

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЛИНЫ КРЫЛА МУХОЛОВОК-ПЕСТРУШЕК *FICEDULA HYPOLEUCA* (PALL.), ГНЕЗДЯЩИХСЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ СРЕДНЕУРАЛЬСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА<sup>1</sup>

© 2025 г. Е. А. Бельский<sup>a,\*</sup>, А. Г. Ляхов<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Институт экологии растений и животных УрО РАН,  
Россия 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

\* e-mail: [belskii@ipae.uran.ru](mailto:belskii@ipae.uran.ru)

Поступила в редакцию 21.02.2025 г.

После доработки 06.06.2025 г.

Принята к публикации 09.06.2025 г.

Проанализирована пространственно-временная динамика длины крыла мухоловок-пеструшек, гнездящихся в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), за период 1996–2023 гг., сопровождавшийся значительным сокращением промышленных выбросов. Самки и самцы вблизи СУМЗа в среднем мельче, чем на фоновой территории, вероятно, в связи с вытеснением особей худшего качества в субоптимальные (загрязненные) местообитания. Размеры годовалых особей меньше, чем старших. Длина крыла самцов возрастает с увеличением меланизации верхней стороны тела. На протяжении периода исследований средняя длина крыла и доля старших особей в гнездовом населении увеличивались. Связь между размерами особей в родительских парах была незначимой. Чем крупнее были гнездящиеся особи, тем раньше они начинали откладку яиц, тем больше яиц и слетков было в их гнездах.

**Ключевые слова:** размерная структура, многолетняя динамика, промышленное загрязнение, сокращение промышленных выбросов, Средний Урал

DOI: 10.31857/S0367059725040047

Анализ морфологической изменчивости особей в природных популяциях птиц дает информацию о действующих экологических факторах и процессах адаптации к условиям среды [1]. Среди антропогенных факторов выделяется химическое загрязнение среды, способное приводить к изменению генетической и фенотипической структур локальных популяций [2, 3]. Величина особей у птиц – важный показатель, определяющий конкурентоспособность особи, выживаемость и репродуктивный успех. Размеры особей оценивают чаще всего по длине крыла или цевки [4–6]. Длина крыла коррелирует с длиной цевки и массой тела [7, 8].

Отмечено, что загрязнение среды может влиять на размеры птиц, включая уменьшение массы тела, длины крыла, увеличение флуктуирующей асимметрии (ФА) конечностей и маховых перьев, замедление развития особей. Негативные эффекты загрязнения чаще проявляются у молодых птиц, чем у взрослых [9]. Тем не менее результаты исследований неоднозначны. У птенцов тугайного соловья *Cercotrichas galactotes* в Тунисе отмечено замедление

роста (меньшая длина цевки, маховых и рулевых перьев) и возрастание ФА с увеличением поступления тяжелых металлов (Pb, Zn) в организм [10]. В Китае на территории, загрязненной тяжелыми металлами, длина крыла, цевки и масса тела перед вылетом из гнезда, а также скорость роста у птенцов полевого воробья *Passer montanus* были меньше, чем на незагрязненной территории. У взрослых воробьев только длина и масса тела, а также длина среднего пальца (но не длина крыла и цевки) на загрязненной территории были меньше, чем в контроле [11, 12]. Длина крыла и масса тела взрослых особей домового воробья *Passer domesticus* в Турции отрицательно коррелировали с концентрациями Cu и Zn в организме [13]. Вблизи металлургического завода в Антверпене (Бельгия) 15-дневные птенцы большой синицы *Parus major* были легче, чем в контроле, но различий между участками в длине цевки не отмечено. У взрослых синиц в гнездовой период не было различий между участками по длине крыла, цевки и массы тела [14], но вне периода размножения длина крыла на участке вблизи завода была в среднем меньше, чем вдали от него [15]. Длина крыла

<sup>1</sup> Дополнительные материалы размещены в электронном виде по DOI статьи: DOI: 10.31857/S0367059725040047

и масса тела лазоревки *Parus caeruleus* в Антверпене не различалась между участками, но длина цевки была самой большой на участке со средним уровнем загрязнения [16]. Негативный эффект воздействия загрязнения на размеры птиц не был отмечен вблизи медно-никелевого завода в Харьявалте, Финляндия. Здесь не было различий между зонами загрязнения в средней длине крыла у самок мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca* и большой синицы [17]. В другом исследовании в Харьявалте не выявлена связь между расстоянием до завода и длиной цевки и первостепенных маховых у птенцов мухоловки-пеструшки и большой синицы, но отмечено увеличение ФА этих показателей [7]. На урбанизированной территории в США длина цевки птенцов странствующего дрозда *Turdus migratorius* и кошачьего пересмешника *Dumetella carolinensis* не зависела от концентрации Pb в крови [18].

Многие авторы анализируют зависимость размеров птиц только от уровня загрязнения среды, не учитывая другие экологические факторы. Вместе с тем условия среды могут модифицировать влияние загрязнения среды на состояние птиц в природе [17, 19]. Большинство исследований основаны на результатах лишь нескольких лет наблюдений. Многолетняя динамика размерной структуры локальных группировок птиц в условиях промышленного загрязнения практически не изучена. Актуальность многолетних исследований очевидна, учитывая происходящие климатические изменения и сокращение промышленных выбросов, происходящее в последние десятилетия во многих промышленных регионах мира [20].

Цель настоящей работы – анализ пространственно-временной динамики размерной структуры локальных гнездовых группировок мухоловки-пеструшки на участках с разным уровнем загрязнения выбросами крупного медеплавильного комбината на Среднем Урале. Мы попытались выделить факторы, влияющие на размерную структуру гнездового населения этого вида. Проверяли гипотезу о том, что мухоловки-пеструшки в зоне сильного загрязнения имеют в среднем меньшую длину крыла по сравнению с птицами на незагрязненной территории. Ожидали, что различия в размерах особей между загрязненными и фоновыми участками у самцов выражены сильнее, чем у самок, ввиду активной конкуренции самцов за места гнездования. Учитывая сокращение промышленных выбросов этого предприятия в последние десятилетия, ожидали увеличения за время исследований средней длины крыла гнездящихся возле завода птиц. Проверяли гипотезу о корреляции размеров партнеров в гнездящихся парах. Оценивали связь длины крыла птиц со сроками размножения и вели-

чиной кладки, предполагая, что более крупные особи начинают гнездиться раньше и откладывают больше яиц по сравнению с мелкими особями.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), расположенного близ г. Ревды Свердловской обл. (56°51' с.ш., 59°53' в.д.), который функционирует с 1940 г. В составе его атмосферных выбросов преобладают окислы серы и пыль, содержащая тяжелые металлы (Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Hg и др.) и металлоиды (As). В 1980-х годах валовые выбросы СУМЗа достигали 150–225 тыс. т поллютантов в год. С начала 1990-х годов выбросы постепенно снижались, и после коренной реконструкции, завершившейся в 2009 г., стабилизировались на уровне 3–4 тыс. т/год [21].

Материал для данной работы собран в 1996–2023 гг. на участках с искусственными гнездовьями (ИГ). Участки заложены к западу от СУМЗа в зонах сильного загрязнения (импактная, на расстоянии 1–2 км от завода), умеренного (буферная, 4–8 км) и в условно незагрязненной (фоновой, 16–27 км). В разные годы под наблюдением находились 7–11 участков. Схема района работ, описание участков и гнездовых опубликованы ранее [22]. Мухоловка-пеструшка преобладала среди видов, заселявших ИГ [23].

Мухоловка-пеструшка – мелкий (11–14 г) вид насекомоядных птиц, дальний мигрант. Зимует в Африке к югу от Сахары, прилетает на места гнездования на Среднем Урале в конце апреля–начале мая, имеет одну кладку за сезон [24]. В районе исследований мухоловки-пеструшки откладывают яйца во второй половине мая–начале июня, выкармливают птенцов во второй половине июня–начале июля.

Гнездовья проверяли с интервалом 3–7 дней, начиная со стадии строительства гнезда и до вылета птенцов. В каждом гнезде регистрировали дату начала кладки, количество отложенных яиц, выплывшихся и вылетевших из гнезда птенцов. Самок отлавливали на гнездах во время насиживания кладок и выкармливания птенцов, самцов обычно на стадии выкармливания птенцов. Самки были отловлены в 93% гнезд с законченной кладкой, самцы – в 77% гнезд. Использовали ловушки в виде клапана, а также клетки с подпружиненной дверцей, иногда паутинные сети. Самцы, отловленные на пустых ИГ до начала размножения, а также визитеры, помогавшие кормить птенцов, не включены в анализ. Птиц метили алюминиевыми кольцами, измеряли

длину крыла (максимально вытянутого и прижатого к линейке) с точностью до 0.5 мм. Длину крыла использовали как показатель величины особи. Измерения проводили оба автора. Расхождение между учетчиками при повторных промерах одних и тех же особей не превышало ошибку измерения.

Возраст птиц, отловленных впервые (1 год, т.е. появившиеся на свет в предыдущем году, 2 года и старше), определяли по особенностям оперения [25]. В анализе использованы 2524 самки и 2056 самцов. У 4.3% самок и 4.5% самцов не удалось определить возраст. Таких особей не учитывали при анализе в случаях, где одним из предикторов был возраст. При повторных измерениях одной особи в течение одного гнездового сезона в анализ включали среднее значение. Особей с обломанными вершинами первостепенных маховых не включали в анализ.

Известно, что в промежутке между последовательными линьками маховые перья птиц могут изнашиваться, особенно в период гнездования, сопровождающийся высокой летной активностью [26, 27]. Таким образом, различия особей по длине крыла могут быть связаны не только с величиной тела, но и с днем гнездового цикла, когда птицы были измерены. Для расчета износа (укорочения) крыла у мухоловок-пеструшек в гнездовой период проанализировали собственные повторные измерения особей в течение одного сезона одним и тем же учетчиком (166 самок и 98 самцов). Укорочение крыла между двумя измерениями отмечено у 34% самок и 17% самцов. В связи с тем, что птиц измеряли только во время гнездового периода, различия в дне гнездового цикла между особями обычно не превышали один месяц у самок (от начала насиживания до вылета птенцов) и две недели у самцов (период выкармливания птенцов). Выборки в разных зонах не были смещены относительно дня гнездового цикла в момент измерений. Медианы возраста птенцов в день отлова составляли 9–11 дней у самок в разных зонах и 12 дней у самцов во всех зонах. Учитывая сжатый период измерений с точки зрения фенологии, а также небольшую долю особей с износом крыла, мы не стали применять поправки к измеренным значениям длины крыла. Применение поправок вряд ли повлияло бы на результаты, поскольку величина износа маховых перьев у воробьиных, как правило, не превышает 1% исходной длины крыла в месяц [27].

Для сравнения распределений длины крыла птиц в разных зонах загрязнения использовали критерий Краскелла-Уоллиса и медианный тест. Различия длины крыла птиц между зонами загрязнения и возрастными группами анализировали с помощью двухфакторного

дисперсионного анализа отдельно у самок и самцов. Значимость различий между группами определяли с помощью критерия Тьюки. Величину эффекта загрязнения оценивали по  $d$  Коэна (Cohen's  $d$ ) с помощью онлайн-калькулятора <https://www.campbell-collaboration.org/calculator/d-means-sds>. При дальнейшем анализе изменчивости длины крыла применяли общие линейные модели. Показатели самок и самцов анализировали отдельно. Категориальные предикторы включали зону загрязнения (импактная (1), буферная (2), фоновая (3)), возраст птицы (1 год (1), 2 года и старше (2)), период (до сильного сокращения выбросов: 1996–2009 гг. (1) и после сокращения выбросов: 2010–2023 гг. (2)), биотоп (лиственный (1), хвойный (2)) и взаимодействия переменных. Для самцов учитывали балл окраски по семибальной шкале Дроста [28]. Непрерывными предикторами были десятичный логарифм плотности гнездования на конкретной площадке в каждый год и средняя температура воздуха первой половины мая (период занятия гнездовых территорий). Плотность гнездования (пар/га) рассчитывали как отношение количества гнезд с полной кладкой (т.е. с начавшимся насиживанием) к площади участка. Площадь прямоугольного участка определяли как площадь прямоугольника с добавлением периферийной полосы шириной 50 м. Площадь участков с линейной развеской определяли по длине линии с периферией 50 м во всех направлениях [29].

Данные погоды на ближайшей метеостанции в г. Ревде предоставлены Свердловским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (1989–2019 гг.), а также получены на сайте [www.pogodaiklimat.ru](http://www.pogodaiklimat.ru) (2020–2023 гг.).

В ходе оптимизации моделей из них удаляли одну за другой незначимые переменные в порядке убывания уровня значимости. В окончательных моделях оставлены переменные и взаимодействия с  $p < 0.1$ , а также переменные, входящие в значимые взаимодействия.

Многолетнюю динамику размеров особей мухоловки-пеструшки анализировали с помощью общих линейных моделей, используя в качестве зависимой переменной среднюю для года и зоны загрязнения длину крыла, а в качестве предикторов год, пол, зону и их взаимодействия. Доля взрослых особей не включена в анализ ввиду ее корреляции с годом.

Связь между длиной крыла самок и самцов в гнездовых парах, длиной крыла птиц и сроками начала кладки, количеством яиц и слетков в гнезде оценивали с помощью линейной корреляции Пирсона. Поскольку сроки размножения различаются между

годами, даты начала кладок стандартизовали для каждого года:  $((x - SD)/mean)$ , где  $x$  – номер дня откладки первого яйца (1 мая = 1),  $mean$  – среднее за год,  $SD$  – стандартное отклонение. У бигамных самцов учтены только первые гнезда. Расчеты проводили в программах JMP.10.0.0 и Statistica 10.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

У самок средняя длина крыла в фоновой зоне больше, чем в импактной и буферной (табл. 1). Распределения длины крыла различались в разных зонах (критерий Краскелла-Уоллиса  $H = 33.55$ ,  $n = 2524$ ,  $p < 0.001$ ). Доля крупных особей (с размерами, превышающими медиану объединенной выборки) в фоновой зоне (45.8%) больше, чем в буферной (38.8%) и импактной (37.2%), медианный тест  $\chi^2 = 14.29$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.001$ . Годовалые особи мельче старших. Длина крыла годовалых самок не различалась между зонами, а размеры старших особей в буферной зоне меньше, чем в фоновой.

У самцов средняя длина крыла в фоновой и буферной зонах больше, чем в импактной (см. табл. 1). Величина особей с определенным возрастом (и годовалых, и старших) в фоновой зоне больше, чем в импактной. Распределения длины крыла различались между зонами ( $H = 28.72$ ,  $n = 2056$ ,  $p < 0.001$ ). Доля крупных особей в фоновой (45.1%) и буферной (40.6%) зонах больше, чем в импактной (34.9%),

медианный тест  $\chi^2 = 13.58$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.0011$ . Эффект зоны загрязнения у самцов более выражен, чем у самок: у самцов доверительный интервал величины эффекта не включает ноль во всех возрастных группах, а у самок эффект значим только в объединенной группе особей (см. табл. 1).

Анализ общих линейных моделей подтвердил влияние зоны загрязнения и возраста самок на длину крыла (табл. 2). Незначимое взаимодействие этих предикторов свидетельствует о сходном изменении между зонами размеров особей в обеих возрастных группах. Эффекты периода и плотности гнездования незначимы, но их взаимодействие значимо. В первом периоде возрастание плотности гнездования сопровождалось увеличением средней длины крыла особей, а во втором периоде размеры птиц не изменялись с ростом плотности гнездования (рис. 1а). Значимо было и взаимодействие зоны и плотности гнездования. В фоновой и импактной зонах увеличение плотности гнездования происходило за счет более крупных самок (размеры птиц в среднем возрастали), а в буферной зоне средняя длина крыла птиц не была связана с плотностью гнездового населения (рис. 1б). Величина самок не зависела от биотопа и температуры воздуха первой половины мая (табл. 2)

Длина крыла самцов зависела от зоны и возраста (см. табл. 2). Размеры самцов связаны с окраской верхней стороны тела. Чем светлее окраска (больше

**Таблица 1.** Длина крыла (мм) особей мухоловки-пеструшки, гнездящихся в разных зонах загрязнения в окрестностях СУМЗа

Возраст	Зона						Величина эффекта (95% ДИ)
	импактная		буферная		фоновая		
	<i>n</i>	среднее ± SE (min–max)	<i>n</i>	среднее ± SE (min–max)	<i>n</i>	среднее ± SE (min–max)	
Самки							
Все особи *	522	79.81 ± 0.06 <sup>a</sup> (76.0–84.0)	356	79.85 ± 0.07 <sup>a</sup> (75.5–84.0)	1646	80.19 ± 0.04 <sup>b</sup> (75.0–85.0)	–0.26 (–0.36; –0.16)
1 год	228	79.22 ± 0.08 <sup>c</sup> (76.0–83.0)	81	79.17 ± 0.16 <sup>c</sup> (75.5–83.0)	350	79.39 ± 0.07 <sup>c</sup> (76.0–83.5)	–0.13 (–0.30; 0.04)
≥2 года	285	80.34 ± 0.08 <sup>ab</sup> (77.0–84.0)	246	80.11 ± 0.08 <sup>b</sup> (77.0–84.0)	1224	80.45 ± 0.04 <sup>a</sup> (75.5–85.0)	–0.08 (–0.21; 0.05)
Самцы							
Все особи *	398	81.67 ± 0.08 <sup>a</sup> (77.0–87.0)	288	82.02 ± 0.09 <sup>b</sup> (76.5–88.0)	1370	82.16 ± 0.04 <sup>b</sup> (76.0–86.5)	–0.32 (–0.43; –0.21)
1 год	96	80.36 ± 0.15 <sup>c</sup> (77.0–83.5)	38	81.26 ± 0.28 <sup>cd</sup> (78.0–85.5)	177	80.98 ± 0.11 <sup>d</sup> (76.0–85.0)	–0.44 (–0.67; –0.18)
≥2 года	299	82.09 ± 0.09 <sup>bc</sup> (78.0–87.0)	227	82.26 ± 0.09 <sup>ab</sup> (78.5–88.0)	1133	82.37 ± 0.04 <sup>a</sup> (77.0–86.5)	–0.20 (–0.32; –0.07)

\* Включая особей с неопределенным возрастом. Величины, помеченные разными буквами, различаются между собой при  $p < 0.05$  (1-факторный ANOVA для объединенной группы особей и 2-факторный ANOVA для особей с определенным возрастом).

балл по шкале Дроста), тем короче крыло (табл. 3). Наименьшая в среднем длина крыла у самцов 7-й морфы, наибольшая – в группе особей 2–5-й морф, в которой различия длины крыла у разных фенотипов незначимы. Самцы 6-й морфы занимают промежуточное положение по длине крыла. Связь длины крыла самцов с их окраской проявляется у старших птиц, а у годовалых – только при сравнении самцов 3-й морфы с самцами 5–7-й морф (см. Приложение, табл. S1). Эффекты периода и плотности гнездования незначимы, но их взаимодействие значимо. В первом периоде возрастание плотности гнездования связано с увеличением средних размеров особей, а во втором периоде длина крыла птиц не изменялась с ростом плотности гнездования (см. Приложение, рис. S1). Размеры самцов не зависели от биотопа и температуры воздуха первой половины мая.

Анализ многолетней динамики длины крыла мухоловок-пеструшек показал значимое влия-

ние года, зоны загрязнения и пола. Модель с этими предикторами объясняла 80.3% дисперсии ( $n = 165, F = 70.03, p < 0.001$ ). На протяжении периода исследований отмечено увеличение размеров гнездящихся особей обоих полов во всех зонах (рис. 2). Взаимодействия предикторов незначимы (табл. 4). У самок и самцов, гнездящихся в импактной зоне, доля годовалых особей больше, чем в буферной и фоновой (см. Приложение, рис. S2). Анализ многолетней динамики возрастного состава гнездящихся мухоловок выявил увеличение доли старших особей у обоих полов на протяжении периода исследований во всех зонах (см. Приложение, рис. S3). Коэффициент линейной корреляции доли старших особей с номером года составил: у самок  $-r = 0.62 \pm 0.15$  (SE),  $n = 28$  (зоны объединены),  $p < 0.001$ , у самцов  $-r = 0.63 \pm 0.15$ ,  $n = 28$ ,  $p < 0.001$  (зоны объединены). Модель динамики длины крыла мухоловок с предиктором «доля старших особей» вместо «года» также хорошо соответствует данным, объясняя 83.3% дисперсии.

**Таблица 2.** Общие линейные модели для изменчивости длины крыла особей мухоловки-пеструшки, гнездящихся в окрестностях СУМЗа

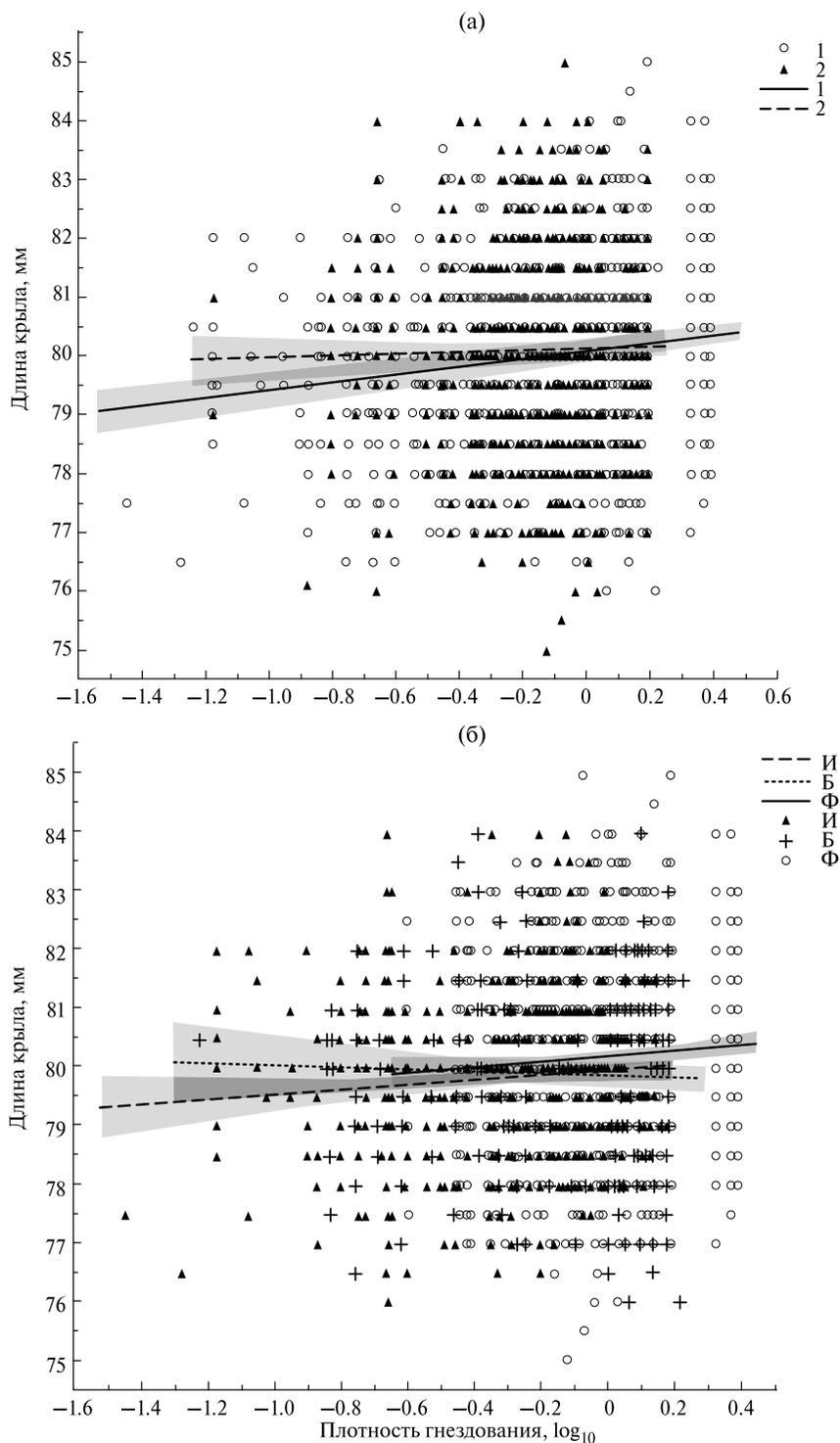
Источник изменчивости	Самки			Самцы		
	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Зона	2	3.97	0.019	2	5.78	0.003
Возраст	1	276.50	<0.001	1	152.73	<0.001
Период	1	0.04	0.835	1	0.71	0.401
Биотоп	1	ns		1	ns	
Балл окраски	5	NA		5	7.25	<0.001
Плотность гнезд ( $\log_{10}$ )	1	1.24	0.266	1	1.02	0.313
Температура (1–15 мая)	1	ns		1	ns	
Зона × возраст	2	ns		2	ns	
Зона × плотность гнезд	2	4.30	0.014	2	ns	
Период × плотность гнезд	1	7.95	0.005	1	4.81	0.028
Период × возраст	1	ns		1	ns	
Остаточная	2400			1934		

Примечание. Представлены переменные, вошедшие в окончательные модели; ns – эффект незначим; NA – переменная не включена в анализ.

**Таблица 3.** Длина крыла (мм) самцов мухоловки-пеструшки разных цветовых морф

Балл окраски по шкале Дроста	<i>n</i>	Среднее ± SE (SD)	Min	Max
2	10	83.00 ± 0.34 (1.08) <sup>ab</sup>	81.0	84.5
3	278	82.37 ± 0.09 (1.42) <sup>a</sup>	78.5	86.5
4	362	82.39 ± 0.08 (1.43) <sup>a</sup>	79.0	86.5
5	724	82.17 ± 0.06 (1.56) <sup>a</sup>	76.0	88.0
6	518	81.70 ± 0.07 (1.51) <sup>b</sup>	77.0	86.0
7	131	80.96 ± 0.14 (1.55) <sup>c</sup>	76.0	84.5

Примечание. Объединены особи разных возрастов и с неопределенным возрастом. Величины, помеченные разными буквами, различаются между собой при  $p < 0.05$  (однофакторный ANOVA, критерий Тьюки).



**Рис. 1.** Связь длины крыла самок мухоловки-пеструшки с плотностью гнездования в разные периоды (а: 1 – 1996–2009 гг., 2 – 2010–2023 гг.) и в разных зонах загрязнения (б: И – импактная, Б – буферная, Ф – фоновая). Закрашенные области – 95%-ный ДИ.

Связь между размерами особей в родительских парах была незначимой: коэффициент линейной корреляции длины крыла самок и самцов составил  $r = 0.043 \pm 0.023$ ,  $n = 1842$ ,  $p = 0.064$ . Чем крупнее были гнездящиеся особи, тем раньше они начинали откладку яиц (рис. 3). Ко-

эффициент линейной корреляции длины крыла со стандартизованной датой откладки первого яйца у самок составил  $r = -0.101 \pm 0.020$ ,  $n = 2476$ ,  $p < 0.001$ , у самцов  $-r = -0.111 \pm 0.022$ ,  $n = 1998$ ,  $p < 0.001$ . Чем крупнее были самки, тем больше яиц было в их гнездах

(см. Приложение, рис. S4). Коэффициент корреляции длины крыла самок с величиной полной кладки составил  $r = 0.143 \pm 0.020$ ,  $n = 2484$ ,  $p < 0.001$ . Количество слетков на гнездо возрастало с увеличением размеров родителей во всех зонах (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Средние размеры особей мухоловки-пеструшки уменьшались с приближением к СУМЗу, особенно у самцов. Изменения размерной структуры локальных группировок на загрязненных территориях могут быть вызваны разными причинами (токсическое действие на организм в период роста, изменение местообитаний, внутривидовые взаимодействия). У оседлых птиц, группировки которых ежегодно пополняются особями местного происхождения, размеры взрослых особей определяются условиями в период их роста. Поступление поллютантов в организм может влиять на физиологические процессы, замедлять рост и развитие птенцов [30, 31]. Так, у полевого воробья в Китае на загрязненной территории размеры и птенцов, и взрослых особей меньше, чем в незагрязненном районе [11]. Но в большинстве случаев нет явной связи между морфологическими характеристиками птенцов и взрослых птиц. Так, вблизи металлургического завода в Финляндии птен-

цы большой синицы были мельче, чем на фоновой территории, но у взрослых самок таких различий не было [30, 32, 33]. Отсутствие однозначного соответствия между характеристиками птенцов и взрослых птиц связано с большой смертностью молодых особей в первый год жизни. У мелких воробьиных птиц до вступления в размножение доживают около трети слетков [34]. Кроме того, многие молодые особи даже у оседлых видов покидают район рождения в первый год жизни [35]. Для перелетных видов характерно значительное ежегодное обновление гнездового населения. Так, у мухоловки-пеструшки обычно не более 10% особей возвращаются в район рождения и не более 50% взрослых особей возвращаются в район предыдущего гнездования [29].

Одна из гипотез, выдвинутых для объяснения фенотипических различий особей в разных местообитаниях, – гипотеза выбора подходящей среды обитания [36]. Согласно этой гипотезе, особи активно выбирают местообитания, наиболее полно соответствующие их морфологическим, физиологическим и поведенческим особенностям. Выбор территорий с наиболее подходящими условиями позволяет увеличить приспособленность особей. Например, птицы выбирают местообитания, где размеры потенциальных жертв соответствуют размерам

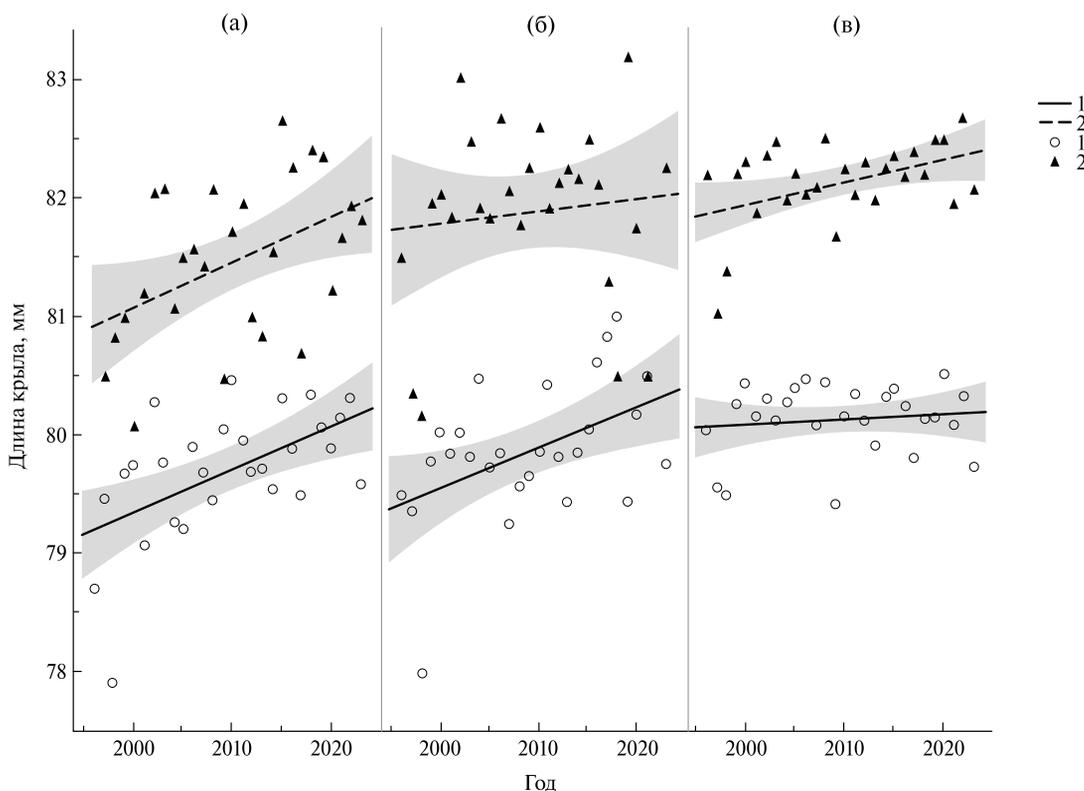
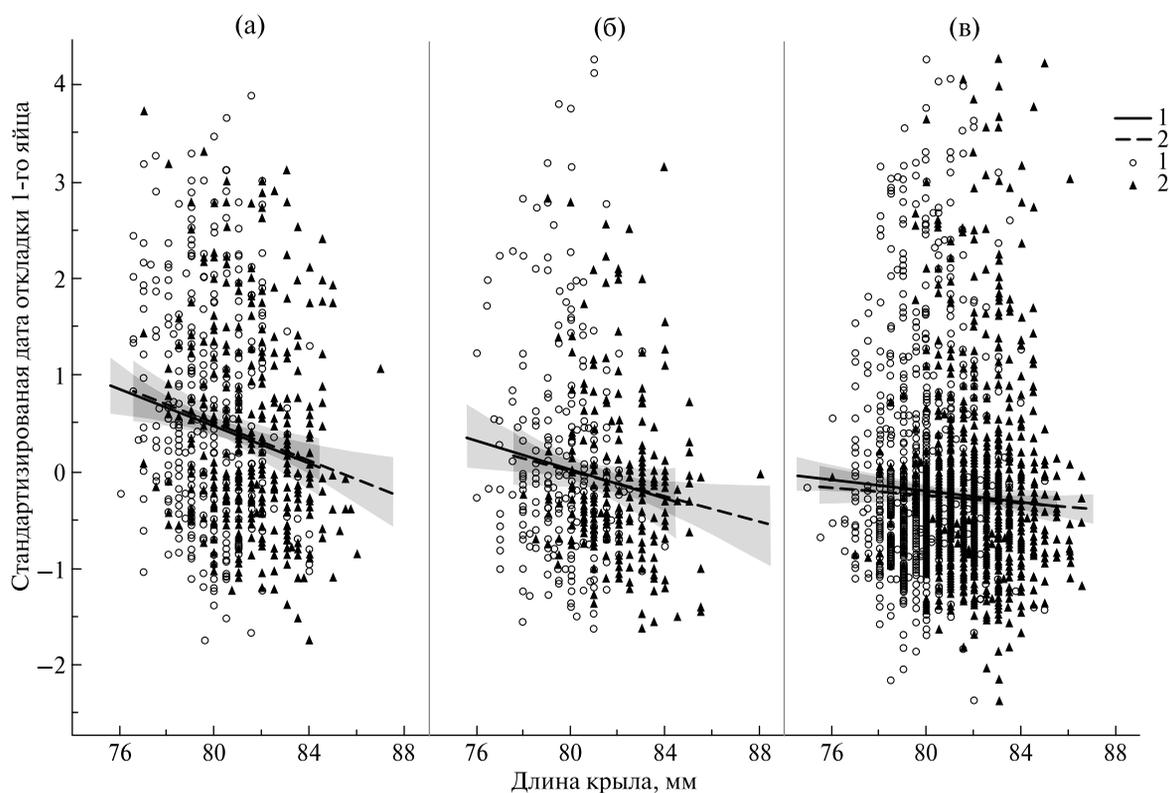


Рис. 2. Многолетняя динамика длины крыла самок (1) и самцов (2) мухоловки-пеструшки, гнездящихся в импактной (а), буферной (б) и фоновой (в) зонах. Круги и треугольники – среднее за год в конкретной зоне.

**Таблица 4.** Общие линейные модели многолетней динамики длины крыла особей мухоловки-пеструшки в окрестностях СУМЗа

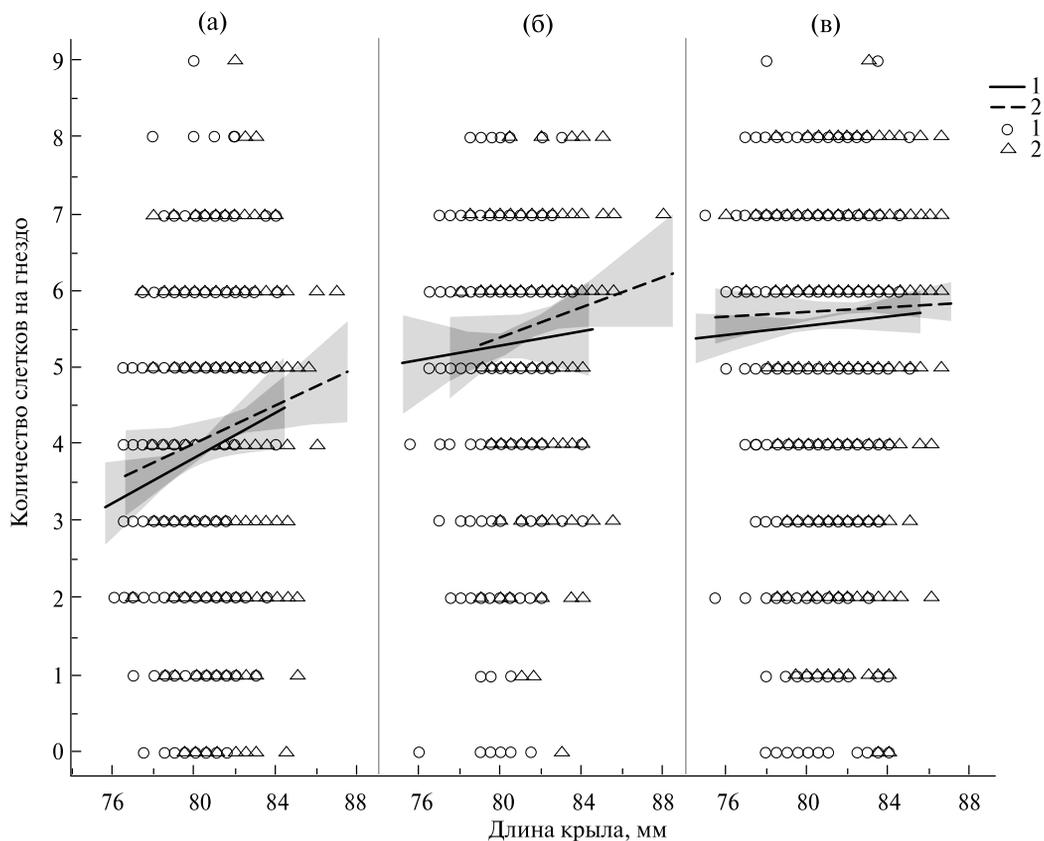
Источник изменчивости	<i>df</i>	Коэффициент регрессии ± SE	<i>F</i>	<i>p</i>
Год	1	0.037 ± 0.009	17.90	< 0.0001
Зона	2		16.14	< 0.0001
Зона [2-1]		0.316 ± 0.100		
Зона [3-2]		0.245 ± 0.099		
Пол [самки]*	1	-0.880 ± 0.070	156.84	< 0.0001
Пол × Зона	2	ns	1.07	0.345
Год × Пол	1	ns	0.03	0.867
Год × Зона	2	ns	2.24	0.110
Остаточная	155			

Примечание. В анализе использованы средние значения для каждого года и зоны; ns – эффект незначим; \* в квадратных скобках указана группа, сравниваемая с общим средним.

**Рис. 3.** Связь даты начала кладки с размерами самок (1) и самцов (2) мухоловки-пеструшки в импактной (а), буферной (б) и фоновой (в) зонах.

клюва конкретных особей [36], а беспозвоночные выбирают микроместообитания с фоном, на котором они менее заметны для хищников [37]. С этой точки зрения могут быть объяснены различия размеров особей птиц в разных биотопах. Крупные самцы мухоловки-пеструшки гнездятся преимущественно в лиственном лесу, тогда как мелкие самцы чаще встречаются в хвойном биотопе [38, 39]. Размеры птиц соответствуют величине насекомых – потенциальных жертв, которые в хвойном лесу мельче, чем в лиственном [38].

Для проверки этой гипотезы необходимо оценить вклад конкретных фенотипов в воспроизводство локальной группировки, например возврат их потомков в район рождения [40]. Ввиду малой доли птенцов, возвращающихся в район наших исследований, мы можем лишь сравнить количество слетков на гнездо у особей разных размеров. Если гипотеза верна, то в фоновой зоне (предпочитаемой крупными особями) количество слетков на гнездо у крупных особей должно быть больше, чем у мелких, тогда как в импактной зоне (предпочитаемой мелкими особями)



**Рис. 4.** Связь количества слетков на гнездо (включая неуспешные) с размерами самок (1) и самцов (2) мухоловки-пеструшки в импактной (а), буферной (б) и фоновой (в) зонах.

ми) соотношение должно быть противоположным. Полученные данные не поддерживают эту гипотезу. Во всех зонах загрязнения количество слетков на гнездо возрастает с увеличением размеров особей (см. рис. 4). Таким образом, приспособленность, оцениваемая по количеству слетков, больше у крупных особей независимо от зоны загрязнения.

Существует гипотеза, связывающая различия между группами птиц из разных местообитаний с территориальным поведением и социальным доминированием [41, 42]. В ходе конкуренции за места для гнездования более крупные и агрессивные особи, имеющие преимущество в территориальных конфликтах [24], вытесняют субдоминантных особей в местообитания худшего качества. Мухоловка-пеструшка предпочитает спелые и средневозрастные лиственные и смешанные древостой с дуплистыми деревьями, необходимыми для гнездования, тогда как хвойные леса заселяются хуже [24, 29]. Исследования в Швеции [38, 43] показали, что у мухоловок-пеструшек, гнездящихся в хвойном лесу, длина крыла в среднем меньше по сравнению с лиственным лесом, что объясняют вытеснением мелких особей в менее кормный хвойный биотоп. К субоптимальным местообитаниям можно отнести

и территории, загрязнение которых привело к угнетению древесного и травяно-кустарничкового ярусов [21]. О малой привлекательности импактной территории для мухоловок говорит и низкая плотность гнездования этого вида вблизи СУМЗа в период высоких выбросов в 1990-х – начале 2000-х гг. [23].

Конкуренция за места гнездования у самцов более выражена, чем у самок. Если гипотеза социального доминирования верна, то изменение размерной структуры локальных группировок вдоль градиента загрязнения должно проявляться у самцов сильнее, чем у самок. Полученные нами данные соответствуют этой гипотезе: негативный эффект загрязнения у самцов выражен сильнее, чем у самок. Конкуренция за гнездовые территории может приводить к изменению возрастного состава птиц вследствие вытеснения молодых птиц в субоптимальные местообитания. Молодые особи уступают в конкуренции за места гнездования старшим особям вследствие меньших размеров, более позднего прибытия в район гнездования [24] и недостатка опыта. В районе наших исследований доля годовалых особей и у самцов, и у самок в импактной зоне больше, чем в фоновой (см. Приложение, рис. S2). В поддержку гипотезы социального доминирования свидетельствуют более поздние

в среднем сроки гнездования мухоловок-пеструшек в импактной зоне по сравнению с фоновой [44, 45]. Затраты времени на поиск свободных участков приводят к запаздыванию размножения особей, уступивших в территориальных конфликтах.

Анализ многолетней динамики длины крыла показал увеличение средних размеров гнездящихся особей у обоих полов на протяжении периода исследований. Судя по отсутствию значимых взаимодействий (см. табл. 3), временная динамика размеров птиц не различалась между полями и зонами загрязнения. Многолетняя динамика длины крыла мухоловки-пеструшки, очевидно, связана с изменением возрастного состава гнездящихся птиц. Доля особей в возрасте 2 года и старше увеличивалась на протяжении периода исследований. При этом модели динамики длины крыла, в которых в качестве предиктора выступают год или доля старших особей, дают сходные результаты. Изменение возрастного состава мухоловок, гнездящихся вблизи СУМЗа, вероятно, связано с восстановительными процессами в экосистеме, начавшимися после существенного сокращения промышленных выбросов. За 30-летний период с конца 1980-х гг. вблизи СУМЗа уменьшились кислотность лесной подстилки, концентрации меди в почве [46], увеличилось проективное покрытие злаков [21], видовое богатство растений анемофоров и мирмекофоров [47], обилие и разнообразие почвенных беспозвоночных [48]. Возросшая плотность гнездования мухоловки-пеструшки в импактной зоне [23] свидетельствует об улучшении условий для птиц. Увеличение привлекательности этих местообитаний для мухоловок проявляется в возрастании доли старших особей в гнездовом населении и как результат в увеличении средних размеров особей.

Остальные наши результаты согласуются с данными других исследователей. Известно, что длина крыла самцов мухоловки-пеструшки уменьшается по мере посветления их окраски [8, 49, 50]. Мы отметили эту закономерность у старших птиц, тогда как данные по годовалым птицам недостаточны для окончательного вывода. В выборке, объединяющей особей независимо от возраста, размерные различия фенотипических групп могут быть связаны с возрастным соотношением составляющих их особей. Годовалые особи мельче старших, при этом они преобладают среди самцов 7-й морфы (56% в нашей выборке). По мере потемнения окраски самцов доля годовалых птиц уменьшается, а средняя величина особей увеличивается. В то же время анализ более однородной группы (только старших самцов) показал значимую связь между типом окраски и длиной крыла. Известно, что самцы разной окраски

различаются по физиологическим, поведенческим характеристикам и репродуктивным стратегиям [51–53], но связь окраски и размеров самцов пока не поддается объяснению.

Мы не обнаружили связи между размерами особей в брачных парах, хотя ранее была отмечена положительная корреляция длины крыла партнеров в парах светлых самцов (5–7 типов окраски) [50]. На выбор самками партнеров влияет множество факторов, в том числе качество территории и места для устройства гнезда, а не только размеры и окраска самца [54–56]. Размеры и масса тела особей не имели значения при формировании пар у мухоловок в Испании [57]. При выборе партнера самки учитывали возраст, окраску самца и качество территории. Подбор особей по размерам представляется маловероятным в условиях дефицита времени перед началом гнездового сезона.

Размеры особей влияли на их репродуктивные показатели. Более крупные особи раньше приступали к гнездованию, откладывали больше яиц и выращивали больше птенцов. Вывод о связи репродуктивных показателей с размерами особей согласуется с данными других исследований [58], хотя эта связь проявляется по-разному в разных популяциях [50]. По-видимому, связь успеха размножения с размерами птиц отражает возрастные особенности особей. Взрослые птицы крупнее годовалых и благодаря большому опыту и лучшему состоянию более продуктивны по сравнению с молодыми особями [29, 59].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования выделены основные факторы, влияющие на размерную структуру локальных гнездовых группировок мухоловки-пеструшки на территориях с разным уровнем техногенного загрязнения. Уменьшение средних размеров особей в зоне сильного загрязнения по сравнению с фоновой, более выраженное у самцов по сравнению с самками, свидетельствует в пользу гипотезы социального доминирования. Полученные результаты показывают, что размерная структура локальных группировок птиц может изменяться в условиях промышленного загрязнения, но это изменение у перелетных птиц отражает, по-видимому, не прямое действие поллютантов, а опосредованное их действие, связанное с изменением среды обитания. Подтверждена гипотеза об увеличении средних размеров особей в условиях сокращения промышленных выбросов и начавшегося восстановления природной экосистемы. Отсутствие корреляции размеров партнеров в гнездящихся парах свидетельствует о том, что величина самцов не является

определяющим фактором при выборе самками брачного партнера. Гипотеза о связи сроков гнездования и репродуктивных показателей с размерами птиц подтвердилась. Полученные данные подчеркивают необходимость учитывать комплекс факторов среды, половозрастную и фенотипическую структуры локальных группировок, плотность населения, а также характер связи с территорией при анализе изменчивости морфологических показателей птиц.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ И БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН. Авторы благодарят анонимных рецензентов за ценные замечания при подготовке рукописи, а также Анну Бельскую за оформление иллюстраций.

### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры были прижизненными для птиц. После отлова, измерений и кольцевания всех птиц немедленно выпускали вблизи их гнезд. Исследуемый вид не включен в Красные книги МСОП и РФ. Проведение исследования не требует специального разрешения согласно Федеральному закону от 24.04.1995 № 52-ФЗ, статья 44.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tellería J.L., De La Hera I., Perez-Tris J. Morphological variation as a tool for monitoring bird populations: a review // *Ardeola*. 2013. V. 60. № 2. P. 191–224.
2. Bickham J.W. The four cornerstones of evolutionary toxicology. // *Ecotoxicology*. 2011. V. 20. P. 497–502.
3. Lifshitz N., St Clair C.C. Coloured ornamental traits could be effective and non-invasive indicators of pollution exposure for wildlife // *Conservation Physiology*. 2016. V. 4. № 1. Art. cow028.
4. James F.C. Geographic size variation in birds and its relationship to climate // *Ecology*. 1970. V. 51. № 3. P. 365–390.
5. Gosler A.G., Greenwood J.J.D., Baker J.K., Davidson N.C. The field determination of body size and condition in passerines: a report to the British Ringing Committee // *Bird Study*. 1998. V. 45. № 1. P. 92–103.
6. Hernández M.Á., Campos F., Martín R., Santamaría T. Usefulness of biometrics to analyse some ecological features of birds // *Biometrics-unique and diverse applications in nature, science, and technology* / Ed. Albert M. InTech, 2011. P. 1–22.
7. Eeva T., Tanhuanpää S., Råbergh C. et al. Biomarkers and fluctuating asymmetry as indicators of pollution-induced stress in two hole-nesting passerines // *Funct. Ecol.* 2000. V. 14. № 2. P. 235–243.
8. Высоцкий В.Г. Окраска самцов мухоловки-пеструшки и ее связь с другими признаками // *Орнитология*. 1994. Т. 26. С. 28–32.
9. Barton M.G., Henderson I., Border J.A. et al. A review of the impacts of air pollution on terrestrial birds // *Sci. Total Environ.* 2023. V. 873. Art. 162136.
10. Alaya-Ltifi L., Hayder-Benyahya N., Selmi S. Condition and health of Rufous Bush Robin (*Cercotrichas galactotes*) nestlings in a polluted oasis habitat in Southern Tunisia // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2015. V. 94. P. 732–737.
11. Ding J., Yang W., Wang S. et al. Effects of environmental metal pollution on reproduction of a free-living resident songbird, the tree sparrow (*Passer montanus*) // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 721. Art. 137674.
12. Ding J., Yang W., Wang S. et al. Does environmental metal pollution affect bird morphometry? A case study on the tree sparrow *Passer montanus* // *Chemosphere*. 2022. V. 295. Art. 133947.
13. Albayrak T., Pekgöz A.K. Heavy metal effects on bird morphometry: A case study on the house sparrow *Passer domesticus* // *Chemosphere*. 2021. V. 276. Art. 130056.
14. Geens A., Dauwe T., Eens M. Does anthropogenic metal pollution affect carotenoid colouration, antioxidative capacity and physiological condition of great tits (*Parus major*)? // *Comp. Biochem. Physiol. Pt. C: Toxicol. Pharmacol.* 2009. V. 150. № 2. P. 155–163.
15. Dauwe T., Janssens E., Eens M. Effects of heavy metal exposure on the condition and health of adult great tits (*Parus major*) // *Environ. Pollut.* 2006. V. 140. № 1. P. 71–78.
16. Dauwe T., Janssens E., Pinxten R., Eens M. The reproductive success and quality of blue tits (*Parus caeruleus*) in a heavy metal pollution gradient // *Environ. Pollut.* 2005. V. 136. № 2. P. 243–251.
17. Eeva T., Lehikoinen E., Sunell C. The quality of pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) and great tit (*Parus major*) females in an air pollution gradient // *Ann. Zool. Fennici*. 1997. V. 34. № 1. P. 61–71.
18. Roux K.E., Marra P.P. The presence and impact of environmental lead in passerine birds along an urban to rural land use gradient // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2007. V. 53. P. 261–268.
19. Rainio M.J., Ruuskanen S., Eeva T. Spatio-temporal variation in the body condition of female pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) in a polluted environment // *Urban Ecosyst.* 2017. V. 20. P. 1035–1043.

20. Воробейчик Е.Л. Естественное восстановление наземных экосистем после прекращения промышленного загрязнения. 1. Обзор современного состояния исследований // Экология. 2022. № 1. С. 3–41. [Vorobeichik E.L. Natural recovery of terrestrial ecosystems after the cessation of industrial pollution: 1. A state-of-the-art review // Russ. J. Ecol. 2022. V. 53. №. 1. P.1–39. <https://doi.org/10.1134/S1067413622010118>]
21. Воробейчик Е.Л., Трубина М.Р., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е. Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2014. № 6. С. 448–458. [Vorobeichik E.L., Trubina M.R., Khantemirova E.V., Bergman I.E. Long-term dynamic of forest vegetation after reduction of copper smelter emissions // Russ. J. Ecol. 2014. V. 45. № 6. P. 498–507. <https://doi.org/10.1134/S1067413614060150>]
22. Бельский Е.А., Ляхов А.Г. Изменчивость состояния особей мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca*, гнездящихся в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода // Экология. 2024. № 6. С. 434–445. [Bel'skii E.A., Lyakhov A.G. Variation in the body condition of pied flycatchers *Ficedula hypoleuca* breeding in vicinities of the Middle Ural copper smelter // Russ. J. Ecol. 2024. V. 55. № 6. P. 450–460. <https://doi.org/10.1134/S106741362460232X>]
23. Бельский Е.А., Ляхов А.Г. Динамика населения птиц-дуплогнездников в условиях сокращения промышленных выбросов (на примере Среднеуральского медеплавильного завода) // Экология. 2021. № 4. С. 278–288. [Bel'skii E.A., Lyakhov A.G. Dynamics of the community of hole-nesting birds under conditions of reduced industrial emissions (based on the example of the Middle Ural copper smelter) // Russ. J. Ecol. 2021. V. 52. № 4. P. 296–306. <https://DOI:10.1134/S1067413621040044>]
24. Lundberg A., Alatalo R.V. The pied flycatcher. London: T. and A.D. Poyser, 1992.
25. Jenni L., Winkler R. Moults and ageing of European passerines. London: Acad. Press, 1994. 225 p.
26. Зимин В.Б. Возрастные и сезонные изменения размеров у некоторых воробьиных птиц // Тр. Биолог. НИИ ЛГУ. 1981. № 32. С. 151–161.
27. Flinks H., Salewski V. Quantifying the effect of feather abrasion on wing and tail lengths measurements // J. Ornithol. 2012. V. 153. P. 1053–1065.
28. Drost R. Über das Brutkleid männlicher Trauerfliegenfänger, *Muscicapa hypoleuca* // Vogelzug. 1936. V. 6. P. 179–186.
29. Артемьев А.В. Популяционная экология мухоловки-пеструшки в северной зоне ареала. М.: Наука, 2008. 267 с.
30. 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.
31. Janssens E., Dauwe T., Pinxten R. et al. Effects of heavy metal exposure on the condition and health of nestlings of the great tit (*Parus major*), a small songbird species // Environ. Pollut. 2003. V. 126. № 2. P. 267–274.
32. Eeva T., Lehikoinen E., Pohjalainen T. Pollution-related variation in food supply and breeding success in two hole-nesting passerines // Ecology. 1997. V. 78. P. 1120–1131.
33. Eeva T., Sillanpää S., Salminen J.P. The effects of diet quality and quantity on plumage colour and growth of great tit *Parus major* nestlings: a food manipulation experiment along a pollution gradient // J. Avian Biol. 2009. V. 40. № 5. P. 491–499.
34. Пяевский В.А. Демография птиц. Л.: Наука, 1985. 285 с.
35. Соколов Л.В. Филопатрия и дисперсия птиц // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1991. Т. 230. С. 1–232.
36. Edelaar P., Siepielski A.M., Clobert J. Matching habitat choice causes directed gene flow: a neglected dimension in evolution and ecology // Evolution. 2008. V. 62. № 10. P. 2462–2472.
37. Camacho C., Sanabria-Fernández A., Baños-Villalba A. et al. Experimental evidence that matching habitat choice drives local adaptation in a wild population // Proc. R. Soc. Lond. Ser. B: Biol. Sci. 2020. V. 287. Art. 20200721.
38. Lundberg A., Alatalo R.V., Carlson A. et al. Biometry, habitat distribution and breeding success in the pied flycatcher *Ficedula hypoleuca* // Ornithol. Scand. 1981. V. 12. P. 68–79.
39. Camacho C., Canal D., Potti J. Nonrandom dispersal drives phenotypic divergence within a bird population // Ecol. Evol. 2013. V. 3. № 14. P. 4841–4848.
40. Camacho C., Canal D., Potti J. Testing the matching habitat choice hypothesis in nature: phenotype-environment correlation and fitness in a songbird population // Evol. Ecol. 2015. V. 29. P. 873–886.
41. Brown J.L. Territorial behavior and population regulation in birds: a review and re-evaluation // Wilson Bull. 1969. V. 81. № 3. P. 293–329.
42. Fretwell S.D., Lucas J.H. Jr. On territorial behaviour and other factors influencing habitat distribution in birds. I. Theoretical development // Acta Biotheor. 1970. V. 19. P. 16–36.
43. Gezelius L., Grahn M., Källander H. et al. Habitat-related differences in clutch size of the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* // Ann. Zool. Fennici. 1984. V. 21. P. 209–212.
44. Belskii E., Belskaya E. Trophic match/mismatch and reproduction of the pied flycatcher *Ficedula hypoleuca* in a metal-polluted area // Environ. Pollut. 2021. V. 276. Art. 116754.
45. Belskii E., Lyakhov A. Improved breeding parameters in the pied flycatcher with reduced pollutant emissions

- from a copper smelter // Environ. Pollut. 2022. V. 302. Art. 119089.
46. Воробейчик Е.Л., Кайгородова С.Ю. Многолетняя динамика содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почвы в районе воздействия медеплавильного завода в период снижения его выбросов // Почвоведение. 2017. № 8. С. 1009–1024.
  47. Трубина М.Р. Уязвимость видов травяно-кустарничкового яруса к загрязнению выбросами медеплавильного завода: роль различий в способе распространения диаспор // Экология. 2020. № 2. С. 90–100. [Trubina M.R. Vulnerability to copper smelter emissions in species of the herb-dwarf shrub layer: role of differences in the type of diaspore dispersal // Russ. J. Ecol. 2020. V. 51. № 2. P. 107–117. <https://doi.org/10.1134/S1067413620020125>]
  48. Воробейчик Е.Л., Ермаков А.И., Гребенников М.Е. Начальные этапы восстановления сообществ почвенной мезофауны после сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2019. № 2. С. 133–148. [Vorobeichik E.L., Ermakov A.I., Grebennikov M.E. Initial stages of recovery of soil macrofauna communities after reduction of emissions from a copper smelter // Russ. J. Ecol. 2019. V. 50. № 2. P. 146–160. <https://doi.org/10.1134/S1067413619020115>]
  49. Järvi T., Røskoft E., Bakken M. et al. Evolution of variation in male secondary sexual characteristics: a test of eight hypotheses applied to pied flycatchers // Behav. Ecol. Sociobiol. 1987. V. 20. P. 161–169.
  50. Керимов А.Б., Иванкина Е.В., Шишкин В.С. Неустойчивый половой диморфизм и параметры размножения мухоловки-пеструшки // Орнитология. 1994. Т. 26. С. 13–27.
  51. Керимов А.Б., Гриньков В.Г., Иванкина Е.В. и др. Влияние весенних температур на интенсивность рекламного поведения и уровень базального метаболизма ярких и криптически окрашенных самцов мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca*) // Зоол. журн. 2014. Т. 93. № 10. С. 1288–1288.
  52. Ivankina E.V., Grinkov V.G., Kerimov A.B. Male colour type and lifetime breeding success in the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* // Acta Ornithol. 2001. V. 36. № 1. P. 91–96.
  53. Kerimov A.B., Ilyina T.A., Ivankina E.V. et al. Melanin-based coloration and immunity in polymorphic population of pied flycatcher, *Ficedula hypoleuca* // Evol. Ecol. 2018. V. 32. P. 89–111.
  54. Alatalo R.V., Lundberg A., Glynn C. Female pied flycatchers choose territory quality and not male characteristics // Nature. 1986. V. 323. № 6084. P. 152–153.
  55. Slagsvold T. Nest site settlement by the pied flycatcher: does the female choose her mate for the quality of his house or himself? // Ornis Scand. 1986. P. 210–220.
  56. Sirkä P.M., Laaksonen T. Distinguishing between male and territory quality: females choose multiple traits in the pied flycatcher // Anim. Behav. 2009. V. 78. № 5. P. 1051–1060.
  57. Potti J. Causes and consequences of age-assortative pairing in pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca*) // Etologia. 2000. V. 8. P. 29–36.
  58. Liffeld J.T., Slagsvold T. Female pied flycatchers *Ficedula hypoleuca* choose male characteristics in homogeneous habitats // Behav. Ecol. Sociobiol. 1988. V. 22. P. 27–36.
  59. Куранов Б.Д. Гнездовая биология мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca*, Passeriformes, Muscicapidae) в юго-восточной части ареала // Зоол. журн. 2018. Т. 97. № 3. С. 321–336.

## WING LENGTH VARIATION IN PIED FLYCATCHERS *FICEDULA HYPOLEUCA* (PALL.) BREEDING IN THE VICINITY OF THE MIDDLE URAL COPPER SMELTER

E. A. Bel'skii<sup>a</sup>\*, A. G. Lyakhov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Russia 620144 Yekaterinburg

\* e-mail: belskii@ipae.uran.ru

**Abstract** — The spatiotemporal variation in the wing length of pied flycatchers breeding near the Middle Ural copper smelter (MUCS) and in the background area were analyzed in 1996–2023, a period of significant reduction in industrial emissions. Females and males were on average smaller near MUCS than in the background area probably due to the forcing the low-quality individuals into suboptimal (polluted) habitats. Yearlings had shorter wings than older birds. WL of males increased with increasing melanization of the upper body. Mean WL and proportion of old individuals among breeding birds increased over the study period. The body size of partners in breeding pairs did not correlate. The larger breeding birds, the earlier they started egg-laying and the more eggs and fledglings produced.

**Keywords:** size structure, long-term dynamics, industrial pollution, reduction of industrial emissions, Middle Urals