995).

Замедление роста и снижение массы тела птенцов в условиях загрязнения среды показано для целого ряда видов птиц: *Passer montanus* и *P. domesticus* (Pinowski et al., 1993), *Parus major* (Книстаутас, 1982; Eeva, Lehtikoinen, 1996) и *P. ater* (Бельский и др., 1995). В нашем районе исследований средняя масса тела слетков мухоловки-пеструшки практически не зависела от уровня токсической нагрузки. Отсутствие или непостоянство связи между массой тела и величиной токсического воздействия для этого вида отмечали и некоторые другие исследователи (Книстаутас, 1982; Eeva, Lehtikoinen, 1996). Объяснить это можно сокращением величины выводков как за счет снижения плодовитости самок, так и увеличения смертности птенцов. В результате на каждого птенца в импактной зоне должно приходиться большее, чем в контроле, количество корма. По-

видимому, обеспеченность кормом для мухоловки-пеструшки на деградированной территории не является лимитирующим фактором.

Интерес к печени при изучении эффектов токсического воздействия на организм объясняется тем, что этот орган наделен целым рядом жизненно важных функций. К ним относятся пищеварение и участие в обмене веществ, синтез белков, жиров, полисахаридов и ряда витаминов, участие в поддержании иммунитета и нейтрализация токсикантов. Печень играет важную роль в кроветворении и является местом утилизации разрушенных эритроцитов и синтеза гемоглобина, а также депо крови (Романенко, 1978).

Токсические эффекты воздействия тяжелых металлов на организм животных, в частности на печень, хорошо изучены в лаборатории (Даскалова, 1989; Hoffman et al., 1985). Гораздо меньше работ проведено в природных условиях, где токсическое воздействие носит комплексный характер и осложнено другими факторами (Grue et al., 1986; Nyholm, 1995).

Выраженность эффектов зависит прежде всего от силы и продолжительности воздействия. Хроническая токсическая нагрузка, превышающая адаптационные возможности организма, приводит к поражению печени. Среди морфофизиологических нарушений у оседлых видов птиц из окрестностей металлургического комбината в Болгарии регистрируются интерстициальный и грануломатозный гепатит (Дончев, Стоянов, 1984). Наши наблюдения ограничены периодом пребывания птенцов в гнезде – 14 суток. Однако и за столь краткий срок отмечается изменение функционального состояния печени, что объясняется большой уязвимостью процессов онтогенеза к внешним воздействиям. На данном этапе происходит формирование всех систем органов, требующее интенсивного метаболизма. Поступление токсикантов в организм в этот период увеличивает нагрузку на печень.

Печень играет ключевую роль в процессе нейтрализации токсикантов, поступающих в организм. Связывание тяжелых металлов, их транспорт внутри организма и выведение осуществляются металлотионеинами и желчными кислотами, синтезируемыми в печени (Романенко, 1978). В этом же органе метаболизируются многие органические соединения. Поступление токсикантов в организм активизирует активность оксигеназ в микросомах печени. При этом генерируются активные формы кислорода, избыток которых приводит к накоплению продуктов перекисного окисления липидов (Арчаков, 1975). Интенсификация перекисного окисления липидов (ПОЛ) отмечена у птенцов мухоловки-пеструшки и большой синицы в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (Бельский, Степа-

организма. Они вырабатывают антитела и доставляют их к очагам воспаления, инактивируют токсины разнообразного происхождения (Кудрявцев, Кудрявцева, 1974). Повышенное содержание этих клеток в крови отражает наличие очагов воспаления в местах проникновения паразитов у птенцов, ослабленных токсическим воздействием.

Завершая обсуждение гематологических показателей, следует подчеркнуть, что наблюдаемые в градиенте загрязнения изменения характеристик красной крови и лейкоцитарной формулы птенцов мухоловки-пеструшки отражают не только непосредственное токсическое воздействие, но и опосредованное, связанное с гиперфункцией и гипертрофией печени, а также заражением паразитами.

Таким образом, токсиканты, содержащиеся в выбросах медеплавильного завода, вызывают серьезные изменения физиологических показателей у птенцов мухоловки-пеструшки. Часть из них укладывается в рамки адаптационных возможностей организма, часть носит патологичный характер. К первой группе реакций можно отнести интенсификацию процессов детоксикации организма, изменения в лейкоцитарной формуле, ко второй – угнетение дыхательной функции крови (гемолитическая анемия). Для оценки изменений, происходящих в печени, необходимы гистологические исследования. Поражение птенцов эктопаразитами выступает в качестве важного фактора, усиливающего токсическое воздействие.

Авторы благодарны В.Н. Олышвангу за определение видовой принадлежности паразитических мух. Работа частично выполнена при поддержке гранта РФФИ-Урал № 04-04-96129.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арчаков А.И. Микросомальное окисление. М.: Наука, 1975. 327 с.
- Баккал С.Н. О гибели птенцов воробьиных птиц от паразитических мух // Вестн. ЛГУ. 1980. № 9. Вып. 2. С. 106–108.
- Безель В.С., Позолотина В.Н., Бельский Е.А., Жуйкова Т. В. Изменчивость популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды // Экология. 2001. № 6. С. 447–453.
- Бельский Е.А., Безель В.С., Ляхов А.Г. Характеристика репродуктивных показателей птиц-дуплогнездящих в условиях техногенного загрязнения // Экология. 1995. № 2. С. 146–152.
- Бельский Е.А., Степанова З.Л. О влиянии промышленного загрязнения на состояние птенцов лесных птиц-дуплогнездящих // Чтения памяти профессора В.В. Станчинского. Смоленск, 1995. Вып. 2. С. 96–99.
- Богач Я., Седлачек Ф., Швецова З., Криволицкий Д.А. Животные – биоиндикаторы промышленных загрязнений // Журн. общ. биол. 1988. Т. 49. № 5. С. 630–635.
- Гилязов А.С. Прижизненная полевая методика определения эколого-физиологических показателей гнездящейся популяции мухоловки-пеструшки для мониторинга аэротехногенных изменений // Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии: Мат-лы междунар. конф. Казань, 2001. С. 172.
- Даскалова А. Сравнительные исследования влияния повышенного уровня свинца и меди в окружающей среде на состояние здоровья фазанов // 6<sup>th</sup> Int. Trace Elem. Symp. Jena, 1989. Vol. 5. P. 1582–1589.
- Дончев С.И., Стоянов Д.П. Проучване на орнитофауна в района на СМК “Л.И. Брежнев” и на влиянието на промишленото замърсяване върху нея // Екология (София). 1984. Т. 14. С. 63–72.
- Керимов А.Б., Лавренченко Л.А., Озеров А.Л. Каллифориды (Diptera, Calliphoridae) – паразиты птенцов большой синицы (*Parus major* L.) и желтоспинной мухоловки (*Muscicapa narcissina* Temm.) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1985. Т. 90. Вып. 1. С. 37–39.
- Книстаутас А.Ю. Влияние промышленного загрязнения воздуха на популяции лесных птиц и их использование как биоиндикаторов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1982. 22 с.
- Кудрявцев А.А., Кудрявцева Л.А. Клиническая гематология животных. М.: Колос, 1974. 399 с.
- Кухтина Е.Н., Храпова Н.Г., Бурлакова Е.Б. Особенности антиоксидантного действия токоферолов как природных антиоксидантов // Докл. АН СССР. 1983. Т. 272. № 13. С. 729–732.
- Лебедева Н.С. Популяционная экотоксикология птиц // Докл. РАН. 1996. Т. 351. № 3. С. 425–429.
- О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2000 г.: Гос. доклад / Правительство Свердловской обл. и др. Под ред. Г.Ю. Пыхальчик и др. Екатеринбург, 2001. 268 с.
- Романенко В.Д. Печень и регуляция межклеточного обмена. Киев: Наукова думка, 1978. 184 с.
- Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск: РИСО УФАН СССР, 1968. 388 с.
- Eeva T., Lehikoinen E. Growth and mortality of nestling Great Tits (*Parus major*) and Pied Flycatchers (*Ficedula hypoleuca*) in a heavy metal pollution gradient // Oecologia. 1996. V. 108. P. 631–639.
- Eeva T., Lehikoinen E., Nurmi J. Effects of ectoparasites on breeding success of Great Tits (*Parus major*) and Pied Flycatchers (*Ficedula hypoleuca*) in an air pollution gradient // Can. J. Zool. 1994. V. 72. P. 624–635.
- Eeva T., Tanhuanpää S., Råbergh C., Airaksinen S. et al. Biomarkers and fluctuating asymmetry as indicators of pollution-induced stress in two hole-nesting passerines // Functional Ecology. 2000. V. 14. P. 235–243.
- Grue C.E., Hoffman D.J., Beyer W.N., Franson L.P. Lead concentrations and reproductive success in European Starlings *Sturnus vulgaris* nesting within highway roadside verges // Environmental Pollution (Series A). 1986. V. 42. P. 157–182.

- Heeb P., Kölliker M., Richner H. Bird-ectoparasite interactions, nest humidity, and ectoparasite community structure // Ecology. 2000. V. 81. № 4. P. 958–968.
- Henny Ch.J., Blus L.J., Hoffman D.J., Grove R.A. Lead in hawks, falcons and owls downstream from a mining site on the Coeur d'Alene river, Idaho // Environ. Monit. and Assess. 1994. V. 29. № 3. P. 267–288.
- Hoffman D.J., Franson J.C., Pattee O.H. et al. Biochemical and hematological effects of lead ingestion in nestling American kestrels (*Falco sparverius*) // Comp. Biochem. and Physiol. 1985. V. C80. № 2. P. 431–439.
- Kozulin A., Pavluschick T. Content of heavy metals in tissues of Mallards *Anas platyrhynchos* wintering in polluted and unpolluted habitats // Acta ornithol. 1993. V. 28. № 1. P. 55–61.
- Novakova E., Tremilova B. Influence de la pollution de l'air sur la syngamosis du faison commun // Actes Congr. Un. Int. Biologistes du Gibier, 10<sup>th</sup>. Paris, 1971. P. 389–394.
- Nyholm N.E.I. Monitoring of terrestrial environmental metal pollution by means of free-living insectivorous birds // Annali di chimica. 1995. V. 85. P. 343–350.
- Ochiai K., Jin K., Goryo M., Tsuzuki T., Itakura C. Patomorphologic findings of lead poisoning in white-fronted geese (*Anser albifrons*) // Vet. Pathol. 1993. V. 30. № 6. P. 522–528.
- Pinowski J., Romanowski J., Barkowska M. et al. Lead and cadmium in relation to body weight and mortality of the House Sparrow *Passer domesticus* and Tree Sparrow *Passer montanus* nestlings // Acta ornithologica. 1993. V. 28. № 1. P. 64–68.