

Население птиц березовых лесов Южного Урала в условиях промышленного загрязнения. Сообщение 2. Связь с характеристиками местообитаний

Е. А. БЕЛЬСКИЙ, Е. А. БЕЛЬСКАЯ

*Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8-го Марта, 202
E-mail: belskii@ipae.uran.ru*

АННОТАЦИЯ

По данным 2009 г. проанализированы изменения переменных среды на 10 участках в градиенте загрязнения выбросами Карабашского медеплавильного завода (Челябинская обл.): уровень загрязнения, основные структурные характеристики фитоценоза, обилие беспозвоночных-филлофагов и герпетобийных беспозвоночных. С увеличением загрязнения уменьшаются высота верхнего яруса, полнота древостоя, проективное покрытие всех ярусов леса, биомасса герпетобийных беспозвоночных. Поврежденность листьев березы (косвенный показатель обилия филлофагов) изменяется незначительно. Разделить вклад абиотических и биотических переменных в формирование населения птиц в районе исследований не представляется возможным в силу тесной корреляции между ними. По-видимому, загрязнение воздействует на население птиц опосредованно, через изменение местообитаний.

Ключевые слова: промышленное загрязнение, Южный Урал, птицы, растительность, беспозвоночные.

Настоящая работа – вторая часть статьи, посвященной реакциям населения птиц березовых лесов Южного Урала на промышленное загрязнение (на примере Карабашского медеплавильного завода). Обоснование, цель исследований и описание района работ приведены в первой части [1], где описаны реакции отдельных видов и сообщества птиц на загрязнение среды. Классическая задача эко-токсикологии – разделение прямых и косвенных эффектов воздействия загрязнения на биоту. Прямое воздействие связано с поступлением токсикантов в среду, косвенное – с изменением местообитаний, структуры фитоценозов и их кормовых ресурсов. Оценка вклада разных параметров среды в реакции компонентов биоты – необходимый этап при расшифровке причинно-следственных связей техногенной трансформации экосистем. Связь

населения птиц с естественными факторами интенсивно изучается [2–4]. Однако роль переменных среды в реакциях сообществ птиц на загрязнение исследована очень слабо [5, 6]. Задача второй части работы – характеристика местообитаний и оценка вклада переменных среды в изменение структуры населения птиц и обилия отдельных экологических групп вдоль градиента загрязнения выбросами медеплавильного производства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В окрестностях Карабашского медеплавильного завода (Южный Урал, Челябинская обл.) выбрано 10 пробных участков. В северном направлении участки расположены в 5, 11, 18 и 32 км от источника выбросов, в южном – в 3, 9, 12, 26 и 27 км. Ближайший к

заводу участок находится в 1 км к востоку от него. Для удобства анализа участки сгруппированы по зонам загрязнения: техногенная пустошь (максимальное загрязнение, до 3 км от завода), импактная (сильное загрязнение, до 6 км), буферная (умеренное загрязнение, 9–18 км) и фоновая (загрязнение на уровне регионального фона, более 20 км от завода).

Для всесторонней характеристики переменных среды, действующих на птиц, на каждом пробном участке определены уровень загрязнения, обилие беспозвоночных (потенциальной кормовой базы насекомоядных птиц) и даны основные фитоценотические описания.

Уровень загрязнения участков оценивали по содержанию металлов в листьях березы бородавчатой *Betula pendula* Roth. Пробы собраны с 9 по 12 июня 2009 г., спустя 1–2 нед после полного распускания листьев. На каждой площадке случайным образом выбирали по 5 деревьев с расстоянием между ними не менее 20 м. С каждого дерева брали по одной ветви. С коротких побегов обрывали 20–50 листьев, обрезали черешки и высушивали в сушильном шкафу при $t = 60$ °С. Навеска для анализа составляла около 100 мг воздушно-сухой массы, точность взвешивания 0,1 мг. Пробы озоляли в смеси 7 мл HNO_3 + 1 мл деионизированной H_2O в тefлоновых стаканах в микроволновой печи MWS-2 фирмы Berghof (Германия). Концентрации металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Fe, Ni) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии в пламени на спектрометре AAS-6 vario фирмы Analytik Jena (Германия). Все анализы выполнены в лаборатории ИЭРиЖ УрО РАН, аккредитованной в системе аналитических лабораторий (аттестат РОСС.RU0001.515630). Проанализировано 50 проб, выполнено 300 элементоопределений.

Для оценки кормовой базы насекомоядных птиц проводили учеты беспозвоночных-филлофагов и герпетобионтных беспозвоночных. Обилие насекомых-филлофагов оценивали по повреждениям листьев березы бородавчатой в те же сроки и на тех же деревьях, с которых отбирали пробы для химического анализа. С каждого дерева на высоте 1,5–2 м срезали по одной ветви со 100 (75–150) листьями. Ветви помещали индивидуально в матерчатый пакет. Учет повреждений проводили в лаборатории в максимально короткие

сроки после срезки ветвей. Для данной работы учитывали сплошное выедание листовой пластинки (мезофилл вместе с жилками), скелетирование (только мезофилл) и мины. Эти повреждения характерны для личинок чешуекрылых и пилильщиков, личинок и имаго жесткокрылых. По величине изъятия листовой поверхности листья относили к следующим классам: менее 1, 1–5, 6–25, 26–50, 51–75, 76–100 %. Для каждого дерева рассчитывали средневзвешенную долю (%) изъятия (включая неповрежденные листья), используя средние значения классов. Проанализировано 50 деревьев.

Для учета герпетобионтных беспозвоночных в центре каждого пробного участка устанавливали ловушки Барбера тремя линиями по 5 штук с расстоянием между ними 2,0–2,5 м. Расстояние между линиями 50–100 м. Диаметр ловушки 85 мм, фиксатор – 3%-й раствор уксусной кислоты. Длительность экспозиции 5 сут. Учеты проведены с 5 по 10 июня 2009 г., отработано 750 ловушко-суток. В лаборатории пробы беспозвоночных взвешивали (с точностью 0,1 мг) после удаления лишней влаги с помощью фильтровальной бумаги. Затем рассчитывали воздушно-сухую массу на основании собственных данных о потере массы при высыхании беспозвоночными с жесткими и мягкими покровами. Обработано 146 проб. Массу проб использовали как показатель обилия герпетобионтных беспозвоночных.

На каждой точке, где проведены учеты птиц, описаны основные структурные характеристики фитоценоза. Полноту древостоя определяли при помощи полнотомера Биттерлиха. Высоту верхнего яруса древостоя оценивали по пяти самым высоким деревьям в радиусе 50 м от точки при помощи высотомера “Silva Clino Master”. Определяли формулу древостоя в расчете на 10 деревьев, проективное покрытие древостоя, подлеска и подроста, а также травяно-кустарничкового яруса. Выполнено 40 описаний.

Значимость различий между зонами загрязнения и участками проверяли с помощью критериев Краскела – Уоллиса и Манна – Уитни. Учетной единицей здесь служили дерево ($n = 50$), ловушка (146), точка учета птиц (40) и геоботаническое описание (40). Перед дальнейшим статистическим анализом

исходные данные преобразовали для нормализации распределений. Вместо абсолютных значений концентраций металлов и расстояния до источника выбросов использованы их десятичные логарифмы. Данные, выраженные в процентах (доля березы в составе древостоя, проективное покрытие подроста, подлеска и травостоя, доля листовой поверхности, изъятая филлофагами), подвергнуты угловой трансформации Фишера. Для сокращения числа переменных использовали анализ главных компонент. Зависимость показателей населения птиц от выделенных главных компонент исследовали с помощью множественной линейной регрессии с пошаговым включением предикторов. Учетной единицей здесь служило среднее для одного участка ($n = 10$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Величина техногенной нагрузки, отражаемая концентрациями металлов в листе березы, значительно возрастает с приближением к источнику выбросов (табл. 1). Наибольшее увеличение концентраций демонстрируют Pb (отношение пустошь/фоновая зона = 35,7) и Cu (11,8), в меньшей степени возрастают концентрации Fe (5,3) и Cd (5,0). Меньше всех увеличивается содержание в листьях Ni (1,6) и Zn (1,4 раза). Поврежденность листьев березы (косвенный показатель обилия филлофагов) несколько уменьшается на техногенной пустоши по сравнению с другими зонами загрязнения, но различия незначимы. Обилие (биомасса) герпетобионтных беспозвоночных резко падает с увеличением загрязнения. Основные характеристики фитоценоза ухудшаются с приближением к заводу (см. табл. 1). Уменьшаются высота верхнего яруса, полнота древостоя, проективное покрытие всех ярусов леса. Доля березы в древостое несколько увеличивается в импактной зоне и уменьшается на пустоши. Отметим, что по основным показателям, характеризующим фитоценоз и беспозвоночных, буферная и фоновая зоны значительно различаются между собой. Большинство видимых эффектов загрязнения проявляется лишь в импактной зоне, на расстоянии до 6–8 км от источника выбросов.

Мы попытались связать наблюдаемые изменения в населении птиц с факторами среды. Три группы переменных характеризовали уровень загрязнения пробных участков, фитоценоз и обилие беспозвоночных (“кормовую базу” насекомоядных птиц). Многие переменные, описывающие загрязнение и изменение местообитаний, коррелировали друг с другом (табл. 2). При этом коэффициенты корреляции характеристик местообитания и обилия беспозвоночных имеют положительный знак, а тех же показателей с уровнем загрязнения – отрицательный.

Тесная корреляция между переменными не позволяет анализировать связь населения птиц с показателями местообитаний и загрязнением по отдельности. Для сокращения количества переменных в анализе мы применили анализ главных компонент (ГК) с использованием вращения, максимизирующего дисперсию. В результате 14 переменных были редуцированы до трех компонент, объясняющих 85,1 % общей дисперсии (табл. 3). С первой ГК наиболее тесно (абсолютные значения факторных нагрузок $>0,900$) коррелируют расстояние до завода, концентрации в листе Cu, Pb и Fe, высота и полнота древостоя, проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса. Вторая ГК определяется в основном долей березы в составе древостоя и концентрацией Cd в листе. Третья ГК связана главным образом с пищевой активностью филлофагов. Таким образом, первая ГК, объясняющая 64 % общей дисперсии, определяется как загрязнением, так и особенностями местообитаний. В силу разнонаправленности связей между переменными корреляции с главными компонентами различаются по знаку у переменных, характеризующих уровень загрязнения и местообитание.

Далее методом множественной регрессии определена зависимость показателей населения птиц от значений трех главных компонент. Лишь первая ГК значимо ($p < 0,05$) влияет на население птиц (табл. 4). Поскольку в первую ГК показатели местообитаний вошли со знаком минус, отрицательная частная корреляция означает увеличение плотности и разнообразия сообщества птиц с возрастанием высоты и полноты древостоя, проектив-

Характеристики пробных участков в окрестностях Карабашского медеплавильного завода (среднее ± ошибка)

Показатель	Зона загрязнения				n	H** (df = 3)	p
	фоновая	буферная	импактная	техногенная пустошь			
Металлы в листе берез, мкг/г*:							
Cu	4,4 ± 0,2 ^a	5,2 ± 0,2 ^a	11,4 ± 1,2 ^b	52,2 ± 6,5 ^b	50	32,6	<0,001
Zn	306,2 ± 23,5 ^{ab}	263,9 ± 29,9 ^a	325,2 ± 27,9 ^{ab}	443,7 ± 76,9 ^b	50	9,5	0,024
Cd	0,40 ± 0,05 ^a	0,39 ± 0,07 ^a	0,44 ± 0,04 ^a	2,00 ± 0,42 ^b	50	14,1	0,003
Pb	2,3 ± 0,5 ^a	4,4 ± 0,6 ^a	16,6 ± 2,3 ^b	82,4 ± 10,5 ^b	50	32,5	<0,001
Fe	87,2 ± 6,2 ^a	90,0 ± 3,1 ^a	173,6 ± 32,8 ^{ab}	457,8 ± 71,3 ^b	50	18,0	<0,001
Ni	13,7 ± 0,9 ^{ab}	13,1 ± 1,3 ^a	21,6 ± 2,9 ^{ab}	21,8 ± 2,5 ^b	50	12,2	0,007
Изъятие листовой поверхности, %	3,0 ± 0,6 ^a	4,1 ± 0,8 ^a	3,4 ± 0,8 ^a	1,8 ± 0,8 ^a	50	3,1	0,373
Биомасса герпетобийнтных беспозвоночных, г* / лов.-сут.	1,68 ± 0,14 ^a	1,66 ± 0,10 ^a	0,23 ± 0,02 ^b	0,008 ± 0,002 ^b	146	92,9	<0,001
Высота верхнего яруса, м	25,4 ± 1,0 ^a	23,5 ± 0,6 ^{ab}	15,9 ± 0,9 ^{bc}	3,4 ± 0,5 ^{c ***}	40	20,3	0,001
Полнота древостоя, м ² /га	32,0 ± 1,7 ^a	28,1 ± 2,0 ^a	12,4 ± 1,3 ^b	0 ^b	40	26,6	<0,001
Доля березы в древостое, %	80,0 ± 4,3 ^{ab}	79,7 ± 4,3 ^{ab}	93,8 ± 2,6 ^a	40 ^{b ***}	40	15,3	0,002
Проективное покрытие, %:							
подрост и подлесок	45,0 ± 5,3 ^a	37,5 ± 4,9 ^a	41,3 ± 7,6 ^a	0,8 ± 0,1 ^b	40	11,4	0,010
травостой	65,8 ± 3,1 ^a	65,0 ± 3,3 ^a	11,5 ± 3,8 ^b	5,3 ± 1,1 ^b	40	25,3	<0,001

П р и м е ч а н и е. Значения в пределах строки, обозначенные разными буквами, значимо ($p < 0,05$) различаются между собой (критерий Манна - Уитни).
* воздушно-сухая масса; ** критерий Краскела - Уоллиса; *** для сохранившихся на участке деревьев.

Кoeffициенты линейной корреляции (выше диагонали) и уровни значимости (ниже диагонали) характеристик загрязнения и местобитаний

№	Показатель	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Ig расстояния до завода	-	-0,92	-0,41	-0,67	-0,93	-0,83	-0,63	0,92	0,95	0,23	0,61	0,88	0,25	0,69
	Ig концентраций металлов в листе берез:														
2	Cu	<0,05	-	0,51	0,81	0,92	0,94	0,58	-0,98	-0,89	-0,46	-0,72	-0,86	-0,46	-0,71
3	Zn	ns**	ns	-	0,83	0,29	0,37	0,14	-0,39	-0,52	-0,24	-0,21	-0,39	-0,22	-0,29
4	Cd	<0,05	<0,05	<0,05	-	0,55	0,68	0,34	-0,71	-0,74	-0,64	-0,54	-0,55	-0,26	-0,31
5	Pb	<0,05	<0,05	ns	ns	-	0,88	0,58	-0,95	-0,85	-0,19	-0,74	-0,89	-0,44	-0,84
6	Fe	<0,05	<0,05	ns	<0,05	<0,05	-	0,68	-0,91	-0,79	-0,49	-0,66	-0,82	-0,53	-0,70
7	Ni	ns	ns	ns	ns	ns	<0,05	-	-0,63	-0,74	-0,12	-0,21	-0,77	-0,24	-0,46
8	Высота древостоя	<0,05	<0,05	ns	<0,05	<0,05	<0,05	ns	-	0,91	0,38	0,74	0,90	0,43	0,74
9	Полнога древостоя	<0,05	<0,05	ns	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	0,23	0,52	0,92	0,20	0,62
10	Доля березы*	ns	ns	ns	<0,05	ns	ns	ns	ns	ns	-	0,48	0,04	0,22	-0,14
	Проективное покрытие*:														
11	подроста и подлеска	ns	<0,05	ns	ns	<0,05	<0,05	ns	<0,05	ns	ns	-	0,45	0,32	0,48
12	травяно-кустарничкового яруса	<0,05	<0,05	ns	ns	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	ns	ns	-	0,37	0,81
13	Изъятие листовой поверхности*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	0,69
14	Биомасса герпетобийных беспозвоночных	<0,05	<0,05	ns	ns	<0,05	<0,05	ns	<0,05	ns	ns	ns	<0,05	<0,05	-

Примечание. Жирным выделены коэффициенты, значимые при $p < 0,05$; * преобразованы по формуле $y = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{p})$. ns – коэффициенты корреляции незначимы.

Т а б л и ц а 3

Факторные нагрузки разных переменных

Переменная	Главные компоненты		
	1	2	3
lg расстояния до завода	-0,933	0,090	0,194
lg концентраций металлов в листе берез:			
Cu	0,986	0,106	0,034
Zn	0,504	0,458	-0,305
Cd	0,763	0,586	-0,178
Pb	0,944	-0,210	0,094
Fe	0,940	0,036	0,143
Ni	0,668	-0,306	-0,291
Высота древостоя	-0,979	0,018	-0,032
Полнота древостоя	-0,924	0,037	0,360
Доля березы*	-0,369	-0,785	-0,260
Проективное покрытие*:			
подроста и подлеска	-0,697	-0,223	-0,366
травяно-кустарничкового яруса	-0,912	0,322	0,193
Изъятие листовой поверхности берез*	-0,482	0,123	-0,688
Биомасса герпетобионтных беспозвоночных	-0,768	0,484	-0,264
Доля общей дисперсии	0,642	0,124	0,085

П р и м е ч а н и е. Жирным выделены величины, по абсолютному значению превышающие 0,5; * преобразованы по формуле $y = 2\arcsin(\sqrt{p})$.

ного покрытия подлеска, подроста и травостоя и обилия герпетобионтных беспозвоночных. Эти же показатели населения птиц увеличиваются с уменьшением доли березы в составе древостоя (вторая ГК), т. е. с увеличением разнообразия древесного яруса.

Только первая ГК обеспечивает значимый вклад в изменчивость плотности населения птиц, гнездящихся в верхнем ярусе и в дуплах, объясняя соответственно 89 и 55 % их дисперсии (см. табл. 4). На плотность населения птиц, гнездящихся в нижнем ярусе леса

Т а б л и ц а 4

Направление связи (знак) и доля дисперсии рассмотренных показателей, объясняемая отдельными главными компонентами после учета остальных ГК (квадрат частной корреляции, R^2)

Показатель	Главные компоненты		
	1	2	3
Общая плотность населения птиц	(-) 0,575**	(+) 0,053	(+) 0,005
Среднее количество видов в учетах	(-) 0,774**	(+) 0,128	(+) 0,022
Общее количество видов	(-) 0,834***	(+) 0,047	(+) 0,001
Плотность населения по ярусам гнездования:			
верхний	(-) 0,890***	(-) 0,006	(-) 0,001
дупла	(-) 0,548*	(+) 0,157	(+) 0,024
нижний	(-) 0,341	(-) 0,009	(-) 0,001
земля	(-) 0,180	(+) 0,053	(+) 0,002
Плотность населения птиц трофических групп:			
насекомоядные	(-) 0,566*	(+) 0,031	(+) 0,027
зерноядные	(-) 0,099	(+) 0,120	(-) 0,175

П р и м е ч а н и е. Значения R^2 значимы при: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

и на земле, выделенные ГК не оказывают значимого влияния.

В анализе по трофическим группам использованы лишь насекомо- и зерноядные птицы, так как обилие остальных видов было низкое. Значимая связь с выделенными ГК отмечена только для насекомоядных видов. Первая ГК объясняла 57 % изменчивости плотности населения этой группы (см. табл. 4).

Измеренные нами концентрации Cu и Zn в листьях берез оказались ниже значений, приведенных в работе М. В. Козлова с соавторами [7] для участков, близких к нашим. Эти различия могут быть связаны в первую очередь со сроками отбора проб. Для анализа мы собирали листья в начале июня 2009 г., вскоре после их полного развертывания. Наши коллеги проводили сбор в конце июля 2003 г. Из-за осаждения пылевых частиц на поверхности листьев концентрации металлов в них возрастают на протяжении сезона вегетации. Таким образом, наши данные в большей степени характеризуют содержание металлов в тканях растений, а данные коллег – уровень выпадений. Уменьшение объема выбросов КМЗ также частично объясняет отличия наших данных от опубликованных. В 2008 г. валовые выбросы КМЗ уменьшились в 10 раз по сравнению с началом 2000-х гг. [7].

Наши данные о состоянии лесных экосистем в окрестностях КМЗ согласуются с результатами предыдущих исследований [7–12]. По мере приближения к источнику выбросов уменьшаются высота и полнота древостоя, проективное покрытие и видовое разнообразие растений нижних ярусов леса. При этом воздействие на травяно-кустарничковый ярус более выражено, чем на древостой. Проективное покрытие травостоя в импактной зоне меньше фонового почти в 6 раз, а деревьев – вдвое (35,6 и 70 %). В ближайших окрестностях предприятия деградация лесных экосистем достигает пика (см. описание района работ). Эта техногенная пустошь простирается до 4 км к востоку от завода. Несмотря на экстремальную величину эффекта, его проявление локально. Изменения фитоценологических характеристик березняков в районе исследований регистрируются в радиусе менее 10 км от завода [8]. Таким образом, основные структурные характеристики фитоценоза, спо-

собные влиять на население птиц, уже в буферной зоне соответствуют фоновым.

Показатели обилия беспозвоночных в кронах деревьев и на поверхности почвы можно рассматривать как характеристики кормовой обеспеченности насекомоядных птиц. Поврежденность листьев березы на техногенной пустоши на уровне тенденции ниже, чем в остальных зонах, но значимых различий между зонами нет. Аналогичный результат получен М. В. Козловым с соавторами для *Betula pendula* и *Alnus incana* (L.) Moench в окрестностях Карабаша в 2007 г., а также в других регионах и на других древесных видах [7]. Население герпетобионтных беспозвоночных в окрестностях КМЗ, насколько нам известно, ранее не изучалось. Проведенные ранее исследования почвенной мезофауны показали снижение абсолютной численности и биомассы всех групп на расстоянии до 10 км от источника выбросов. С приближением к заводу уменьшается доля сапрофагов (прежде всего дождевых червей) в составе мезофауны и увеличивается доля хищников (муравьев) [9, 11]. Уменьшение обилия почвенных беспозвоночных (деструкторов и хищников) в условиях загрязнения и отсутствие реакции у фитофагов – общая закономерность, отмеченная в большинстве импактных регионов [12]. Более того, некоторые фитофаги дают вспышки численности на загрязненных территориях вследствие исчезновения естественных врагов [13, 14]. Однако с учетом изреживания древостоя и уменьшения размеров деревьев в зонах загрязнения следует ожидать сокращения обилия и фитофагов на единицу площади фитоценоза. Таким образом, кормовая обеспеченность птиц, собирающих беспозвоночных на земле и в лесной подстилке, а также, по-видимому, насекомоядных видов древесного яруса ухудшается в градиенте загрязнения выбросами КМЗ.

Ранее [1] мы отмечали локальный характер (в радиусе 6–8 км) эффектов воздействия выбросов КМЗ на население птиц. Этой же территорией ограничены и изменения большинства изученных нами характеристик фитоценоза и обилия беспозвоночных.

Попытка связать наблюдаемые изменения в населении птиц с переменными среды не дала однозначного результата вследствие скоррелированности показателей загрязнения

с большинством структурных характеристик фитоценоза. Наибольший вклад в изменчивость обилия и видового разнообразия населения птиц дает первая ГК, с которой наиболее тесно коррелируют характеристики загрязнения, древостоя и травяно-кустарничкового яруса. Вклад остальных ГК незначим.

Итак, строго разделить вклад абиотических и биотических переменных в формирование населения птиц в районе исследований не представляется возможным. Тем не менее, базируясь на заключениях других авторов [5, 6] и собственных исследованиях на Среднем Урале [15], мы считаем, что первоочередное значение для птиц имеют характеристики фитоценоза. Большинство птиц в таежной зоне перелетные, и каждой весной население птиц локальных территорий формируется заново на основе видоспецифичных требований к местообитаниям. Роль биотопических предпочтений при выборе гнездовых территорий иллюстрируют виды, плотность населения которых увеличивается в импактных зонах: обыкновенные каменка и горихвостка, овсянковые, трясогузковые и др. [15–18]. В то же время уровни токсикантов в кормовых объектах в природных условиях не настолько высоки, чтобы вызвать массовое острое отравление и повлиять на территориальное распределение птиц. Токсическое воздействие проявляется позже, в ходе гнездования у взрослых особей и их потомства [19–22].

В естественных условиях плотность населения и видовое разнообразие лесных птиц зависят от структурной сложности фитоценоза [23–25], состава растительности [26], обилия корма [27]. Загрязнение среды, вызывающее деградацию лесной растительности и упрощение структуры фитоценоза, ухудшает условия для обитания типично лесных видов. Поэтому неудивительно, что зона техногенной трансформации населения птиц совпадает с зоной деградации лесных экосистем. На загрязненной территории ухудшаются не только защитные свойства лесного фитоценоза вследствие упрощения его вертикальной структуры, но и кормовые условия для насекомоядных птиц, собирающих корм в лесной подстилке, на земле, а также, по-видимому, в кронах деревьев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения большинства структурных характеристик фитоценоза, показателей обилия беспозвоночных и населения птиц ограничены локальной территорией (6–8 км от завода). В эпицентре загрязнения деградация экосистемы достигает крайней степени. Разделить вклад абиотических (загрязнение) и биотических переменных (характеристики фитоценоза и обилие беспозвоночных) в формирование населения птиц в районе исследований не представляется возможным в силу тесной корреляции между ними. По-видимому, загрязнение воздействует на население птиц опосредованно, через изменение местообитаний, их защитных свойств и кормовых ресурсов. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении, в том числе и в других регионах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 13-04-00915), программы развития ведущих научных школ (НШ-5325.2012.4) и Президиума РАН (программа “Живая природа”, проект 12-П-4-1026).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бельский Е. А., Бельская Е. А. Население птиц березовых лесов Южного Урала в условиях промышленного загрязнения. 1. Реакции видов и сообщества // Сиб. экол. журн. 2013. № 3. С. 411–419.
2. Ефимов В. М., Равкин Ю. С. Оценка связи неоднородности среды и распределения птиц Западной Сибири // Экология. 2004. № 5. С. 375–379.
3. Равкин Е. С., Равкин Ю. С. Птицы равнин Северной Евразии: численность, распределение и пространственная организация сообществ. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2005. 304 с.
4. Равкин Ю. С., Ливанов С. Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2008. 205 с.
5. Lemberk V. Srovnávaní ornitocenoz smrkových lesov Krkonoš podle stupně poškození imisemi // Opera corcontica. 1989. N 26. P. 131–143.
6. Eeva T., Koivunen V., Hakkarainen H. Population densities of forest birds in a heavy metal pollution gradient // Avian Science. 2002. Vol. 2. P. 227–236.
7. Kozlov M. V., Zvereva E. L., Zverev V. E. Impacts of point polluters on terrestrial biota. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2009. P. 1–466.
8. Черненко Т. В., Степанов А. М., Гордеева М. М. Изменение организации лесных фитоценозов в условиях техногенеза // Журн. общ. биологии. 1989. Т. 1, № 3. С. 388–394.
9. Степанов А. М. и др. Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы южной тайги. М.: ЦЕПД, 1992. 246 с.

10. Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
11. Некрасова Л. С. Влияние медеплавильного производства на почвенную мезофауну // Экология. 1993. № 5. С. 83–85.
12. Zvereva E., Kozlov M. Responses of terrestrial arthropods to air pollution: a meta-analysis // Environ. Sci. Pollut. Res. 2010. Vol. 17, N 2. P. 297–311.
13. Zvereva E. L., Kozlov M. V. Effects of air pollution on natural enemies of the leaf beetle *Melasoma lappo-nica* // J. Appl. Ecol. 2000. Vol. 37. P. 298–308.
14. Führer E. Air pollution and the incidence of forest insect problems // Zeitschrift für Angewandte Entomologie. 1985. Vol. 99. P. 371–377.
15. Бельский Е. А. и др. Сообщества птиц, заселяющих искусственные гнездовья, в градиенте природных и антропогенных экологических факторов на Среднем Урале // Сиб. экол. журн. 2002. Т. 9, № 4. С. 417–423.
16. Flousek J. Impact of industrial emissions on bird populations breeding in mountain spruce forests in Central Europe // Ann. Zool. Fennici. 1989. Vol. 26, N 3. P. 255–263.
17. Gilyazov A. S. Air pollution impact on the bird communities of the Lapland biosphere reserve // Aerial pollution in Kola peninsula: Proceedings of the International Workshop, April 14–16, 1992. Apatity, 1993. P. 383–390.
18. Бельский Е. А., Ляхов А. Г. Реакции населения птиц южной тайги Среднего Урала на техногенное загрязнение среды обитания // Экология. 2003. № 3. С. 200–207.
19. Лебедева Н. В. Экотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц. М.: Наука, 1999. 199 с.
20. Nyholm N. E. I. Monitoring of terrestrial environmental metal pollution by means of free-living insectivorous birds // Annali di chimica. 1995. Vol. 85. P. 343–350.
21. Eeva T., Lehtikoinen E. Growth and mortality of nestling great tits (*Parus major*) and pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca*) in a heavy metal pollution gradient // Oecologia. 1996. Vol. 108. P. 631–639.
22. Бельский Е. А., Лугаськова Н. В., Карфилова А. А. Репродуктивные показатели мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca* Pall. и морфофизиологические характеристики ее птенцов в условиях техногенного загрязнения местообитаний // Экология. 2005. № 5. С. 362–369.
23. MacArthur R.H., MacArthur J. W. On bird species diversity // Ecology. 1961. Vol. 42, N 3. P. 594–598.
24. Krebs C. J. Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. New York: Harper and Row, 1972. 694 p.
25. James F. C., Wamer N. O. Relationships between temperate forest bird communities and vegetation structure // Ecology. 1982. Vol. 63. P. 159–171.
26. Rotenberry J. T. The role of habitat in avian community composition: physiognomy or floristics // Oecologia. 1985. Vol. 67. P. 213–217.
27. Sabo S. R. Niche and habitat relations in subalpine bird communities of the White Mountains of New Hampshire // Ecol. Monogr. 1980. Vol. 50. P. 241–259.

Bird Population in the Forests of the Southern Urals under the Conditions of Industrial Pollution. Communication 2. A Connection with Habitat Variables

E. A. BELSKII, E. A. BELSKAYA

*Institute of Plant and Animal Ecology UrB RAS
620144, Yekaterinburg, 8 Marta str., 202
E-mail: belskii@ipae.uran.ru*

Changes in environmental variables were analyzed according to the data obtained in 2009 at 10 sites in the gradient of pollution with emissions from the Karabash copper smelter (Chelyabinsk Region): pollution level, basic structural characteristics of phytocoenosis, abundance of invertebrate phyllophages and ground-living invertebrates. The height of the top canopy, stand basal area, cover of all forest layers, biomass of ground-living invertebrates decrease with an increasing pollution. The damage of birch leaves (an index of the abundance of phyllophages) changes only insignificantly. It appears impossible to separate the contributions from abiotic and biotic variables into the formation of bird population in the region under study because of a close correlation between them. Pollution seems to affect bird population indirectly, through changes of habitat.

Key words: industrial pollution, the Southern Urals, birds, vegetation, invertebrates.