

Население беспозвоночных-герпетобионтов в крупном промышленном городе: разделение эффектов рекреации и урбанизации

М. П. ЗОЛОТАРЕВ, Е. А. БЕЛЬСКАЯ

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

Статья поступила 11.10.2013

Принята к печати 03.04.2014

АННОТАЦИЯ

Исследовано население герпетобионтных беспозвоночных в сосновом лесу естественного происхождения г. Екатеринбурга и его окрестностей. Сравнивали участки, контрастные по уровням действующих факторов: урбанизации (преимущественно аэротехногенное загрязнение) и рекреации (интенсивность посещения людьми). Динамическая плотность таксонов, наиболее богатых по числу особей и видов (жужелицы, стафилиниды, пауки и сенокосцы), увеличивалась в городских лесопарках по сравнению с загородными участками леса. Изменение видового разнообразия под воздействием урбанизации различалось у разных таксонов. Уменьшение видового богатства в городе сопровождалось повышением степени доминирования у паукообразных и снижением у жужелиц; выравненность структуры населения стафилинид не изменялась по сравнению с загородными участками. Рекреация слабо влияла на герпетобионтных беспозвоночных по сравнению с урбанизацией. Значимые эффекты установлены для жужелиц (снижение обилия и видового разнообразия при высоком уровне рекреации) и паукообразных (повышение обилия).

Ключевые слова: урбанизация, рекреация, беспозвоночные-герпетобионты, жужелицы, стафилиниды, пауки, сенокосцы.

Урбанизация – сложное явление, представляющее собой комплекс соподчиненных факторов, связанных с высокой концентрацией людей и их деятельностью на ограниченной территории. В этот комплекс входят промышленное и автотранспортное загрязнение, рекреация, фрагментация местообитаний, особый микроклимат, интродукция растений и другие факторы. Воздействие этих факторов в конечном итоге приводит к формированию специфических экосистем, отличающихся от исходных по многим пара-

метрам [Клауснитцер, 1990; McDonnell et al., 1997; Sattler et al., 2011].

Интерес к влиянию урбанизации на сообщества беспозвоночных-герпетобионтов, несмотря на длительную историю изучения этого вопроса, не ослабевает до сих пор, причем возникают новые аспекты, требующие более внимательного рассмотрения. Так, в разных городах реакции одних и тех же таксонов различаются, скорее всего из-за разного соотношения антропогенных факторов [Niemelä et al., 2002; Niemelä, Kotze, 2009].

Специфика реакций может быть связана с географическим положением города, его площадью, количеством жителей, степенью развития промышленности и транспорта, плотностью застройки, типом исследуемого биотопа. Таким образом, проблема заключается в дифференциации факторов урбанизации и определении степени их влияния на сообщества беспозвоночных с учетом географического положения исследуемой территории. Одним из решений данной проблемы может стать расширение географии изучения влияния урбанизации на сообщества наземных беспозвоночных. Например, из работ, выполненных в северном полушарии, основное количество приходится на Европу и Америку, гораздо меньшее – на долю России [Бабенко, Еремеева, 2007; Семенова, 2008; Суходольская и др., 2009], хотя ее территория занимает значительную часть суши.

На данный момент в урбоэкологии наиболее изучена рекреация, но ее ключевое значение не доказано. В большинстве работ, посвященных оценке обилия и разнообразия беспозвоночных в городских местообитаниях, полученные результаты объясняются исключительно рекреацией [Галиновский, Александрович, 2004; Lehvävirta et al., 2006; Семенова, 2008]. Однако необходимо учитывать и другие факторы, определяющие суммарный эффект урбанизации. Вклад рекреации и взаимодействие ее с остальными факторами, в частности, аэротехногенным загрязнением, можно оценить сравнением участков контрастных по их уровням. Эта задача вполне выполнима, так как участки с высокой и низкой рекреационной нагрузкой встречаются как в городе, так и за его пределами, тогда как действие загрязнения ограничено городской территорией и сведено к минимуму за городом (при условии удаленности от автострад и крупных заводов).

Кроме того, городская среда отличается высокой биотопической разнородностью, обуславливающей увеличение видовой разнообразия и обилия беспозвоночных. Поэтому для выявления закономерностей реакций беспозвоночных на какой-либо антропогенный фактор “в чистом виде” необходимо свести к минимуму биотопическую изменчивость, выбирая однотипные биотопы как в черте города, так и за его пределами.

Существенна также проблема выбора объекта исследования. Во многих работах по влиянию урбанизации на наземных беспозвоночных внимание уделяют одному – двум таксонам, преимущественно жужелицам. Сведения о реакциях других массовых представителей герпетобионтного комплекса, например паукообразных или стафилинид, малочисленны [Alaruikka et al., 2002; Shochat et al., 2004; Deichsel, 2006; Magura et al., 2010; Varet et al., 2011]. В то же время, на основании таких данных невозможно получить полное представление о реакции всего населения герпетобионтов на урбанизацию.

Цель нашей работы – выявление реакций всего сообщества и наиболее многочисленных таксономических групп беспозвоночных-герпетобионтов лесных экосистем на урбанизацию, а также оценка роли рекреации в комплексе факторов урбанизации на территории крупного промышленного города.

В данной работе мы искали ответы на следующие вопросы: различается ли обилие и разнообразие герпетобионтов городских и загородных лесов; какие таксоны наиболее чувствительны к урбанизации; каков вклад рекреации в общий эффект урбанизации?

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работу проводили на территории и в окрестностях г. Екатеринбурга – административного центра Свердловской области (площадь около 498 км², население свыше 1,4 млн чел.), относящегося к числу сильно загрязненных городов России [Стурман, 2008]. Основная доля выбросов в атмосферу (163,1 тыс. т/год – 86,6 %) приходится на автотранспорт (около 656 тыс. единиц). На выбросы от стационарных источников (около 60 предприятий разного типа: машиностроительные, металлургические, химические, ТЭЦ) приходится 25,3 тыс. т или 13,4 % [Государственный доклад..., 2011].

Чтобы разделить вклады рекреации и урбанизации в изменчивость обилия и видовой разнообразия беспозвоночных, исследовали однотипные биотопы – сосновые леса естественного происхождения. По основным таксационным характеристикам древостоя все исследуемые участки естественных сосновых



Рис. 1. Расположение экспериментальных участков с разным сочетанием рекреации и урбанизации: 1 – окрестности оз. Глухое (У–Р–), 2 – окрестности оз. Чусовское (У–Р+), 3 – дендрарий (У+Р–), 4 – “Юго-Западный” лесопарк (У+Р+)

лесов однородны и представлены спелыми высокополнотными древостоями 120–140-летнего возраста II–III классов бонитета [Шавнин и др., 2011]. На территории города и за его пределами выбрано по два участка леса с различным сочетанием антропогенных факторов: рекреации (Р) – интенсивность посещения людьми, и урбанизации (У) – комплекс остальных трудноразделимых факторов, характерных для городской среды, в том числе аэротехногенное загрязнение от автотранспорта и предприятий (рис. 1). Выделяли две градации действующего фактора: высокий уровень (обозначено знаком “+”) и низкий уровень (“–”). Краткое описание участков: 1) окрестности оз. Глухое (У–Р–) – мало посещаемый лесной массив в 4 км от границы города (на 2010 г.), находящийся вдали от крупных автострад; 2) окрестности оз. Чусовское (У–Р+) – часто посещаемый населенным лесной массив по соседству с садово-дачными участками на расстоянии 9 км от границы г. Екатеринбурга; 3) дендрарий (У+Р–) – огороженный участок леса в черте г. Екатеринбурга на территории Ботанического сада УрО РАН с запретом посещения в последние 50 лет, находится вблизи крупных автомагистралей и промышленного района; 4) лесопарк “Юго-Западный” (У+Р+) – лесной массив в черте города, место отдыха горожан,

расположен в непосредственной близости от дендрария, также вблизи автодорог и промышленного района.

На исследуемых участках, подверженных вытаптыванию, отмечено уменьшение мощности лесной подстилки в 1,5–1,8 раза по сравнению с контрольным участком (Р–У–), плотность верхних горизонтов повышается в 1,2–1,5 раза, подстилка и гумусовый горизонт выбиваются и эродируются [Веселкин, Кайгородова, 2013]. По фитоценоотическим характеристикам отличие городских участков леса от загородных заключается в меньшем проективном покрытии и меньшей фитомассе травяно-кустарничкового яруса. При этом проективное покрытие и фитомасса синантропных видов выше в черте города. На участке Р+У+ отмечены их максимальные значения, что свидетельствует о высокой рекреационной нагрузке на данном участке. Территория города также отличается высоким обилием успешно натурализовавшихся адвентивных видов в составе подлеска, влияющих на изменение параметров почвенного покрова. Это способствует снижению освещенности и увеличению влажности воздуха под пологом леса в городских условиях [Золотарёва и др., 2012]. Воздушное загрязнение на городских участках состоит преимущественно из высокотоксичных и канцерогенных органических примесей: бензпирена, формальдегида, фенола, аммиака, а также мелкодисперсной пыли [Государственный доклад..., 2011]. В городских условиях происходит изменение агрохимических свойств почв. Наблюдается подщелачивание верхних горизонтов на 0,2–0,5 единиц рН и накопление обменных оснований. В лесной подстилке и гумусовом горизонте существенно увеличилось содержание форм легкогидролизуемого азота, в большей степени доступных для растений [Веселкин, Кайгородова, 2013].

Герпетобионтов учитывали в 2010–2011 гг. почвенными ловушками (пластиковые стаканы с диаметром горловины 9 см, фиксатор – 3%-ная уксусная кислота). С целью наиболее полного выявления видового состава беспозвоночных отловы проводили в два тура – в периоды повышенной активности весенне-летних и летне-осенних видов (в третьей декаде мая и первой декаде августа). На каж-

дом из четырех участков заложено по три пробных площади (ПП), отстоящих друг от друга на 70–150 м. На каждой ПП устанавливали линию из пяти ловушек (расстояние между ловушками 2–3 м), с экспозицией 5 сут. За два года собрано 232 пробы из 240 (восемь ловушек уничтожено горожанами), обнаружено 4643 особи беспозвоночных. Воздействие факторов урбанизации и рекреации на обилие и видовое разнообразие рассматривали на примере наиболее многочисленных в уловах таксонов, составляющих ядро герпетобионтного комплекса (табл. 1): насекомых (Carabidae и Staphylinidae) и паукообразных (Aranei и Opiliones). Прочие таксоны не анализировали по причине их малочисленности. Динамическую плотность (обилие) оценивали в экземплярах на пять ловушко-суток. Видовое разнообразие (только 2010 г.) характеризовали следующими показателями: индекс Шеннона, индекс Бергера – Паркера, интерполированное число видов (рассчитано в программе PAST методом разрежения для минимального числа особей на участок, <http://nhm2.uio.no/norlex/past>).

Сравнение показателей обилия и разнообразия между годами, турами и вариантами проводили методом многофакторного дисперсионного анализа, учетная единица – ПП ($n = 3$) с поправкой Уайта – Хьюберта на неоднородность дисперсии, алгоритм НСЗ [Long, Ervin, 2000]. Для нормализации распределений обилие логарифмировали ($\ln(x + 1)$). Разделение дисперсии на компоненты выполнили по Снедекору.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение обилия герпетобионтов. Население герпетобионтных беспозвоночных в целом имеет более высокое обилие на урбанизированных территориях, а рекреация не оказывает влияния на общее обилие герпетобионтов (см. табл. 1, 2). Различия динамической плотности между годами и турами учетов значимы ($F_{(1;32)} = 31,4$, $p \ll 0,001$; $F_{(1;32)} = 7,0$, $p < 0,01$ соответственно).

Несмотря на значимое влияние года учета на обилие всего населения беспозвоночных, суммарное обилие Aranei, Opiliones, имаго Carabidae и Staphylinidae не различа-

лось между годами ($F_{(1;32)} = 1,9$, $p = 0,8$). От года зависит только обилие Carabidae и Opiliones ($F_{(1;32)} = 12,5$, $p \ll 0,001$; $F_{(1;32)} = 35,7$, $p \ll 0,001$ соответственно). Тур учета влияет исключительно на жукелиц, численность которых в конце лета значимо снижается ($F_{(1;32)} = 142,0$, $p \ll 0,001$), соответственно снижается и суммарное обилие четырех перечисленных таксонов. В черте города их суммарная динамическая плотность увеличивается в среднем в три раза по сравнению с загородными участками (см. табл. 1). Эта закономерность сохраняется в оба тура исследований, взаимодействие факторов “тур × урбанизация” незначимо ($F_{(1;32)} = 3,8$, $p = 0,06$). Урбанизация вносит наибольший вклад в дисперсию суммарного обилия четырех рассматриваемых таксонов (54,7 %), на долю рекреации приходится всего 0,9 %, 11,5 % различий объясняется туром учетов, 1,2 % – годом исследования, 31,7 % – неучтенными факторами.

Реакция на урбанизацию Carabidae и Staphylinidae однотипна – их обилие возрастает на городских участках по сравнению с загородными (см. табл. 1). Рекреация оказывает заметное влияние только на Carabidae, воздействие данного фактора на численность Staphylinidae незначимо (см. табл. 2). При этом Carabidae – единственный из четырех рассматриваемых таксонов, обилие которого значимо меняется в зависимости от сочетания факторов урбанизации и рекреации (см. табл. 2): в пределах города рекреация, как правило, способствует снижению обилия Carabidae, а за городом – повышению в первом туре учетов и некоторому снижению во втором.

Пауки и сенокосцы по-разному реагируют на урбанизацию. Так, обилие Aranei на городских территориях в первом туре снижается, а во втором – увеличивается в оба года исследования. Рекреация приводит к увеличению обилия Aranei независимо от тура. Исключение представляет первый тур 2011 г., когда на загородном участке обилие пауков под действием рекреации снижалось (см. табл. 1, 2). Изменение обилия Opiliones под действием урбанизации зависело от года и тура: взаимодействия “год × урбанизация” и “тур × урбанизация” значимы (соответственно

Обилие беспозвоночных

Таксон	2010 г.							
	I Тип				II Тип			
	У-Р-	У-Р+	У+Р-	У+Р+	У-Р-	У-Р+	У+Р-	У+Р+
	Ядро сообщества							
Carabidae, imago	3,9±0,7	6,9±1,2	19,4±1	11,6±0	1,3±0,7	0,7±0,5	9,9±0,1	5,3±1,0
Staphylinidae, imago	5,3±0,8	2,9±0,7	7,3±1,4	13,0±3,3	0,8±0,3	0,9±0,1	1,1±0,4	2,0±0,2
Aranei	2,8±0,7	4,2±1,2	0,7±0,4	0,9±0,4	1,5±0,5	2,4±0,7	2,4±1,2	3,3±0,3
Opiliones	0,2±0,1	0,1±0,1	4,1±0,9	4,1±0,4	0,5±0,2	1,3±0,3	1,7±0,7	0,3±0,1
	Прочие бес							
Carabidae, Staphylinidae, larvae	0	0	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,3±0,1	0,1±0,1	0,3±0,1
Coleoptera, прочие	0,5±0,1	0,3±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,2±0,1	0	0	0
Myrmicidae	0	0	0	0	1,5±0,3	2,6±1,3	1,3±0,8	1,5±0,2
Heteroptera	0	0,1±0,1	0	0	0,1±0,1	0,1±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1
Blattoptera	0	0	0	0	0	0	0	0
Psocoptera	0	0	0	0	0	0	0	0
Acari	0,3±0,2	0,5±0,1	0,4±0,1	0,7±0,5	0	0,1±0,1	0,1±0,1	0,3±0,1
Chilopoda	0,1±0,1	0,5±0,3	0,1±0,1	0,1±0,1	0,2±0,1	0,7±0,3	0,2±0,1	0,5±0,3
Oniscidea	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	0,1±0,1	0	0,1±0,1	0	0	0	0	0
Lumbricidae	0,2±0,1	0,1±0,1	0,2±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,2±0,1	0,1±0,1
Случайные таксоны*	1,3±0,3	1,7±0,6	0,9±0,2	0,9±0,8	0,9±0,4	0,7±0,1	0,3±0,1	0,5±0,2
Общее обилие герпетобионтов	14,6±0,7	17,2±3,1	33,5±2,0	31,7±5,6	7,2±1,9	10,0±3,0	17,6±2,3	14,3±1,6

*Случайные таксоны – нехарактерные для герпетобионтного комплекса (Diptera, Lepidoptera имаго и ли

Т а б л и ц а 2

Результаты дисперсионного анализа влияния антропогенных факторов на обилие и разнообразие беспозвоночных-герпетобионтов

Таксон	Источник изменчивости					
	Урбанизация		Рекреация		Рекреация × урбанизация	
	F	p	F	p	F	p
	Обилие $df = 1, df_{\text{Error}} = 32$ (2010–2011 гг.)					
Carabidae	75,0	<<0,001	27,5	<<0,001	13,7	0,001
Staphylinidae	59,6	<<0,001	0,8	0,4	1,6	0,2
Aranei	56,3	<<0,001	5,1	0,03	0,1	0,7
Opiliones	25,3	<<0,001	0,2	0,6	2,9	0,1
Суммарное обилие	91,3	<<0,001	0,8	0,4	1,9	0,2
	Индекс Шеннона (H') $df = 1, df_{\text{Error}} = 16$ (2010 г.)					
Carabidae	19,5	<<0,001	5,0	0,04	0,002	1,0
Staphylinidae	0,05	0,8	1,5	0,2	1,2	0,3
Aranei + Opiliones	7,8	0,01	0,3	0,6	0,9	0,3
Общее разнообразие	0,2	0,7	1,1	0,3	0,1	0,8

на участках с различным сочетанием факторов урбанизации и рекреации (экз./5 лов.-сут ± ошибка, n = 3)

2011 г.							
I Тип				II Тип			
У-Р-	У-Р+	У+Р-	У+Р+	У-Р-	У-Р+	У+Р-	У+Р+
герпетобионтов							
2,3±1,1	5,1±0,7	10,3±3,2	12,0±2,3	0,9±0,1	0,7±0,3	5,5±1,2	1,3±0,1
1,6±0,3	1,8±0,7	3,3±0,2	5,9±2,0	1,4±0,2	2,1±0,5	10,1±1,1	11,8±2,5
3,1±0,2	4,0±0,2	0,6±0,1	0,7±0,3	2,4±0,9	1,4±0,3	8,0±2,1	13,4±4,5
0,8±0,4	0,6±0,2	0,1±0,1	0,1±0,1	0,5±0,3	5,0±1,1	0,3±0,1	0,6±0,1
позвоночные							
0	0	0	0	0	0	0	0
1,0±0,5	1,0±0,0	0,5±0,4	0,3±0,3	0	0,3±0,3	1,0±0,5	1,4±0,2
3,3±0,5	4,0±1,7	1,0±0,4	4,6±1,1	3,9±0,6	4,6±0,4	5,0±0,5	4,7±1,1
0	1,5±0,7	0,3±0,3	0	0,8±0,3	0,3±0,3	2,4±2,0	1,3±0,3
0,1±0,1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0,1±0,1
0,7±0,3	0,5±0,4	0	0	0	0	0	0,3±0,3
0,1±0,1	0	0,2±0,1	0,1±0,1	0,6±0,1	1,1±0,8	1,9±0,3	2,0±0,3
0	0	0	0	0	0	0,1±0,1	0
0,7±0,3	0	0	0	0	0,3±0,3	0	0
0,8±0,4	0,7±0,3	1,6±0,2	0,7±0,5	0	1,0±0,0	1,7±0,3	1,0±0,4
8,1±3,3	4,0±0,0	2,6±0,5	1,7±1,0	4,7±0,3	2,3±1,5	1,0±0,5	1,7±0,3
22,6±2,4	23,1±2,4	20,5±4,1	25,9±4,9	15,1±1,4	19,3±1,3	37,2±1,0	39,9±2,3

чинки, Homoptera, Neuroptera, Thysanoptera, Mecoptera, Hymenoptera).

$F_{(1:32)} = 84,9, p < 0,001; F_{(1:32)} = 33,3, p < 0,001$, а воздействие рекреации незначимо (см. табл. 2).

Изменение обилия отдельных таксонов под действием рассматриваемых факторов приводит к перестройке структуры населения герпетобионтов: на городских территориях увеличивается доля Carabidae и Staphylinidae при уменьшении доли Aranei (рис. 2). Доля Opiliones примерно одинакова на всех исследуемых участках, за исключением участка У-Р+, где она почти в два раза выше. Доля прочих герпетобионтных беспозвоночных (малочисленные таксоны) снижается на территории города примерно в 2 раза.

Изменение разнообразия герпетобионтов.

Ядро герпетобионтного комплекса включает 92 вида: 27 видов Carabidae, 29 – Staphylinidae, 33 – Aranei и 3 – Opiliones (табл. 3). Суммарное число видов этих четырех таксонов сопоставимо на всех участках, однако интерполированное число видов значитель-

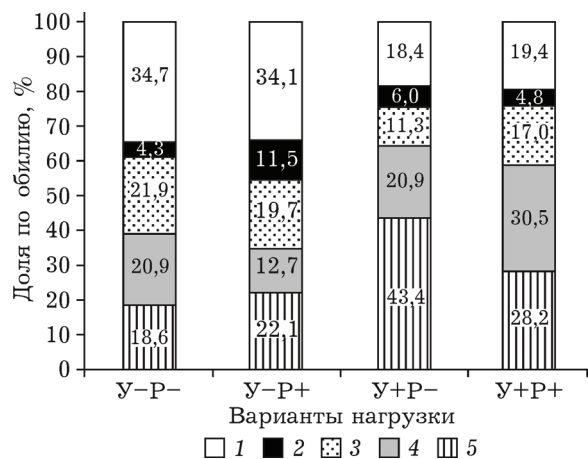


Рис. 2. Структура населения герпетобионтных беспозвоночных по обилию на участках с различным сочетанием урбанизации и рекреации. Группы: 1 – прочие беспозвоночные (без учета случайных, см. табл. 1), 2 – сенокосцы, 3 – пауки, 4 – стафилиниды, 5 – жуужелицы

Показатели видового разнообразия модельных групп беспозвоночных-герпетобионтов на участках с различным сочетанием факторов урбанизации и рекреации

Таксон	Показатели разнообразия	Варианты сочетания двух факторов			
		У-Р-	У-Р+	У+Р-	У+Р+
Carabidae (27 видов)	<i>N</i>	77	117	438	254
	<i>S</i>	13	9	16	15
	<i>S/n_{min}</i>	12,8	6,8	10,5	9,9
	<i>H'</i>	1,27 ± 0,25	0,94 ± 0,11	1,94 ± 0,05	1,59 ± 0,09
	<i>B-P</i>	0,60 ± 0,09	0,67 ± 0,06	0,29 ± 0,04	0,41 ± 0,05
Staphylinidae (29 видов)	<i>N</i>	87	57	122	221
	<i>S</i>	15	14	11	16
	<i>S/n_{min}</i>	12,0	13,8	9,0	9,8
	<i>H'</i>	1,42 ± 0,33	1,71 ± 0,17	1,50 ± 0,13	1,70 ± 0,10
	<i>B-P</i>	0,55 ± 0,10	0,37 ± 0,06	0,47 ± 0,10	0,37 ± 0,04
Aranei + Opiliones (36 видов)	<i>N</i>	35	70	63	60
	<i>S</i>	19	21	11	13
	<i>S/n_{min}</i>	19,0	14,6	8,5	10,1
	<i>H'</i>	1,95 ± 0,29	2,04 ± 0,23	1,30 ± 0,14	1,37 ± 0,30
	<i>B-P</i>	0,21 ± 0,04	0,32 ± 0,05	0,58 ± 0,06	0,52 ± 0,16
Суммарно (92 вида)	<i>N</i>	199	244	623	535
	<i>S</i>	47	44	38	44
	<i>S/n_{min}</i>	46,5	39,1	26,7	29,7
	<i>H'</i>	2,48 ± 0,13	2,46 ± 0,14	2,58 ± 0,06	2,53 ± 0,08
	<i>B-P</i>	0,28 ± 0,03	0,32 ± 0,07	0,21 ± 0,03	0,20 ± 0,02

Примечание. *N* – количество особей на участок, *S* – количество видов на участок, *S/n_{min}* – интерполированное количество видов (объяснение расчетов – в методике), *H'* – индекс Шеннона ($n = 3$), *B-P* – индекс Бергера – Паркера ($n = 3$).

но ниже в черте города, чем за городом, причем снижение под действием урбанизации наиболее выражено у пауков и сенокосцев. Видовое богатство стафилинид в городских лесопарках также снижается по сравнению с загородными лесами при пересчете на одинаковое число особей. Число видов жуужелиц зависит от рекреационной нагрузки. Влияние рекреации наиболее заметно за городом и выражается в снижении видового богатства.

Значимое влияние двух антропогенных факторов на разнообразие (индекс Шеннона) прослеживается только на уровне отдельных таксонов (см. табл. 2). Так, разнообразие жуужелиц в черте города выше, чем за городом, а степень доминирования на городских участках снижается (см. табл. 2, 3). На рекреационных участках леса по сравнению с редко посещаемыми, как в черте города, так и за его пределами, разнообразие жуужелиц ста-

новится меньше. Показатели разнообразия стафилинид слабо меняются в зависимости от сочетания исследуемых факторов. Совокупное разнообразие пауков и сенокосцев в условиях города заметно снижается, а индекс доминирования увеличивается. Рекреационная нагрузка не влияет на их разнообразие (см. табл. 2, 3). Максимальное значение индекса Шеннона для паукообразных отмечено на участке У-Р+. Для насекомых самые высокие его значения отмечены на антропогенно нарушенных участках: у жуужелиц – это У+Р-, у стафилинид – У-Р+. Примечательно, что в городских лесах происходит выравнивание значений индекса Шеннона между всеми рассматриваемыми таксонами, что особенно заметно на участке У+Р+.

Выявленное увеличение обилия герпетобионтных членистоногих в городских лесах по сравнению с загородными участками происходит в основном за счет представителей че-

тырех наиболее многочисленных таксонов, в особенности жужелиц. Причинами повышения обилия могут быть благоприятный микроклимат и богатая кормовая база. В исследованных городских лесопарках отмечается высокое проективное покрытие подлеска и кустарникового яруса по сравнению с загородными участками леса, что связано с распространением заносных или интродуцированных видов листовых растений. Это приводит к увеличению и стабилизации влажности воздуха в приземном слое. В свою очередь, в лесную подстилку попадает легко разлагающийся листовой опад и, как следствие, усиливаются процессы нитрификации почвы [Золотарёва и др., 2012], что благоприятно для дождевых червей [McDonnell et al., 1997]. На городских участках отмечено высокое обилие почвенной мезофауны, в том числе энхитрид, косянок, моллюсков и клещей [Ермаков, Воробейчик, 2013] – кормовых объектов жужелиц и других хищных беспозвоночных.

Повышение обилия – одна из возможных, но редко упоминаемых в литературе реакций герпетобионтов на урбанизацию. Так, более высокие значения динамической плотности жужелиц в городе по сравнению с загородной территорией зарегистрированы в Канаде. Однако в данном случае более высокое обилие жужелиц в городских биотопах определялось единственным массовым видом – *Pterostichus melanarius* (Illiger) [Niemelä et al., 2002]. В других исследованиях отмечено либо отсутствие реакции [Alaruikka et al., 2002; Elek, Lövei, 2007], либо снижение обилия в городе по сравнению с загородной территорией [Ishitani et al., 2003; Gaublonne et al., 2008]. Различия в видовом составе и структуре доминирования населения жужелиц в разных районах исследования могут быть одной из причин разнонаправленных реакций на урбанизацию.

Урбанизация влияет и на показатели разнообразия герпетобионтов. Видовое богатство паукообразных и стафилинид в черте города снижается по сравнению с загородными лесами, тогда как влияние урбанизации на видовое богатство жужелиц неоднозначно и зависит от интенсивности рекреационной нагрузки на сравниваемых городских и загородных участках леса. Другие авторы отмечали

либо отсутствие влияния урбанизации на видовое богатство паукообразных и стафилинид [Alaruikka et al., 2002; Deichsel, 2006], либо увеличение количества видов в черте города [Magura et al., 2010]. Для жужелиц отмечено как снижение видового богатства по сравнению с загородной зоной [Niemelä et al., 2002; Ishitani et al., 2003], так и отсутствие различий [Alaruikka et al., 2002; Deichsel, 2006; Elek, Lövei, 2007]. Изменение индекса Шеннона у жужелиц и паукообразных под действием урбанизации в нашем исследовании разнонаправленно: разнообразие жужелиц на городских участках увеличивается, а паукообразных – снижается. Это означает, что сообщества жужелиц в городских лесопарках становятся более выравненными по сравнению с загородными лесами, тогда как у пауков, наоборот, степень доминирования отдельных видов увеличивается. Отмеченное нами сходство индекса Шеннона для рассматриваемых таксонов в городской черте обусловлено более интенсивным изменением количества особей по сравнению с количеством видов. По данным других исследований жужелицы и пауки демонстрируют одинаковую реакцию: их разнообразие под воздействием урбанизации снижается [Gibb, Hochuli, 2002; Бабенко, Еремеева, 2007]. Очевидно, эффекты урбанизации определяются структурой фоновых сообществ, состоящих из видов с разными экологическими требованиями, и условиями конкретного города. Поэтому влияние урбанизации эффективнее анализировать на уровне экологических групп, но это не входило в задачи данной работы.

Определение вклада рекреации в изменение обилия герпетобионтов относительно других факторов урбанизации выявило ее незначительную роль. Из четырех рассмотренных таксонов только пауки и жужелицы явно реагировали на этот фактор. Влияние рекреации на разнообразие герпетобионтов еще менее выражено. Только у жужелиц отмечено снижение разнообразия под воздействием рекреации. В целом, общее разнообразие четырех таксонов, составляющих ядро герпетобионтного комплекса, остается относительно стабильным на всех исследуемых участках. Эти результаты хорошо согласуются с данными других исследований. Так, снижение разнообразия жужелиц под воздействи-

ем рекреации отмечала О. В. Семенова [2008] в лесопарках Нижнего Тагила (Средний Урал). В сосняках Московской обл. на численность жесткокрылых рекреация не влияла, изменяя главным образом видовой состав и экологическую структуру населения [Грюнталь, 1987]. Причиной слабых эффектов рекреации в нашем исследовании, как и в случае с почвенной мезофауной [Ермаков, Воробейчик, 2013], может быть специфика посещаемости загородных и городских лесов на Среднем Урале. В период повышенной активности клещей – переносчиков опасных заболеваний (с мая по июнь), посещаемость загородных лесов и городских лесопарков ограничена, и люди передвигаются преимущественно по тропинкам. Это существенно снижает степень вытаптывания, отрицательно воздействующего на почвенных беспозвоночных. Показатели плотности почвы вне дорожно-тропиночной сети оказались сравнимыми на всех четырех участках [Веселкин, Кайгородова, 2013]. Это способствует сохранению условий для успешного размножения и питания герпето- и стратобионтов в городских лесопарках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В естественных сосновых лесах г. Екатеринбурга выявлены как положительные (увеличение обилия), так и отрицательные (снижение видового разнообразия) эффекты воздействия урбанизации на герпетобионтных беспозвоночных. Увеличение обилия – общая для наиболее многочисленных таксонов (Carabidae, Staphylinidae, Aranei, Opiliones) реакция на урбанизацию. Изменение видового разнообразия под воздействием урбанизации у разных таксонов герпетобионтных беспозвоночных может происходить по-разному: видовое богатство паукообразных и стафилинид в городских лесах снижается, причем сообщества паукообразных становятся менее выравненными; у жужелиц, наряду с уменьшением видового богатства на участках городского леса, происходит увеличение выравненности населения. Для выяснения причин различий реакций на урбанизацию необходим дальнейший анализ экологической структуры населения герпетобионтов.

Наше исследование указывает также на то, что уровень рекреационной нагрузки на обследованных участках не достиг критического значения, о чем свидетельствуют слабые эффекты влияния рекреации на герпетобионтов по сравнению с прочими факторами урбанизации.

Авторы благодарят сотрудников Института экологии растений и животных Т. К. Туневу за участие в определении материала, В. С. Микрюкова за помощь в статистической его обработке, Е. В. Воробейчика и Е. А. Бельского за консультации, ценные советы и замечания в процессе написания статьи. Работа завершена при поддержке Президиума УрО РАН (проект № 12-И-4-2057).

ЛИТЕРАТУРА

- Бабенко А. С., Еремеева Н. И. Особенности населения жужелиц урбанизированных территорий в условиях сибирских городов // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2007. № 1. С. 5–17.
- Веселкин Д. В., Кайгородова С. Ю. Связь между агрохимическими свойствами почв урбанизированных лесов и строением эндомикориз сосны обыкновенной // Агрехимия. 2013. № 11. С. 63–71.
- Ермаков А. И., Воробейчик Е. В. Почвенная мезофауна лесных экосистем в условиях крупного промышленного города // Евраз. энтомол. журн. 2013. № 5.
- Галиновский Р. Г., Александрович О. Р. Сравнительный анализ фаунистических особенностей жужелиц (Coleoptera, Carabidae) из урбоценозов с различной степенью антропогенной нагрузки // Актуальные вопросы современной науки. Минск, 2004. Ч. 1. С. 141–144.
- Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2011 г.” Екатеринбург, 2012. 350 с.
- Грюнталь С. Ю. Влияние рекреационного лесопользования на почвенное население сосняков // Природные аспекты рекреационного использования леса. М.: Наука, 1987. С. 137–141.
- Золотарева Н. В., Подгаевская Е. Н., Шавнин С. А. Изменение структуры напочвенного покрова сосновых лесов в условиях крупного промышленного города // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2012. № 5(37). С. 218–221.
- Клауснитцер Б. Экология городской фауны / пер. с нем. И. В. Орловой, И. М. Маровой. М.: Мир, 1990. 248 с.
- Семенова О. В. Экология жужелиц в промышленном городе // Экология. 2008. № 6. С. 468–474.
- Стурман В. И. Природные и техногенные факторы загрязнения атмосферного воздуха российских городов // Вестн. Удмурт. ун-та. Биология. Науки о земле. 2008. Вып. 2. С. 15–29.
- Суходольская Р. А., Тимофеева Г. А., Хабибуллина Н. Р. Фауна и популяционные характеристики жужелиц г. Казани // Учен. зап. Каз. гос. ун-та. Естественные науки. Казань: Каз. гос. ун-т, 2009. Т. 151, кн. 2. С. 145–150.

- Шавнин С. А., Галако В. А., Власенко В. Э. Пространственная структура лесных экосистем урбанизированных территорий как показатель их устойчивости // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2011. Т. 1, № 29-1. С. 12–16.
- Alaruikka D., Kotze D. J., Matveinen K., Niemelä J. Carabid beetle and spider assemblages along a forested urban-rural gradient in southern Finland // *J. of Insect Conserv.* 2002. Vol.6. P. 195–206.
- Deichsel R. Species change in an urban setting-ground and rove beetles (Coleoptera: Carabidae and Staphylinidae) in Berlin // *Urban Ecosyst.* 2006. Vol. 9. P. 161–178.
- Elek Z., Lövei G. L. Patterns in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages along an urbanisation gradient in Denmark // *Acta Oecol.* 2007. Vol. 32. P. 104–111.
- Gaublomme E. et al. The effects of forest patch size and matrix type on changes in carabid beetle assemblages in an urbanized landscape // *Biol. conservation.* 2008. Vol. 141. P. 2585–2596.
- Gibb H., Hochuli D. F. Habitat fragmentation in an urban environment: large and small fragments support different arthropod assemblages // *Ibid.* 2002. Vol. 106. P. 91–100.
- Ishitani M., Kotze D. J., Niemelä J. Changes in carabid beetle assemblages across an urban-rural gradient in Japan // *Ecography.* 2003. Vol. 26. P. 481–489.
- Lehvävirta S., Kotze D. J., Niemela J. et al. Effects of fragmentation and trampling on carabid beetle assemblages in urban woodlands in Helsinki, Finland // *Urban Ecosyst.* 2006. Vol. 9. P. 13–26.
- Long J. S., Ervin L. H. Using heteroscedasticity consistent standard errors in the linear regression model // *American Statistician.* 2000. Vol. 54. P. 217–224.
- Magura T., Horváth R., Tóthmérész B. Effects of urbanization on ground-dwelling spiders in forest patches, in Hungary // *Landscape Ecol.* 2010. Vol. 25. P. 621–629.
- Mcdonnell M. J., Pickett S. T. A., Groffman P. et al. Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient // *Urban Ecosystems.* 1997. Vol. 1. P. 21–36.
- Niemelä J., Kotze D. J., Venn S. et al. Carabid beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) across urban-rural gradients: an international comparison // *Landscape Ecol.* 2002. Vol. 17. P. 387–401.
- Niemelä J., Kotze D. J. Carabid beetle assemblages along urban to rural gradients: a review // *Landscape and Urban Planning.* 2009. Vol. 92. P. 65–71.
- Sattler T., Obrist M. K., Duelli P., Moretti M. Urban arthropod communities: Added value or just a blend of surrounding biodiversity? // *Ibid.* 2011. Vol. 103. P. 347–361.
- Shochat E., Stefanov W. L., Whitehouse M. E. A., Faeth S. H. Urbanization and spider diversity: influences of human modification of habitat structure and productivity // *Ecol. Appl.* 2004. Vol. 14, N 1. P. 268–280.
- Varet M., Petillon J., Burel F. Comparative responses of spider and carabid beetle assemblages along an urban-rural boundary gradient // *J. of Arachnol.* 2011. Vol. 39, N 2. P. 236–243.

Ground-Dwelling Invertebrates in a Large Industrial City: Differentiation of Recreation and Urbanization Effects

M. P. ZOLOTAREV, E. A. BELSKAYA

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

Communities of ground-dwelling invertebrates of natural pine forests in and around Yekaterinburg were studied. The two main factors were taken into account while comparing different forest sites: urbanization (mainly air pollution) and recreation (frequency of visits by people). The activity density of the taxa most abundant in specimens and species (ground and rove beetles, spiders and harvestmen) increased in urban forests as compared to the suburban sites. Different taxa experienced different changes in species diversity due to urbanization. Decrease in species richness in the city was accompanied by the increased dominance among arachnids and the decreased dominance among ground beetles. The evenness of the rove beetles' population structure in the urban sites was the same as in the suburban sites. The impact of recreation on ground-dwelling invertebrates was relatively low as compared to urbanization. The effects of recreation were significant in ground beetles (decreased abundance and species richness under severe impact of recreation) and arachnids (increased abundance).

Key words: urbanization, recreation, ground-dwelling invertebrates, ground beetles, rove beetles, spiders, harvestmen.