

## Структура комплексов жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в природных и техногенно-нарушенных лесных экосистемах на юго-западе Свердловской области

Е. А. БЕЛЬСКАЯ, Е. В. ЗИНОВЬЕВ

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

### АННОТАЦИЯ

Исследованы показатели биоразнообразия и структуры комплексов Carabidae елово-пихтового и осиново-березового леса в градиенте химического загрязнения выбросами Среднеуральского медеплавленного завода (Свердловская обл.). Выявлено 56 видов жужелиц с преобладанием по численности *Pterostichus oblongopunctatus* и *Eparhius secalis*. В условиях техногенной трансформации экосистем происходит снижение видового богатства, сокращение численности жужелиц, снижение относительного обилия зоофагов, особенно видов, специализированных к обитанию на поверхности почвы. В ряде случаев на загрязненной территории наблюдается усиление доминирования, выраженное индексами Симпсона и Бергера–Паркера. Тренды изменения видового разнообразия и трофической структуры комплексов совпадают в обоих типах лесных биотопов. В основе преобразований структуры комплексов Carabidae лежат реакции на загрязнение отдельных видов жужелиц.

Хозяйственная деятельность человека приводит к многочисленным нарушениям в природных экосистемах различного уровня. Химические вещества, содержащиеся в промышленных выбросах, изменяют физико-химические параметры окружающей среды, что приводит к перестройке экосистем на территориях, подверженных воздействию чужеродных веществ. Это выражается в снижении биологического разнообразия, изменении сезонной динамики составляющих групп, пространственного распределения растительности и животного населения [1–4]. Сравнение таксономической и экологической структуры сообществ животных, населяющих природные и загрязненные территории, дает представление о качественном воздействии загрязнения на экосистему. При изучении антропогенных воздействий на окружающую среду в качестве модельной группы часто

используют беспозвоночных животных, а среди них – жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) [5–12], что объясняется широким распространением, хорошей изученностью, выраженной реакцией на изменение условий среды, простотой и стандартностью методов учета [13]. В России реакции комплексов жужелиц на техногенное загрязнение изучали в зоне действия таких крупных промышленных предприятий, как Косогорский металлургический завод [14] и Приангурское производственное горно-химическое объединение [15]. Наиболее выраженными эффектами являются снижение видового богатства и обилия жужелиц под воздействием токсической нагрузки, изменение структуры населения. С 1998 г. аналогичные исследования начаты в окрестностях Среднеуральского медеплавленного завода [16]. Эта территория является удобным объектом для исследова-

ния изменения структуры комплексов беспозвоночных (в частности, жуков-жужелиц) в градиенте токсической нагрузки. На относительно небольшом расстоянии друг от друга располагаются участки, существенно отличающиеся по степени загрязненности и позволяющие детально проследить динамику трансформации природных экосистем под воздействием интенсивного многолетнего химического загрязнения. Наряду с типичными для данного района темнохвойными лесами встречаются смешанные и производные березовые и осиновые, что делает возможным сопоставление реакций комплексов жужелиц на токсическую нагрузку в лесных биотопах с разными видами деревьев-эдификаторов.

Цель настоящего исследования – сравнение таксономической и экологической структуры комплексов жужелиц в двух типах лесных экосистем (хвойного и мелколиственного леса) подзоны южной тайги в градиенте химического загрязнения промышленными выбросами Среднеуральского медеплавильного завода.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2003–2004 гг. в зоне действия Среднеуральского медеплавильного завода (далее – СУМЗ) в г. Ревда

Свердловской обл., действующего с 1940 г. Основные поллютанты – двуокись серы и сорбированные на твердых частицах токсические элементы (Cu, Zn, As, Pb, Cd и др.), составляющие около 4 % от общего количества выбросов. Валовой выброс в атмосферу составил в 2003 г. 34,1 тыс. т, в 2004 г. – 28,3 тыс. т [17]. Подробное описание полигона исследований приведено в монографии Е. Л. Воробейчика с соавторами [18].

Жужелиц учитывали в двух типах лесных биотопов – с доминированием ели и пихты (1) и с доминированием березы и осины (2). В градиенте токсической нагрузки выделены зоны: фоновая, буферная и импактная. Характеристика пробных площадок представлена в табл. 1. В 2003 г. учеты проводили на шести участках: по одному участку в каждом биотопе каждой зоны загрязнения. Фоновые участки расположены в 20 км (биотоп 1) и 16 км (биотоп 2), буферные – в 6 км на запад, импактные – в 2,2 (1) и 2 (2) км на юго-запад от завода. В 2004 г. дополнительно обследовано два фоновых участка: в 30 (1) и 27 км (2) от завода. Отловы жужелиц проводили в период с мая по сентябрь с использованием почвенных ловушек Барбера (пластиковые стаканы с диаметром отверстия 8,5 см), фиксатор – 3 % раствор уксусной кислоты. Ловушки устанавливали на 5 дней с пяти-

Т а б л и ц а 1

Координаты участков леса с учетными площадками в 2004 г.

Биотоп	Зона загрязнения	Расстояние от завода, км	Растительная ассоциация	Координаты	Высота над ур. м., м
Елово-пихтовый лес	Фоновая 1	30	Ельник-пихтарник кисличниковый	N 56°48' E 59°26'	383–390
	Фоновая 2	20	То же	N 56°49' E 59°35'	351–359
	Буферная	6	Ельник-пихтарник разнотравно-злаковый	N 56°51' E 59°48'	412–443
	Импактная	2,2	То же	N 56°50' E 59°52'	354–364
Осиново-березовый лес	Фоновая 1	27	Березняк вейниково-разнотравный	N 56°48' N 59°28'	375–389
	Фоновая 2	16	То же	N 56°50' E 59°38'	349–363
	Буферная	6	Березняк разнотравный	N 56°51' E 59°47'	398–441
	Импактная	2	То же	N 56°50' E 59°52'	357–366

дневными интервалами между турами. В 2003 г. в исследуемых биотопах размещали по одной линии из 15 ловушек в каждой зоне загрязнения. Расстояние между ловушками составляло 3 м. В 2004 г. на каждом участке заложили по 3 пробные площадки (10 × 10 м), удаленные друг от друга на 50–100 м. По диагонали каждой площадки установили по 5 ловушек, всего 15 ловушек на отдельном участке. В течение сезона в 2003 г. проведено 11, а в 2004 г. – 5 учетов; всего за два года исследований отработано 8306 ловушко-суток.

При оценке обилия видов в фауне использована пятибалльная шкала относительного обилия [19]. Экологическая характеристика видов жужелиц заимствована из монографии А. Г. Воронина [20]. Характеристика жизненных форм приводится по работе И. Х. Шаровой [21].

Географические координаты пробных площадок фиксировали при помощи GPS-приемника (см. табл. 1). Определение параметров среды на исследуемых участках в 2004 г. проводили в 10 точках, равномерно размещенных по площадке. Один раз за сезон на всю глубину подстилки отобрали по 10 проб (10 × 10 см), всего 30 проб на участке. Отбор проб производили одновременно в сухую погоду через 3–4 дня после дождя. Подстилку сразу же помещали в полиэтиленовый пакет с замком. В лаборатории подстилку взвешивали, высушивали на воздухе и повторно взвешивали. Влажность подстилки определяли как отношение потери массы при

сушке к сухой массе. Определяли также рН подстилки (водный) и содержание подвижных форм тяжелых металлов (5 % HNO<sub>3</sub>): Cu, Pb, Cd, Zn, Fe (метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии, прибор AAS-6 Vario фирмы Analytik Jena AG (Германия)). Суммарную токсическую нагрузку оценивали по индексу токсической нагрузки, который рассчитывали по формуле [18]:

$$F = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{x_{ij}}{\min_i [x_{ij}]},$$

где  $x_{ij}$  – концентрация  $j$ -го металла ( $j = 1, \dots, k$ ) на  $i$ -й площадке ( $i = 1, \dots, n$ ).

Сомкнутость крон деревьев определяли по 10 фотоснимкам (один снимок из каждой точки пробной площадки) с использованием программы SIAMS PHOTOLAB. В этих же точках проводили глазомерную оценку проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика факторов среды исследуемых местообитаний приведена в табл. 2. В пределах каждого из двух рассматриваемых биотопов наблюдалось увеличение кислотности и влажности подстилки, повышение концентрации тяжелых металлов от фоновой к импактной зоне: индекс токсической нагрузки в елово-пихтовом лесу возрастал в 37 раз, в осиново-березовом – в 49 раз. Изменение

Т а б л и ц а 2

Количественные значения учитываемых факторов среды в разных зонах токсической нагрузки

Параметр	Елово-пихтовый лес				Осиново-березовый лес			
	Фоновая 1	Фоновая 2	Буферная	Импактная	Фоновая 1	Фоновая 2	Буферная	Импактная
Индекс токсической нагрузки (подстилка)	1,93	2,09	19,78	72,09	1,24	1,94	16,76	61,22
рН водный (подстилка)	5,81	5,62	5,19	4,86	6,09	5,84	5,56	5,53
Влажность подстилки, г воды /г подстилки	0,73	0,36	0,75	1,21	0,21	0,14	0,33	0,77
Сомкнутость крон деревьев, %	57,4	78,2	80,0	56,9	70,2	75,5	84,0	72,3
Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, %	86,7	40,0	3,7	18,3	82,3	70,0	33,3	15,0

Состав и оценка обилия комплексов жужелиц на фоновых и загрязненных участках лесных экосистем на юго-западе Свердловской области в 2003–2004 гг.

Вид жужелиц	Елово-пихтовый лес			Осиново-березовый лес		
	Зона токсической нагрузки					
	F*	B	I	F*	B	I
1	2	3	4	5	6	7
<i>Leistus ferrugineus</i> (L.)	0	0	1	0	0	0
<i>L. terminatus</i> (Hellw. in Panz.)	2	1	0	1	0	0
<i>Notiophilus aquaticus</i> (L.)	0	0	1	1	1	1
<i>N. palustris</i> (Duft.)	1	2	2	2	2	1
<i>N. biguttatus</i> (F.)	4	4	3	2	4	1
<i>N. reitteri</i> Spaeth	3	2	0	1	1	1
<i>Carabus granulatus</i> L.	1	0	0	3	0	0
<i>C. cancellatus</i> Ill.	0	1	1	0	1	0
<i>C. aeruginosus</i> F.-W.	2	2	0	1	3	0
<i>C. schoenherri</i> F.-W.	2	0	0	3	1	0
<i>C. glabratus</i> Payk.	2	0	0	3	0	0
<i>Cychrus caraboides</i> (L.)	3	0	0	2	1	0
<i>Elaphrus cupreus</i> Duft.	0	0	0	1	0	0
<i>Loricera pilicornis</i> (F.)	3	1	2	2	1	0
<i>Epaphius secalis</i> (Payk.)	5	5	5	5	4	4
<i>Bembidion quadrimaculatum</i> (L.)	0	0	0	1	1	0
<i>B. gilvipes</i> Sturm	0	1	0	0	0	0
<i>B. lampros</i> (Hbst.)	0	1	0	1	1	1
<i>B. obliquum</i> Sturm	0	0	0	1	0	0
<i>B. mannerheimi</i> C. R. Sahlb.	1	0	1	2	0	0
<i>Poecilus cupreus</i> (L.)	0	0	0	0	0	1
<i>Pterostichus versicolor</i> (Sturm)	0	1	1	1	0	3
<i>P. oblongopunctatus</i> (F.)	5	5	5	5	5	5
<i>P. quadrioveolatus</i> Letzner	0	0	1	0	0	0
<i>P. nigrita</i> (Payk.)	2	0	1	3	0	2
<i>P. melanarius</i> (Ill.)	1	1	0	4	4	0
<i>P. urengaicus</i> Jureček	4	1	0	4	3	0
<i>P. uralensis</i> Motsch.	0	0	0	3	0	0
<i>P. diligens</i> (Sturm)	2	1	3	2	0	2
<i>P. strenuus</i> (Panz.)	2	1	2	3	1	3
<i>P. niger</i> (Schall)	2	0	0	4	1	1
<i>P. aethiops</i> (Panz.)	2	0	0	4	0	0
<i>Calathus ambiguus</i> (Payk.)	0	0	1	0	0	0
<i>C. erratus</i> (C.R. Sahlb.)	0	0	1	0	0	0
<i>C. melanocephalus</i> (L.)	0	0	1	0	0	1
<i>C. micropterus</i> (Duft.)	3	4	4	3	3	3
<i>Agonum gracilipes</i> (Duft.)	0	1	0	0	1	0
<i>A. sexpunctatum</i> (L.)	0	0	0	0	0	1
<i>Platynus mannerheimi</i> Dej.	0	0	0	2	0	0
<i>Platynus assimile</i> (Payk.)	0	0	0	2	0	0

1	2	3	4	5	6	7
<i>A. fuliginosum</i> (Panz.)	2	2	1	2	2	1
<i>Sericoda quadripunctatum</i> Motsch.	1	0	0	0	0	0
<i>Synuchus vivalis</i> (Ill.)	0	0	0	0	2	1
<i>Amara communis</i> (Panz.)	1	0	1	3	3	3
<i>A. famelica</i> Zimm.	0	0	1	0	0	1
<i>A. familiaris</i> (Duft.)	0	1	0	0	0	0
<i>A. ovata</i> (Fabr.)	0	0	0	2	0	2
<i>A. bifrons</i> (Gyll.)	0	1	1	0	1	2
<i>A. brunnea</i> (Gyll.)	2	3	3	2	3	4
<i>A. sp.</i>	0	0	1	1	0	2
<i>Curtonotus gebleri</i> (Dej.)	1	0	0	3	0	0
<i>Bradycellus caucasicus</i> (Chaud.)	0	0	1	0	0	1
<i>B. glabratus</i> (Rtt.)	0	0	0	1	0	1
<i>Harpalus latus</i> (L.)	0	0	0	2	1	0
<i>H. quadripunctatus</i> Dej.	0	0	1	2	2	1
<i>Badister lacertosus</i> Sturm	2	0	0	3	2	0
<i>B. sodalis</i> (Duft.)	1	0	0	1	0	0
Количество видов, в т.ч.:	28	22	26	41	27	27
доминирующих (5 баллов)	2	2	2	2	1	1
фоновых (4 и 3 балла)	6	3	4	13	8	6
редких (1 и 2 балла)	20	17	20	26	18	20
Количество особей	2690	1898	1299	4253	1717	1356

Зоны токсической нагрузки: F – фоновая; B – буферная; I – импактная. \*В 2004 г. объединены данные по ближнему и дальнему участкам. Балл обилия: 1 – единично; 2 – мало; 3 – средне; 4 – много; 5 – очень много.

влажности в градиенте загрязнения объясняется резким увеличением мощности подстилки в буферной и импактной зонах по сравнению с фоновой. По данным Е. Л. Воробейчика с соавторами [18], средняя мощность подстилки в фоновой, буферной и импактной зонах токсической нагрузки составляла в елово-пихтовом лесу соответственно 3,3; 6,6 и 6,4 см, в осиново-березовом – 2,9; 4,1; 4,3 см. Снижение проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса в буферной и импактной зонах по сравнению с фоновой отражает уменьшение абсолютного обилия видов в градиенте загрязнения [22].

Всего за два года исследований на всех учетных площадках отловлено 56 видов жу-желиц (табл. 3). В обоих биотопах и всех зонах загрязнения максимального обилия достигают *Pterostichus oblongopunctatus* и *Eraphius secalis*. Фоновые участки осиново-березового леса отличаются от таковых елово-пихтового большим видовым богатством и обилием жу-желиц. Тем не менее отмечено довольно высокое

сходство видового состава комплексов Carabidae в рассматриваемых биотопах: значение коэффициента Чекановского–Серенсена ( $I_{CS}$ ) составляет 78,3 %. В градиенте токсической нагрузки наблюдается изменение видового состава комплексов Carabidae, более выраженное в елово-пихтовом лесу. Сходство по этому показателю участков елово-пихтового леса на фоновой и буферной территории составляет 60,0 %, фоновой и импактной – 48,2 %. В осиново-березовом лесу соответствующие значения  $I_{CS}$  равны 67,7 и 58,8 %.

В обоих типах биотопов на загрязненной территории по сравнению с фоновыми участками в течение двух лет исследований наблюдалось снижение видового разнообразия комплексов жу-желиц (табл. 4). Сокращение видового разнообразия в импактной зоне по сравнению с фоновой более выражено в осиново-березовом лесу. Так, индекс Симпсона, рассчитанный для комплексов жу-желиц сильно загрязненных участков, снизился по сравнению с фоновыми участками в осиново-березо-

Показатели видового разнообразия комплексов жуужелиц фоновых и загрязненных лесных экосистем в окрестностях СУМЗ

Показатель	Зона токсической нагрузки						
	фоновая 2	буферная	импактная	фоновая 1	фоновая 2	буферная	импактная
	2003 г.			2004 г.			
<i>Елово-пихтовый лес</i>							
Видовое богатство, S	25	21	20	15	21	9	16
Индекс Симпсона, 1/D	4,47	4,38	3,36	3,14	4,17	3,61	2,42
Индекс Бергера-Паркера, 1/d	2,57	3,42	2,51	2,17	2,94	2,27	1,64
Количество особей	1301	1099	838	653	736	799	461
<i>Осиново-березовый лес</i>							
Видовое богатство, S	37	26	23	26	33	19	19
Индекс Симпсона, 1/D	6,46	3,90	4,02	4,30	6,75	3,97	2,66
Индекс Бергера-Паркера, 1/d	3,04	2,27	2,62	2,70	3,57	2,44	1,85
Количество особей	1578	871	848	1275	1400	846	508

вом лесу в 1,6–2,5 раза, в елово-пихтовом – в 1,3–1,7 раза (см. табл. 4). Степень доминирования наиболее обильного вида в 2003 г. была сходной на участках елово-пихтового леса фоновой и импактной территорий, величина индекса Бергера-Паркера составила соответственно 2,57 и 2,51, на фоновом участке осиново-березового леса этот показатель был несколько ниже (3,04), чем на импактном (2,62). В 2004 г. отмечено усиление доминирования на импактной территории по сравнению с фоновой в 1,3–1,8 раза для елово-пихтового леса и в 1,5–1,9 раза – для осиново-березового.

Комплексы жуужелиц исследуемых территорий представлены двумя трофическими группами: зоо- и миксофитофагами. По количеству особей и видов на всех учетных площадках преобладают зоофаги, среди которых выделено пять групп жизненных форм: эпигеобионты ходящие (к ним отнесены наиболее крупные формы родов *Carabus* и *Pterostichus*); эпигеобионты бегающие; стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные, стратобионты-скважники подстилочные и стратобионты зарывающиеся подстилично-почвенные. При возрастании токсической нагрузки происходит уменьшение относительного обилия зоофагов (рис. 1), сокращается

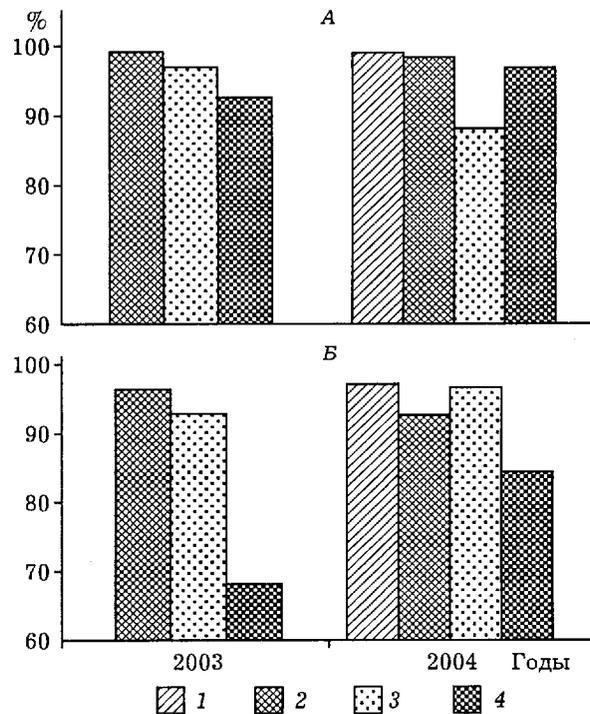


Рис. 1. Изменение относительного обилия зоофагов, рассчитанное по доле особей на фоновых и загрязненных участках леса в окрестностях СУМЗ.

А – елово-пихтовый лес; Б – осиново-березовый лес; 1 и 2 – фоновая, 3 – буферная, 4 – импактная территория

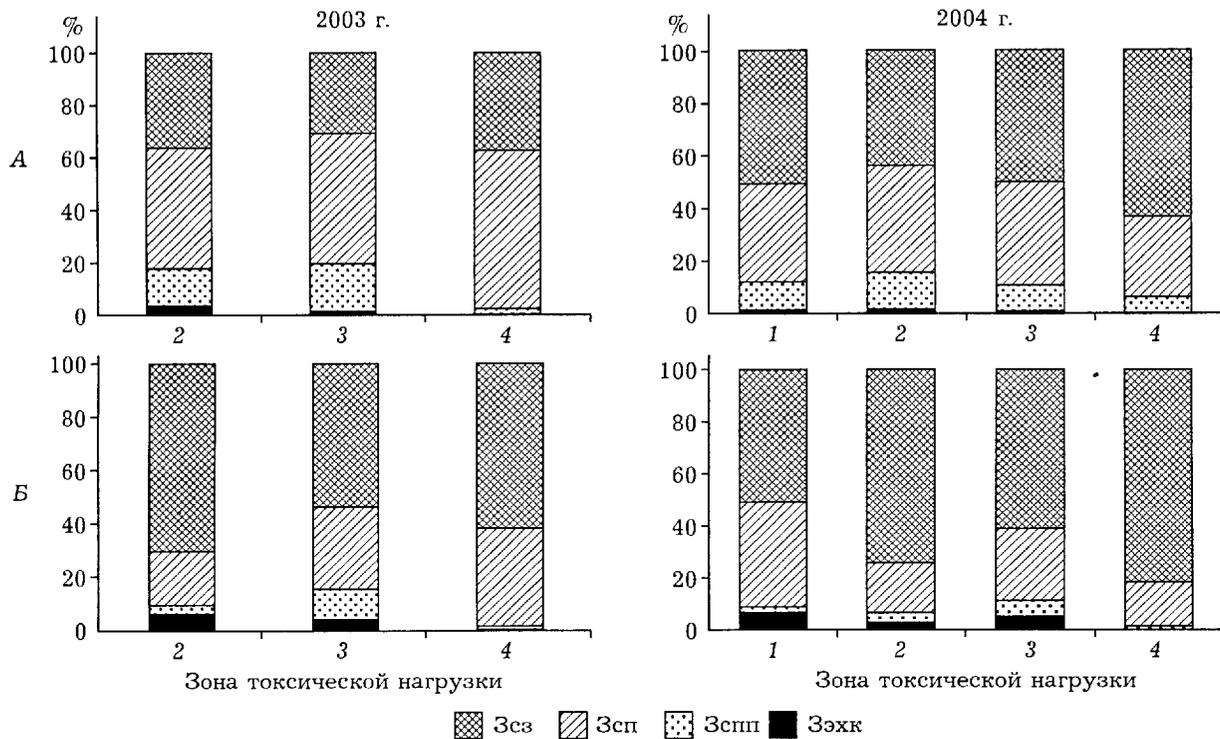


Рис. 2. Относительное обилие жизненных форм жуужелиц на фоновых и загрязненных участках леса в окрестностях СУМЗ (рассчитано по доле особей).

А – елово-пихтовый лес, Б – осиново-березовый лес; 1 и 2 – фоновая, 3 – буферная, 4 – импактная территория. З – зоофаги, эжк – эпигеобионты ходячие и бегающие, крупные, спп – стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные, сп – стратобионты-скважники подстилочные, сз – стратобионты зарывающиеся, подстилично-почвенные

и спектр их жизненных форм (рис. 2). В частности, отмечено, что снижается доля (как особей, так и видов) эпигеобионтов ходячих и бегающих, уменьшается и доля особей стратобионтов-скважников поверхностно-подстилочных. В то же время в градиенте возрастающей токсической нагрузки происходит увеличение относительного обилия миксофитофагов, рассчитанного по доле особей. При этом тренды изменения трофической структуры комплексов совпадают в обоих биотопах и сохраняются в течение двух лет исследований.

На участках елово-пихтового и осиново-березового леса во всех зонах загрязнения как по количеству видов, так и по количеству особей преобладает лесная экологическая группа. Вторая по обилию группа представлена лесолуговыми видами (табл. 5). В осиново-березовом лесу на импактной территории по сравнению с фоновой территорией наблюдается снижение доли видов при одновременном увеличении доли особей лес-

ной экологической группы. В елово-пихтовом лесу описанное изменение относительного обилия лесной экологической группы отмечено в 2004 г., в 2003 г. фоновая и импактная территории различались только по доле видов. Перестройка экологической структуры комплексов жуужелиц на импактной территории выражается также в увеличении доли видов и особей лугополевой и полевой группы по сравнению с фоновой территорией.

У различных видов жуужелиц изменение относительного обилия происходит по-разному: 1) в градиенте возрастающей токсической нагрузки доля от общего количества особей снижается (в крайнем варианте вид не встречается), 2) реакция на загрязнение отсутствует, 3) доля повышается. К первому типу относится наиболее многочисленная группа видов: *Pterostichus nigrita*, *P. melanarius*, *P. urengaicus*, *P. niger*, *P. aethiops*, *Carabus granulatus*, *C. schoenherrri*, *C. glabratus*, *Cychrus caraboides*, *Notiophilus biguttatus*, *Loricera pi-*

## Соотношение экологических групп жужелиц на фоновых и загрязненных территориях в окрестностях СУМЗ

Экологическая группа	Зона токсической нагрузки						
	фоновая 2		буферная		импактная		
	2003 г.		2004 г.				
<i>Елово-пихтовый лес</i>							
Относительное обилие, %, рассчитанное по доле видов							
Лесная*	54,2	40,0	36,8	66,7	57,1	55,6	26,6
Лесолуговая*	20,8	20,0	21,1	6,6	23,8	33,3	20,0
Лесоболотная	20,8	20,0	15,8	26,7	14,3	11,1	26,7
Лугополевая + полевая	0,0	15,0	26,3	0,0	0,0	0,0	20,0
Прибрежно-луговая + прибрежная	4,2	5,0	0,0	0,0	4,8	0,0	6,7
Относительное обилие, %, рассчитанное по доле особей							
Лесная**	55,7	69,3	55,6	62,5	61,3	81,1	76,3
Лесолуговая**	40,6	29,2	40,6	32,2	35,6	18,6	17,8
Лесоболотная	3,6	0,9	3,0	5,3	3,0	0,3	4,4
Лугополевая + полевая	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	0,0	1,1
Прибрежно-луговая + прибрежная	0,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4
<i>Осиново-березовый лес</i>							
Относительное обилие, %, рассчитанное по доле видов							
Лесная*	38,9	42,4	22,8	42,4	36,5	47,4	27,8
Лесолуговая**	22,3	30,8	13,6	23,1	24,1	31,5	22,2
Лесоболотная	19,4	11,5	18,2	19,2	18,2	10,5	22,2
Лугополевая + полевая	11,1	11,5	40,9	3,8	9,1	5,3	22,2
Прибрежно-луговая + прибрежная	8,3	3,8	4,5	11,5	12,1	5,3	5,6
Относительное обилие, %, рассчитанное по доле особей							
Лесная*	59,3	68,3	72,3	45,8	57,6	55,8	70,2
Лесолуговая**	32,6	30,2	18,4	50,7	39,4	42,8	16,3
Лесоболотная	7,3	0,9	3,2	2,1	2,2	0,6	3,0
Лугополевая + полевая	0,4	0,5	6,0	0,4	0,3	0,7	10,3
Прибрежно-луговая + прибрежная	0,4	0,1	0,1	1,0	0,5	0,1	0,2

\*Включает лесную и лиственно-лесную группу видов.

\*\*Включает лесолуговую и лиственно-лесолуговую группу видов.

*licornis*, *Curtonotus gebleri*, *Badister lacertosus*. Второй тип реакции отмечен у *P. oblongopunctatus*, *P. strenuus*, *Amara communis*, и только *Amara brunnea* увеличивает относительное обилие в градиенте возрастающей токсической нагрузки. Некоторые виды обладают смешанным типом реакции. Так, отно-

сительное обилие *Pterostichus diligens* и *Calathus micropterus* на загрязненных участках елово-пихтового леса повышается по сравнению с фоновой территорией, а в осиново-березовом лесу реакция на загрязнение отсутствует. Для *E. secalis* отмечено снижение относительного обилия на участках осиново-

березового леса и отсутствие реакции в елово-пихтовом лесу.

Влияние древесного вида-эдификатора на биологическое разнообразие сообщества, в том числе гетеротрофных организмов, – хорошо известный факт. Например, в работах Л. М. Носовой с соавторами [23, 24] продемонстрировано средообразующее воздействие древесных пород на комплекс насекомых-консортов растений и почвенную фауну лесов. Мы сравнивали видовой состав, обилие, трофическую и экологическую структуру комплексов жуужелиц коренного для района наших исследований темнохвойного (елово-пихтового) и производного мелколиственного (осиново-березового) леса в градиенте химического загрязнения экосистем промышленными выбросами.

Выявлено, что комплексы жуужелиц фоновых участков леса, минимально подверженных токсическому загрязнению, имеют черты как сходства, так и различия. Отмечено довольно большое сходство видовой состава елово-пихтового и осиново-березового леса. В трофической структуре обоих типов рассматриваемых биотопов преобладают зоофаги, а по количеству видов и особей наиболее многочисленны лесные и лесолуговые группы. В то же время комплекс Carabidae осиново-березового леса отличается от группировки жуужелиц елово-пихтового леса более высокой численностью, большим видовым разнообразием и, как следствие, более выравненной структурой населения (табл. 3, 4). В условиях трансформации экосистем, обусловленной воздействием химического загрязнения промышленными выбросами СУМЗа, в обоих типах леса происходит перестройка комплексов жуужелиц. Она проявляется, прежде всего, в изменении видовой состава, заметном повышении степени доминирования, выраженной индексами Симпсона и Бергера-Паркера, а также в сокращении числа отловленных особей. В трофической структуре комплексов Carabidae уменьшается относительное обилие зоофагов, особенно видов, специализированных к обитанию на поверхности почвы. Происходит сокращение спектра жизненных форм жуужелиц на импактных территориях по сравнению с фоновыми. Изменяется соотношение

экологических групп: снижение доли лесных видов сопровождается повышением доли лугополевых и полевых видов. При этом тренды изменения видовой разнообразия, трофической и экологической структуры комплексов в наших исследованиях совпадают в обоих типах лесных биотопов.

Уменьшение количества видов и обилия жуужелиц является наиболее часто упоминаемым следствием техногенной трансформации экосистем [14–16, 26]. Снижение доли зоофагов, а среди них – открыто живущих форм, обитающих на поверхности почвы, на загрязненных территориях подтверждается в работах Р. О. Бутовского [25] и А. И. Ермакова [16]. Тем не менее изменение структуры доминирования комплексов Carabidae под воздействием химического загрязнения происходит по-разному. Известно, что значение индексов неоднородности Симпсона и Бергера-Паркера может снижаться, увеличиваться, либо не изменяется при увеличении химического загрязнения [14, 16, 25]. Отмечены сильные межгодовые различия этого показателя на одних и тех же учетных площадках.

Мы считаем, что вопрос о перестройке структуры комплексов жуужелиц под воздействием токсической нагрузки следует рассматривать с учетом видовой состава конкретных комплексов и в связи с изменениями в них обилия отдельных видов. Наиболее распространенная реакция – снижение обилия в градиенте токсической нагрузки вплоть до полного исчезновения вида. Например, в районе нашего исследования, по собственным наблюдениям и данным А. И. Ермакова [16], *P. aethiops*, *C. glabratus* и *C. gebleri* отмечены только на фоновой территории. В зоне слабого и среднего загрязнения обнаружены *P. melanarius*, *P. urengaicus*, *C. aeruginosus*, *C. schoenherri*, *C. caraboides* и *B. lacertosus*. Такие виды, как *P. oblongopunctatus*, *P. strenuus*, *P. diligens*, *P. versicolor*, *E. secalis*, *C. micropterus*, *N. biguttatus*, *N. palustris*, *N. aquaticus*, *N. reitteri*, *A. fuliginosum*, *A. brunnea*, *A. communis*, *B. lampros*, *H. quadripunctatus*, *L. pilicornis*, встречались во всех зонах загрязнения. Причем их реакция на загрязнение зачастую зависела от типа рассматриваемого биотопа. Механизмы реакций отдельных видов на

загрязнение пока не исследованы. Причиной изменения обилия могут выступать как токсические, так и нетоксические факторы среды (абиотические и биотические), их взаимодействие, а также особенности биологии и экологии видов. Однако структура наших данных, характеризующих параметры среды, не позволяет сделать вывод о влиянии этого фактора на комплексы жуужелиц.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате техногенной трансформации лесных экосистем в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода происходит изменение видового состава, обилия и структуры комплексов Carabidae: заметно снижается видовое богатство, сокращается количество отлавливаемых особей, уменьшается относительное обилие зоофагов, особенно видов, специализированных к обитанию на поверхности почвы. Тренды изменения этих показателей в градиенте химического загрязнения повторяются в различные годы исследований и совпадают в темнохвойном и мелколиственном лесу. В ряде случаев на загрязненной территории наблюдается усиление доминирования, выраженное индексами Симпсона и Бергера-Паркера.

В основе преобразований структуры комплексов Carabidae лежат реакции на загрязнение отдельных видов жуужелиц, которые можно отнести к одному из трех типов: сокращение, постоянство, либо повышение обилия в градиенте токсической нагрузки.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам Института экологии растений и животных УрО РАН М. П. Золотареву и Н. В. Золотаревой за участие в сборе материала и предоставление данных по характеристике факторов среды на учетных площадках, а также Э. Х. Ахуновой, проводившей анализ содержания тяжелых металлов в подстилке. Настоящее исследование выполнено при частичной поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 06-04-49118, РФФИ-Урал № 04-04-96104 и 04-04-96129 и Программы президиума РАН "Научные основы сохранения биоразнообразия России".

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Aerial pollution in Kola Peninsula. Apatity, Ed. by M. V. Kozlov, E. Naukioja, V. T. Yarmishko, Apatity, 1993.
2. Т. В. Черненкова, Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение, М., 2002.
3. Е. Г. Шадрина, Я. Л. Вольперт, В. А. Данилов, Д. Я. Шадрин, Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы Севера, Новосибирск, 2003.
4. С. Н. Тарханов, Н. А. Прожерина, В. Н. Коновалов, Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения. Диагностика состояния, Екатеринбург, 2004.
5. С. Ю. Грюнталь, Р. О. Бутовский, *Энтомолог. обозрение*, 1997, **76**: 3, 547-554.
6. М. М. Долгин, Проблемы энтомологии в России, СПб., 1998, 1, 118.
7. Ю. В. Дорофеев, Проблемы энтомологии в России, СПб., 1998, 1, 119.
8. В. М. Емец, Пространственно-временная динамика разнообразия животного населения почв на рекреационно используемых и заповедных лесных территориях (на примере крупных почвенных беспозвоночных Усманского бора), Воронеж, 2002.
9. О. Р. Бутовский, М. В. Минор, Проблемы энтомологии европейской части России и сопредельных территорий, Самара, 1998, 92.
10. К. Б. Гонгальский, Сибирская зоологическая конференция, Новосибирск, 2004, 29-30.
11. Т. А. Автаева, Экологическое разнообразие почвенной биоты и продуктивности почв, Тюмень, 2005, 25.
12. Б. Ю. Филипов, Там же, 273.
13. J. Niemelä, J. Kotze, A. Ashworth et al., *J. Insect Conserv.*, 2000, 4, 3-9.
14. К. В. Gongalsky, R. O. Butovsky, Pollution-Induced Changes in Soil Invertebrate Food-Webs, Amsterdam and Moscow, 1999, 2, 71-76.
15. К. В. Gongalsky, *Env. Monitor. and Assessm.*, 2003, 89, 197-219.
16. А. И. Ермаков, *Экология*, 2004, 6, 450-455.
17. О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2004 г.: Гос. докл. руководства Свердловской обл. и др. Под ред. Г. Ю. Пыхальчик и др., Екатеринбург, 2005.
18. Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафонов, Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземным экосистем, Екатеринбург, 1994.
19. Ю. А. Песенко, Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях, М., 1982.
20. А. Г. Воронин, Фауна и комплексы жуужелиц (Coleoptera, Trachypachidae, Carabidae) лесной зоны Среднего Урала (эколого-зоогеографический анализ), Пермь, 1999.
21. И. Х. Шарова, Жизненные формы жуужелиц, М., 1981.
22. М. Р. Трубина, Биологическая рекультивация нарушенных земель, Екатеринбург, 2003, 489-507.

23. Л. М. Носова, Л. И. Фомичева, *Бюл. МОИП. Отд. биол.*, 1979, **84**: 2, 21–28.
24. Л. М. Носова, Е. В. Тихонова, Н. Б. Леонова, *Лесоведение*, 2005, 4, 40–48.

25. Р. О. Бутовский, Устойчивость комплексов почвообитающих членистоногих к антропогенным воздействиям, М., 2001.
26. Н. Алалыкина, Л. Г. Целищева, *Вестник Ин-та биологии КНЦ УрО РАН*, 2005, 2, 16–21.

## **Structure of the Complexes of Carabid Beetles (Coleoptera, Carabidae) in Natural and Industry-Disturbed Forest Ecosystems in the South-West of the Sverdlovsk Region**

E. A. BEL'SKAYA, E. V. ZINOVIEV

The indices of biodiversity and structure of the complexes of *Carabidae* of spruce-fir and aspen-birch forest in the gradient of chemical pollution with the emissions from the Sredneuralsk brass works (Sverdlovsk Region) were investigated. 56 *Carabidae* species were revealed, with the predominance of *Pterostichus oblongopunctatus* and *Eparhys secalis* in quantity. The conditions of industry-related transformation of ecosystems bring about a decrease in species diversity, decrease in the number of individuals, decrease of the relative abundance of zoophages, especially the species specialized for habitation on the surface of soil. In a number of cases, an increase in predominance is observed at the polluted territory, which is expressed in Simpson and Berger-Parker indices. The trends of changes in the species diversity and trophic structure of the complexes coincide in both types of forest biotopes. The basis of transformations in the structure of *Carabidae* complexes includes the reactions of separate *Carabidae* species to pollution.