

Гематологические характеристики мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca* Pall.) в условиях промышленного загрязнения

Н. В. ЛУГАСЬКОВА, А. А. КАРФИДОВА, Е. А. БЕЛЬСКИЙ

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

АННОТАЦИЯ

В 2000–2001 гг. исследовано воздействие выбросов Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда Свердловской области) на гематологические показатели взрослых птиц и птенцов мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca* Pall.). Индекс токсической нагрузки (тяжелые металлы и диоксид серы) в зоне максимального загрязнения в 3,2 раза превышает фоновый уровень. С усилением загрязнения отмечается угнетение дыхательной функции крови: уменьшение концентрации гемоглобина и увеличение содержания незрелых эритроцитов. В локальных субпопуляциях мухоловки-пеструшки на загрязненных территориях увеличивается доля анемичных птенцов. Активизация иммунной системы птиц выражается в изменении соотношения разных форм лейкоцитов. Изменения в лейкоцитарной формуле отражают эффекты как интоксикации, так и заражения эктопаразитами. Поражение птенцов личинками мух – важный фактор, усиливающий токсическое воздействие. Реакции системы крови на токсическое воздействие у взрослых особей выражены слабее, чем у птенцов.

Одной из задач экотоксикологии является изучение ответных реакций биосистем разного уровня организации на токсическое воздействие. Под влиянием интоксикации, угрожающей нарушить саморегуляцию и постоянство внутренней среды, закономерно возникают как специфические, так и неспецифические реакции, способствующие мобилизации защитных механизмов и обеспечивающие резистентность организма. Гомеостатические механизмы представлены на разных структурно-функциональных уровнях организации живых систем – от молекулярного до популяционного. Особое значение имеют суборганизменные параметры, так как первые ответные реакции отмечаются на молекулярно-клеточном и тканевом уровнях. Адаптивные изменения физиологических показателей регистрируются уже при низких уровнях воздействия. В этой связи ключевую роль в поддержании гомеостаза в организме

и формировании адаптаций к воздействию внешних факторов играет система крови.

Для изучения эффектов токсического воздействия на систему крови животных в природных условиях чаще используют мелких млекопитающих. Однако птицы как объекты исследования имеют свои преимущества. Это интенсивный обмен веществ и способность к быстрой аккумуляции токсикантов в организме, разнообразие пищевых объектов и принадлежность к разным трофическим уровням. В гнездовой период птицы оседают на ограниченных участках, и поэтому показатели их состояния могут быть использованы для характеристики локальных территорий. Кроме того, доступность птенцов в гнездах представляет методическое удобство для работы.

Несмотря на хорошую изученность многих аспектов физиологии птиц, данных по воздействию промышленных загрязнителей на систему крови птиц, в особенности в при-

родных условиях, крайне мало. Ряд таких работ проведен на птенцах мухоловки-пеструшки и большой синицы в окрестностях предприятий цветной металлургии в Скандинавии и на Кольском полуострове [1–3], при этом авторы ограничивались определением в крови концентрации гемоглобина и гематокрита. Практически не изучено токсическое воздействие в природных условиях на характеристики эритроцитов и лейкоцитарный состав крови птиц.

Исследования влияния тяжелых металлов на гематологию птиц позволят приблизиться к пониманию общих закономерностей воздействия многокомпонентного промышленного загрязнения на систему крови животных и в перспективе – человека. Данные могут быть использованы при мониторинге состояния окружающей среды и в системе нормирования техногенно загрязненных наземных экосистем. Исследования физиологических параметров, на наш взгляд, должны предшествовать популяционным исследованиям, так как ответ системы на токсическое воздействие начинается на суборганизменном уровне. Кроме того, изучение физиологических реакций поможет понять механизмы биологических эффектов, проявляющихся на более высоких уровнях организации живых систем.

Настоящая работа посвящена изучению влияния загрязнителей (главным образом тяжелых металлов) на гематологические параметры птенцов и взрослых особей мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca* Pall., обитающих в зоне влияния медеплавильного завода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проведены в июне – июле 2000–2001 гг. в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда Свердловской области) – мощного источника выбросов в атмосферу полиметаллической пыли и диоксида серы.

В районе исследований заложены постоянные пробные площадки на участках с различной степенью деградации экосистем. При этом выделены три качественно различающиеся по уровню нагрузки зоны: импактная (максимальное загрязнение, 1–3 км от заво-

да, 3 площадки), буферная (умеренное, 4–15 км, 3 площадки) и фоновая (свыше 16 км, 2 площадки). Подробное описание этих зон опубликовано ранее [4]. При регулярных проверках занятых гнездовых регистрировали размер кладки, количество птенцов после вылупления и перед вылетом. Под наблюдением находилось 131 гнездо в фоновой зоне, 56 – в буферной и 24 – в импактной.

Объектом исследования служили птенцы в возрасте 14 дней (перед вылетом из гнезда) и взрослые особи мухоловки-пеструшки – наиболее многочисленного для этого района вида-дуплогнездника. Взрослых птиц отлавливали на гнездах. Сразу после отлова вблизи гнезда у птиц-родителей и их птенцов прижизненно отбирали кровь из локтевой вены. Свежие образцы крови использовали для определения концентрации гемоглобина по Сали, а также приготовления мазков. Мазки фиксировали раствором Май – Грюнвальда с последующим окрашиванием по Романовскому. В лаборатории на препаратах определяли соотношение зрелых и молодых эритроцитов на 200 клеток, а также лейкоцитарную формулу на 100 лейкоцитов (по: [5]). Учитывали следующие виды клеток: псевдозозинофилы (юные, палочкоядерные, сегментоядерные), зозино- и базофилы, моно- и лимфоциты. Количество исследованных взрослых птиц составило: в фоновой зоне – 14, в буферной – 23, в импактной – 11; птенцов, соответственно, 58 из 31 выводка, 59 из 39 выводков и 48 из 18 выводков.

При кольцевании птенцов осматривали на наличие под кожей личинок паразитических мух *Protocalliphora azurea* Fl или следов их локализации. По одному птенцу средних размеров из выводка отбирали для морфофизиологических исследований и химического анализа. Количество исследованных птенцов составило: в фоновой зоне – 31 из 30 выводков, в буферной – 27 из 27 выводков, в импактной – 22 из 18 выводков. Определение концентраций металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) в сухих образцах печени осуществляли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе ААС-3. Перечисленные металлы использованы в качестве маркеров многокомпонентного загрязнения.

Общую токсическую нагрузку на организм птенцов рассчитывали по формуле:

$$T = \frac{1}{4} \sum \frac{C_{ij}}{C_{ic}}$$

где C_{ij} – концентрация i -го металла (Pb, Cd, Cu, Zn) в печени j -го птенца; C_{ic} – средняя для фоновой территории концентрация того же металла в печени птенцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая токсическая нагрузка у птенцов увеличивается по мере приближения их местообитаний к заводу (табл. 1). Средний индекс нагрузки в фоновой, буферной и импактной зонах составляет соответственно 1,00; 1,78 и 3,24 относительных единиц. Основным элементом, определяющим увеличение токсического воздействия в градиенте загрязнения, является свинец. Его средняя концентрация в печени птенцов в импактной зоне в 3,96 раза превышает таковую в контроле. Эти показатели для кадмия, меди и цинка составляют соответственно 2,53; 1,26 и 1,57.

Репродуктивные показатели мухоловки-пеструшки в буферной и фоновой зонах различались несущественно. Эти характеристики в импактной зоне достоверно ($p < 0,001$) ухудшались по сравнению с контролем. Средний размер кладки составил на фоновой территории $6,4 \pm 0,1$ ($n = 131$), в импактной зоне – $4,4 \pm 0,3$ ($n = 24$). В одном гнезде вылуплялось в среднем $5,9 \pm 0,1$ ($n = 116$) и $3,0 \pm 0,4$ ($n = 24$) птенцов соответственно. Гибель яиц составляла $7,8 \pm 1,0$ и ($27,0 \pm 4,4$) %. Количество слетков на гнездо равнялось $5,5 \pm 0,1$ ($n = 118$) на фоновой территории и $2,8 \pm 0,4$ ($n = 23$) в импактной зоне. В период пребывания в гнезде погибало $7,1 \pm 1,0$ и ($12,3 \pm 3,8$) % птенцов соответственно.

Отмечено достоверное изменение показателей красной крови у птенцов по мере роста токсической нагрузки, а именно снижение уровня гемоглобина и увеличение относительного количества незрелых эритроцитов в периферической крови (табл. 2). Показатели красной крови взрослых птиц не-

Т а б л и ц а 1
Концентрация металлов в печени птенцов мухоловки-пеструшки в разных зонах загрязнения (мкг/г воздушно-сухой массы, среднее \pm ошибка)

Металл	Зона токсической нагрузки		
	Фоновая	Буферная	Импактная
Свинец	$5,5 \pm 0,9$	$10,1 \pm 1,7^*$	$21,7 \pm 2,8^{**}$
Кадмий	$1,0 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,3^{**}$
Медь	$16,1 \pm 1,0$	$14,9 \pm 1,3$	$20,2 \pm 2,2$
Цинк	$92,5 \pm 6,2$	$125,8 \pm 11,0^*$	$145,3 \pm 8,8^{**}$
n	31	27	22

*Отличия от фонового показателя достоверны при $p < 0,05$; ** $p < 0,001$.

Т а б л и ц а 2
Показатели красной крови птенцов (над чертой) и взрослых особей (под чертой) мухоловки-пеструшки в зонах с различной токсической нагрузкой

Показатель	Зона токсической нагрузки		
	Фоновая	Буферная	Импактная
Гемоглобин, г/л	$110,1 \pm 1,9$	$101,1 \pm 2,6^*$	$97,9 \pm 2,7^*$
	$121,8 \pm 1,7$	$115,9 \pm 2,1^*$	$118,5 \pm 1,9$
Незрелые эритроциты, %	$9,1 \pm 0,8$	$11,5 \pm 0,8^*$	$16,9 \pm 1,4^*$
	$4,1 \pm 0,6$	$3,6 \pm 0,5$	$4,6 \pm 0,5$
Количество особей	55	52	45
	14	23	11

*Отличия от фонового показателя достоверны при $p < 0,05$.



Рис. 1. Распределение птенцов мухоловки-пеструшки по содержанию гемоглобина в крови в фоновой (1), буферной (2) и импактной (3) зонах токсической нагрузки.

существенно различались в градиенте загрязнения. Лишь концентрация гемоглобина у особей из буферной зоны достоверно меньше, чем на фоновой территории. Сравнительный анализ этих параметров у птенцов и родителей выявил достоверные различия во всех зонах токсической нагрузки. Так, содержание гемоглобина у птенцов меньше, а число функционально неактивных эритроцитов больше, чем у взрослых птиц.

Установлено, что в контрольной выборке 95 % особей имеют концентрацию гемоглобина не менее 91 г/л (рис. 1). Этот уровень гемоглобина мы приняли в качестве нижнего предела нормы. При дальнейшем снижении уровня дыхательного пигмента диагностировали анемию. Анализ распределения птенцов по содержанию гемоглобина в крови позволил установить долю анемичных птенцов в разных зонах токсической нагрузки. В буферной зоне отмечено 26,9 % таких особей, в импактной – 31,1 %, различия с фоновой выборкой достоверны при $p < 0,01$.

Обнаружены различия между площадками в пораженности птенцов кровососущими личинками мух *Protocalliphora azurea*. Встречаемость паразитированных птенцов составила в контроле ($1,2 \pm 0,6$) % ($n = 322$), на буферной территории – ($21,4 \pm 3,3$) % ($n = 154$), на импактной – ($20,6 \pm 5,1$) % ($n = 63$). Среднее количество личинок мух на пораженного птенца варьировало от $1,75 \pm 0,48$ в контроле до $2,58 \pm 0,42$ и $3,77 \pm 0,73$ в зонах умеренного и сильного загрязнения соответственно.

Анализ показал сильную отрицательную связь между токсической нагрузкой и содержанием гемоглобина у птенцов, не зараженных эктопаразитами (коэффициент линейной корреляции $r = -0,60$, $n = 42$, $p < 0,001$). Птенцы, пораженные личинками паразитических мух, имеют более низкое содержание гемоглобина по сравнению со здоровыми особями при сходной токсической нагрузке (рис. 2). У них не выявлено достоверной связи этого показателя с содержанием металлов в печени ($r = -0,31$, $n = 14$, $p > 0,05$).

Отмечено повышенное содержание незрелых эритроцитов у птенцов, подвергшихся токсическому воздействию, по сравнению с контрольными особями. Так, в импактной зоне средняя доля юных эритроцитов у птенцов больше, чем в контрольной выборке, в 1,9 раза, а в буферной зоне – в 1,3 раза (см. табл. 2). Этот показатель зависит от наличия паразитов. На одной и той же территории содержание незрелых эритроцитов у паразитированных птенцов больше, чем у не пораженных, в 1,6–1,7 раза (рис. 3). Однако и при исключении из анализа пораженных особей различия между импактной и фоновой зонами по этому показателю составляют 1,6 раза. Доля функционально неактивных эритроцитов у взрослых птиц значительно меньше, чем у птенцов, и не зависит от зоны загрязнения.

У птенцов в зоне умеренного загрязнения среднее содержание в крови эозинофилов и

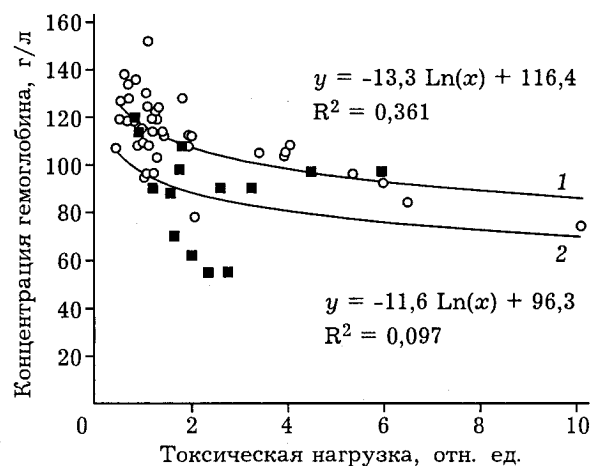


Рис. 2. Зависимость концентрации гемоглобина в крови непораженных (1) и зараженных паразитами (2) птенцов мухоловки-пеструшки от величины токсической нагрузки.

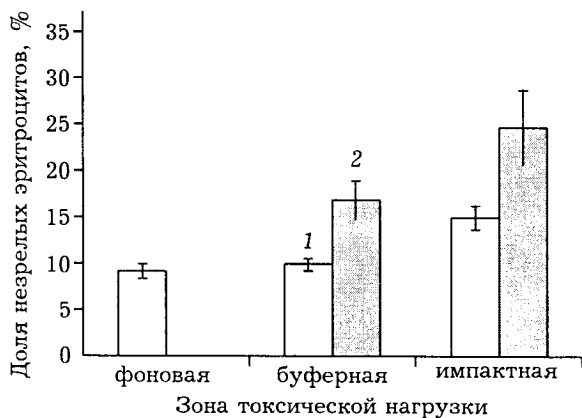


Рис. 3. Содержание незрелых эритроцитов в крови непораженных (1) и зараженных (2) паразитами птенцов мухоловки-пеструшки в разных зонах токсической нагрузки.

лимфоцитов повышено, а псевдозозинофилов и базофилов – снижено по сравнению с фоновой территорией (табл. 3). Эозинофилия у птенцов отмечается и в импактной зоне. На загрязненных участках отмечен сдвиг лейкоцитарной формулы влево. Так, доля юных псевдозозинофилов от общего количества этих клеток увеличивается с 6,1 % в контроле до 10,4 % вблизи источника выбросов. У паразитированных птенцов увеличивается содержание эозинофилов и уменьшается – базофилов. Так, в импактной зоне доля эозинофилов составляет 4,0 % у непораженных особей и 11,4 % – у пораженных личинками

мух, а доля базофилов – соответственно 11,3 и 5,9 %. Отмечена положительная связь интенсивности поражения птенцов с содержанием в крови эозинофилов (коэффициент линейной корреляции $r = 0,17$, $n = 165$, $p < 0,05$), лимфоцитов ($r = 0,20$, $n = 139$, $p < 0,05$) и отрицательная – с количеством базофилов ($r = -0,17$, $n = 139$, $p < 0,05$).

Лейкоцитарная формула у взрослых особей отличается от таковой птенцов более высоким содержанием лимфоцитов и более низким – остальных видов белых кровяных клеток. Достоверных отличий между особями из контрольной выборки и с загрязненных участков не обнаружено. У взрослых птиц, как и у птенцов, в градиенте загрязнения отмечен сдвиг лейкоцитарной формулы влево: доля юных псевдозозинофилов увеличивается с 11,5 % от общего их количества до 21,3 % в импактной.

ОБСУЖДЕНИЕ

Репродуктивные характеристики животных обладают высокой чувствительностью к токсическому воздействию. Их ухудшение сигнализирует о неблагоприятном состоянии локальных субпопуляций. Отмечаемое рядом авторов ухудшение процессов воспроизводства у птиц в окрестностях предприятий цветной металлургии [1–3] свидетельствует о

Т а б л и ц а 3

Лейкоцитарная формула птенцов (над чертой) и взрослых особей (под чертой) мухоловки-пеструшки в зонах с различной токсической нагрузкой

Виды лейкоцитов, % от общего количества	Зона токсической нагрузки		
	Фоновая	Буферная	Импактная
Псевдозозинофилы	$8,2 \pm 1,2$	$4,5 \pm 0,7^*$	$7,7 \pm 1,3$
	$2,6 \pm 0,8$	$4,0 \pm 0,8$	$5,2 \pm 1,2$
Эозинофилы	$3,8 \pm 0,5$	$4,9 \pm 0,7$	$5,4 \pm 1,3$
	$4,1 \pm 1,8$	$3,5 \pm 0,9$	$2,2 \pm 1,2$
Базофилы	$11,2 \pm 1,2$	$7,2 \pm 0,8^*$	$10,3 \pm 1,1$
	$4,6 \pm 0,8$	$6,6 \pm 1,4$	$5,0 \pm 1,2$
Моноциты	$3,1 \pm 0,6$	$3,5 \pm 0,7$	$2,6 \pm 0,4$
	$1,0 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,4$	$1,2 \pm 0,6$
Лимфоциты	$73,7 \pm 2,0$	$79,9 \pm 1,8^*$	$74,0 \pm 2,2$
	$87,7 \pm 2,6$	$84,5 \pm 1,7$	$86,4 \pm 2,6$
Количество особей	58	59	48
	14	21	9

*Отличия от фонового показателя достоверны при $p < 0,05$.

стрессовом воздействии техногенных выбросов на население птиц. При этом загрязнение оказывает не только непосредственное токсическое воздействие, но и опосредованное, выражающееся в снижении иммунитета и вследствие этого – резистентности организма к инфекциям и инвазиям. В основе упомянутых популяционных реакций, несомненно, лежат физиологические нарушения, т. е. реакции суборганизменного уровня.

Рядом авторов показано, что показатели красной крови птиц сходным образом изменяются при разных стрессовых воздействиях. Снижение уровня гемоглобина в крови отмечали у чаек, зараженных паразитами, истощенных и подвергшихся воздействию нефтяного загрязнения [6], у перепелов при отравлении пестицидами [7], у птенцов *Pica pica* L. и *Riparia riparia* L., зараженных личинками *Protocalliphora* [8], а также в условиях загрязнения среды тяжелыми металлами у птенцов *Falco sparverius* L. и *Sturnus vulgaris* L. в США [9, 10], мухоловки-пеструшки в Швеции [1, 11]. При этом гематокрит во многих случаях не изменяется [11, 12], что свидетельствует о высоком потенциале процессов кроветворения, позволяющих компенсировать снижение дыхательной функции крови.

Основное токсическое воздействие на птиц, населяющих окрестности металлургических предприятий, оказывают тяжелые металлы. В лабораторных опытах показано, что многие металлы (особенно такие высокотоксичные, как свинец и кадмий), накапливаясь в печени и почках, существенно влияют на интенсивность кроветворения, функционирование дыхательных ферментов и обменные процессы [13–16]. В частности, повышенные уровни металлов в крови вызывают гемолиз эритроцитов и разрушение гемоглобина [17]. Необходимость компенсации этих потерь приводит к интенсификации эритропоэза, в случае недостаточности которого в периферической крови появляется большое число незрелых эритроцитов. Эти признаки наряду с гипертрофией печени и селезенки служат диагностическими признаками гемолитической анемии [18].

Аналогичные эффекты мы регистрировали у птенцов на загрязненных территориях. Об угнетении дыхательных процессов свиде-

тельствуют снижение содержания гемоглобина и «экстренный выброс» из костного мозга в периферическую кровь большого количества не успевших созреть эритроцитов. Коэффициент линейной корреляции концентрации гемоглобина и доли незрелых эритроцитов в периферической крови составил $-0,337$ ($n = 139$, $p < 0,001$). Доля анемичных птенцов в импактной зоне примерно в 6 раз превышает контрольное значение. У птенцов, подверженных токсическому воздействию, отмечена гипертрофия печени. Индекс этого органа (% от массы тела) составил в среднем за два года $4,28 \pm 0,09$ ($n = 29$) на фоновой территории, $5,15 \pm 0,26$ ($n = 28$) – в буферной зоне и $5,72 \pm 0,34$ ($n = 20$) – в импактной (различия достоверны при $p < 0,01-0,001$).

Изменчивость биологических показателей дает ценную информацию о реакции живых систем на внешнее воздействие, в том числе химическое загрязнение среды. Показано, что варибельность многих показателей нелинейно зависит от величины токсической нагрузки. При низких уровнях воздействия она возрастает, а при высоких – уменьшается. Последнее явление отражает элиминацию из популяции ослабленных особей [19, 20].

Наши данные согласуются с этим заключением. Изменчивость концентрации гемоглобина у птенцов возрастает в градиенте загрязнения. Коэффициент вариации этого показателя на фоновой территории равен 11,8 %, в буферной зоне – 14,6, в импактной – 17,8 %. Возрастание коэффициента вариации на загрязненных территориях свидетельствует о дестабилизации внутренней среды организма в условиях токсического воздействия. Отметим, что нижняя граница распределения содержания гемоглобина у птенцов смещается с 48 г/л в буферной зоне до 62 г/л в импактной. Этот факт может свидетельствовать о повышенной элиминации анемичных особей при высокой токсической нагрузке.

Реакция системы красной крови на загрязнение у взрослых особей выражена слабее, чем у птенцов. Содержание гемоглобина в крови несколько снижается с увеличением токсической нагрузки. Это указывает на угнетение дыхательных процессов и у взрослых особей. В то же время интенсификации эритропоэза в условиях загрязнения, по-видимо-

му, не происходит, так как доля молодых эритроцитов не меняется. Таким образом, механизмы поддержания гомеостаза у взрослых птиц обладают большей эффективностью, чем у птенцов.

Известно, что лейкоциты тесно связаны с иммунной системой организма, осуществляют фагоцитоз, участвуют в нейтрализации токсинов. Нарушения в организме вызывают изменения количества определенных видов лейкоцитов в зависимости от специфики воздействия [5]. Одной из ответных реакций иммунной системы организма на воздействие токсического фактора является изменение количественного состава псевдоэозинофилов в градиенте нагрузки. Увеличение доли юных форм псевдоэозинофилов у птенцов на загрязненной территории свидетельствует об интенсификации гранулоцитопоза и ускорении выхода этих клеток в кровь. В зоне умеренного загрязнения реакция иммунной системы проявилась не только в повышении активности лейкопоза, но и в увеличении относительного числа лимфоцитов.

В зоне сильного загрязнения не отмечено существенных сдвигов в средних показателях лейкоцитарной формулы птенцов, что может объясняться гибелью части ослабленных особей на ранних стадиях развития: смертность гнездовых птенцов в импактной зоне в 1,7 раза превышает контрольный уровень. При этом крайние по своим характеристикам особи не попадают в выборку и не оказывают влияния на ее статистические характеристики [20].

Зараженность птенцов личинками мух обуславливает более низкий уровень гемоглобина и более высокое содержание незрелых эритроцитов по сравнению с непораженными особями. Отсутствие корреляции концентрации дыхательного пигмента и величины токсической нагрузки в группе паразитированных птенцов, по-видимому, свидетельствует о том, что этот показатель в большей степени зависит от наличия эктопаразитов, чем от интоксикации. Отмечается обратная связь между количеством паразитов на птенце и концентрацией гемоглобина. В группе всех птенцов коэффициент линейной корреляции $r = -0,36$ ($n = 152$, $p < 0,001$), в группе паразитированных птенцов связь

сильнее: $r = -0,49$ ($n = 24$, $p < 0,05$). Инвазия паразитами активизирует реакции иммунной системы, о чем свидетельствует корреляция между интенсивностью поражения птенцов и содержанием в крови эозинофилов, лимфоцитов и базофилов. Зараженные особи отличаются также меньшей массой, неадекватным поведением (вялость), неровным оперением, что наряду с ухудшением гематологических показателей свидетельствует об ослаблении организма. Не исключено вторичное инфицирование таких особей болезнетворными микроорганизмами через открытые раны на теле. Таким образом, поражение паразитами выступает в качестве важного фактора, усиливающего токсическое воздействие на птенцов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенное загрязнение среды обитания выступает в качестве мощного фактора, приводящего к сдвигам гематологических показателей у птиц из природных популяций. Это, прежде всего, угнетение дыхательной функции крови, проявляющееся в снижении концентрации гемоглобина в крови. Компенсаторная интенсификация эритропоза сопровождается повышением содержания в крови незрелых эритроцитов. В локальных субпопуляциях загрязненных территорий увеличивается доля анемичных птенцов. Токсическое воздействие приводит к активизации иммунной системы птиц, что выражается в изменении соотношения разных форм лейкоцитов. Изменения в лейкоцитарной формуле отражают воздействие как интоксикации, так и заражения эктопаразитами. Поражение птенцов личинками мух выступает в качестве важного фактора, усиливающего токсическое воздействие. Реакции системы крови на токсическое воздействие у взрослых особей выражены слабее, чем у птенцов, что связано с большей эффективностью регуляторных физиологических механизмов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. N. E. I. Nyholm, *Annali di chimica*, 1995, 85, 343-350.
2. T. Eeva, S. Tanhuanpää, C. Råbergh et al., *Functional Ecology*, 2000, 14, 235-243.
3. А. С. Гилязов, Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии, Казань, 2001, 172.
4. Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафонов, Экологическое нормирование техногенных загрязнений экосистем, Екатеринбург, 1994.
5. А. А. Кудрявцев, Л. А. Кудрявцева, Клиническая гематология животных, М., 1974.
6. Ch. Averbeck, *Avian Pathol.*, 1992, 2, 215-223.
7. E. Szubartowska, K. Aromysz-Kalkowska, *Compar. Biochem. and Physiol. C.*, 1992, 101: 2, 263-267.
8. T. L. Whitworth, G.F. Bennett, *Can. J. Zool.*, 1992, 70, 2184-2191.
9. C. E. Grue, D. J. Hoffman, W. N. Beyer, L. P. Franson, *Environmental Pollution (Ser. A)*, 1986, 42, 157-182.
10. Ch. J. Henny, L. J. Blus, D. J. Hoffman, R. A. Grove, *Environ. Monit. and Assess.*, 1994, 29: 3, 267-288.
11. N. E. I. Nyholm, *Arch. Environ. Cont. and Toxicol.*, 1998, 35, 632-637.
12. L. S. Johnson, M. D. Eastman, L.H. Kermott, *Can. J. Zool.*, 1991, 69, 1441-1446.
13. S. Koyama, H. Ozaki, *Bull. Jap. Soc. Sci Fish.*, 1984, 50: 2, 199-203.
14. D. J. Hoffman, J. C. Franson, O. H. Pattee et al., *Comp. Biochem. and Physiol.*, 1985, C80: 2, 431-439.
15. J. T. Lumeij, *Vet. Quart.*, 1985, 7: 2, 133-138.
16. A. M. Scheuhammer, *J. Wildlife Manag.*, 1989, 53: 3, 759-765.
17. K. Ochiai, K. Jin, M. Goryo et al., *Vet. Pathol.*, 1993, 30: 6, 522-528.
18. А. А. Журавель, А. Г. Савойский, Патологическая физиология сельскохозяйственных животных, М., 1985.
19. В. С. Безель, Е. А. Бельский, С. В. Мухачева, *Экология*, 1998, 3, 217-223.
20. В. С. Безель, В. Н. Позолотина, Е. А. Бельский, Т. В. Жуйкова, *Экология*, 2001, 6, 447-453.

Hematological Characteristics of Pied Flycatcher (*Ficedula hypoleuca* Pall.) Under the Conditions of Industrial Pollution

N.V. LUGASKOVA, A.A. KARFIDOVA, E.A. BELSKY

In 2000-2001, the effect of discharges of the Middle-Ural copper-smelting plant (city of Reuda, Sverdlovsk oblast) on hematological indices of adult and young pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca* Pall.) was studied. The toxic load index (heavy metals and sulphur dioxide) in the zone of maximal contamination exceeds 3.2-fold the background level. As the contamination is enhanced, a depression of respiratory function of blood - a decrease of hemoglobin concentration and an increase of that of immature erythrocytes - is observed. In local subpopulations of pied flycatcher in contaminated territories the percentage of anemic fledgelings is increased. Activation of the immune system is expressed in a change of proportion of various forms of leucocytes. The changes of the leucocyte formula reflect the effects of both intoxication and of infection by parasites. Affection of young birds by fly larvae is an important factor enhancing the toxic effects. Reactions of blood system to the toxic effects in adult individuals are expressed less than in young ones.