

УДК 631.4:504.5(1-21)

СОСТОЯНИЕ СООБЩЕСТВА МЕЗОПЕДОБИОНТОВ В МОСКОВСКИХ ЛЕСОПАРКАХ КАК ИНДИКАТОР РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ И ФОРМИРОВАНИЯ ИМПАКТНЫХ ЗОН ВДОЛЬ ТРОПИНОК

В.А. Кузнецов, Г.В. Стома, К.С. Бодров

В крупных московских лесопарках на территориях, не подверженных прямому воздействию человека, сохраняются характеристики мезопедобионтов природных лесов. Под влиянием рекреационной нагрузки снижается численность, биомасса и разнообразие почвенных беспозвоночных на удалении 50—100 см и более от тропинок, а степень их выраженности определяет уровень изменений и ширину импактной зоны. По сравнению со свойствами почв мезопедобионты — более чувствительный и информативный индикатор на рекреацию, при мониторинге последствий которой особенно показателна диагностика по разнообразию мезофауны.

Ключевые слова: городские лесопарки, уровень рекреации, устойчивость экосистем, почвенные беспозвоночные.

Введение

Животное население выполняет важную роль в жизни почвы: улучшает ее физические свойства, определяет темпы деструкции и направление трансформации органических остатков, регулирует численность патогенных микроорганизмов и вредителей растений, выступает чувствительным индикатором экологического состояния. Антропогенная деятельность в условиях города влияет на все компоненты природной среды, а ее вид и интенсивность определяют уровень и пространственный масштаб изменений. Отмечаемое существенное преобразование почв способствует нарушению естественной и созданию новой среды обитания мезопедобионтов [9, 13].

Фауна городских почв по сравнению с естественными представляет обедненный групповой и видовой состав с деградацией профильного распределения. Однако количество обитающих в почве животных может широко варьировать, достигая высокой численности в монодоминантных сообществах [10, 12].

Лесопарки по сравнению с другими элементарными городскими ландшафтами испытывают наименьшее непосредственное влияние человека, которое проявляется в основном в виде рекреации. Сформированная дорожно-тропиночная сеть нарушает целостность лесных биогеоценозов (БГЦ), пространственную континуальность травяного покрова, подстилки и почв, приводя к изменениям в популяциях почвенных беспозвоночных [14, 17, 19—21]. Прямое влияние данного вида антропогенного воздействия выражается в механическом уничтожении мезопедобионтов, а опосредованное — в преобразовании их экологических ниш (сокращение жизненного пространства, кормовая база, степень мобильности) [6, 8].

В зависимости от уровня рекреационной нагрузки численность и биомасса почвенных беспозвоночных снижается в 2—20 раз; отклик на нее разных

видов неодинаков: наряду с определенными сукцессионными изменениями биоразнообразие в целом падает. Например, в почвах лесопарков по мере увеличения степени нагрузки отмечается возрастание доли дождевых червей (до 65%) и насекомых (до 50%) [6, 10, 11]. Большая часть исследований по данному вопросу посвящена состоянию мезопедобионтов на объектах с различной степенью дигрессии биогеоценоза или непосредственно на тропиночной сети [5, 8, 16]. Недоучет свойств почв и характеристик биоты на участках, примыкающих к тропинкам, по площади которых обычно и оцениваются стадии дигрессии БГЦ, не позволяет в полной мере представить все аспекты пространственной неоднородности этих природных компонентов в рекреационных лесах.

Для решения проблемы целесообразно применение методического подхода и экспериментальной схемы исследований, предложенных Е.Л. Воробейчиком и М.В. Козловым [1]. Используемое ими понятие «импактный регион», представляющий собой специфическую пространственную структуру градиентной природы, состоящую из участков с разным уровнем внешнего влияния и разной степенью трансформации экосистемы относительно источника воздействия, нами было заменено на линейную «импактную зону», расположенную вдоль тропинок.

Цель работы — оценка возможности использования почвенных беспозвоночных для определения пространственного масштаба воздействия рекреации при разных уровнях ее нагрузки.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили два крупнейших лесопарка Москвы: «Лосиный остров» и «Битцевский лес». В однотипных геоморфологических условиях выбрано по три площадки с каждым из типов тропинок (слабо-, средне- и хорошо выражен-

ные), которые диагностировались по ширине (до 50, 50–60 и 80–110 см) и проективному покрытию живого напочвенного покрова (15–20, 5–10 и менее 5%) [14]. От тропинок в глубь сопредельной территории заложено по три трансекты, где непосредственно на тропинке и в ее импактных зонах (на расстоянии 20, 50 и 100 см) проводились исследования в июне–июле 2012 г.

За условный фон приняты территории с низкой стадией дигрессии БГЦ, т.е. со слабым развитием тропиной сети и состоянием растительности, условно-типичным для естественных лесов. В «Лосином острове» под осоково-снытьевыми липняками и елово-липовым лесом сформированы крайне мелкие дерново-подзолистые глубокоосветленные легкосуглинистые (опесчаненные) почвы на покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциальными отложениями. В «Битцевском лесу» под осоково-разнотравными липняками развиты мелкие дерново-подзолистые неглубокоосветленные легкосуглинистые (пылеватые) почвы на покровных суглинках, подстилаемых мореной.

Учет численности, биомассы и группового состава почвенных беспозвоночных осуществляли в 3-кратной повторности методом ручной разборки монолитов площадью 1/16 м² послойно: подстилка, 0–10, 10–20 см [4, 7]. Разнообразие и доминирование мезопедобионтов оценивали индексами Шеннона и Симпсона [3]. Всего проанализировано 220 проб. Одновременно в 10-кратной повторности по общепринятым методикам [2, 15] определяли свойства почв: влажность, плотность сложения, рН_{вод}, содержание С_{орг}, а также запасы подстилки. Обработку результатов проводили в программе STATISTICA 10.

Результаты и их обсуждение

Особенности почвенной биоты условно-эталонных участков городских лесопарков. В почвах, не испыты-

вающих прямой рекреационной нагрузки, суммарная (подстилка, минеральные горизонты) плотность и биомасса мезофауны в обоих лесопарках практически идентичны (430–490 экз/м² и 140–160 г/м²) (рис. 1, 2; табл. 1). Аналогичные сведения в ненарушенных и слабонарушенных городских лесных БГЦ приводятся другими исследователями [10, 12]. Почвенные беспозвоночные наиболее обильны в подстилке и в слое 0–10 см (примерно по 40–50%), здесь же сосредоточена и основная часть их биомассы. Деятельность мезофауны в нижней части исследуемой толщи почв лимитируется различными факторами, а ее доля от общей численности не превышает 10%. В «Битцевском лесу» по сравнению с «Лосиным островом» фиксируется более высокая плотность и биомасса почвообитающих животных.

На изучаемых объектах выявлено 6 классов мезопедобионтов, среди которых определено 18 систематических групп (табл. 1).

Доминантами являются дождевые черви (25–30%), а доли особей котянок, мокриц, пауков и жуужелиц составляют приблизительно по 10%. В почвах «Лосиного острова» единично фиксируются равнокрылые, пластинчатоусые и сидячебрюхие (перепончатокрылые), отсутствующие в «Битцевском лесу».

Установлено, что на условно-фоновых участках исследуемых лесопарков состав почвенных беспозвоночных примерно одинаков: число систематических групп составляет 13–15, индекс разнообразия Шеннона (*H*) относительно высок (3,36–3,47), а индекс доминантности Симпсона — мал (0,11–0,13). Для этих территорий в целом характерны мезопедобионты всех типов питания (табл. 1, 2).

Отсутствие значительных различий в численности, биомассе и составе почвенных беспозвоночных обеспечивается довольно схожими условиями их среды обитания, связанными со свойствами почв (табл. 3).

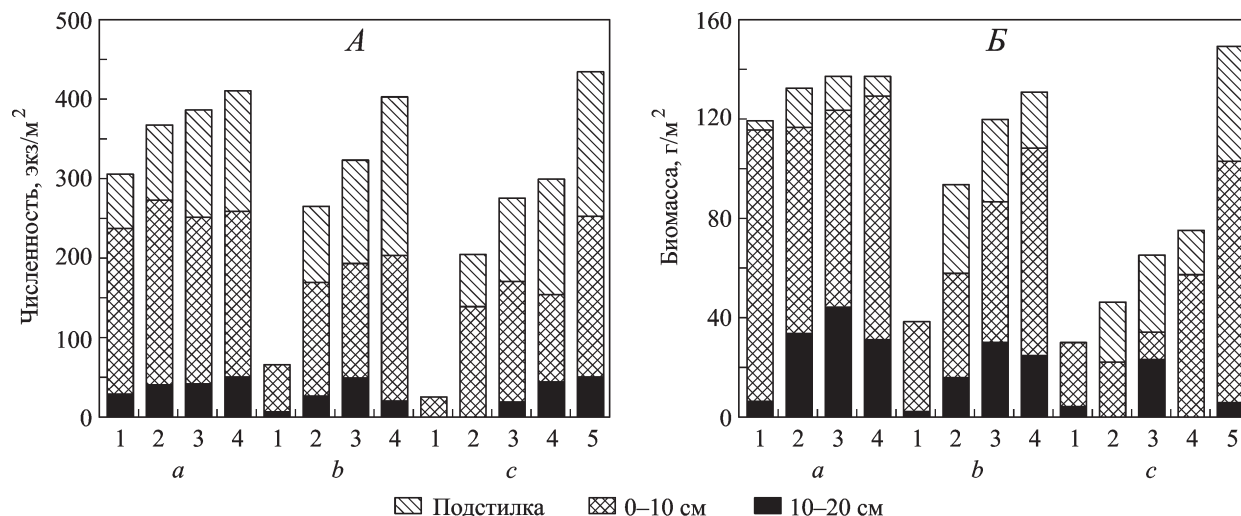


Рис. 1. Численность (А) и величина (Б) биомассы мезофауны в почвах лесопарка «Лосиный остров» ($n = 3$). Тип тропинки: а — слабовыраженная, б — средневывраженная, в — хорошо выраженная. Положение по градиенту от рекреационного образования: 1 — на тропинке; 2, 3, 4 — при удалении от тропинки на 20, 50, 100 см соответственно; 5 — фон (здесь и на рис. 2)

Состав и обилие (экз/м²) мезофауны в почвах лесопарков (среднее из $n = 3$)

Объект, групповой состав	Тип тропинки												Тип тропинки												Ф																						
	А				В				С				А				В				С																										
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV																											
«Лосинный остров»																								«Битцевский лес»																							
Подстилка																																															
1 1 Lumbricidae (дождевые черви)	s	16	—	—	8	—	—	—	8	—	—	—	—	—	8	—	—	—	8	—	—	—	8	—	—	—	—	—																			
2 2 Aganea (пауки)	z	—	—	24	8	—	16	16	16	—	—	16	—	—	8	—	24	16	—	48	—	—	—	—	—	16	24	—																			
2 2 Opiliones (сенокосцы)	z	—	—	16	8	—	32	16	—	—	8	16	16	—	—	16	—	—	16	32	—	—	24	64	—	—	—	—																			
3 3 Diplopoda (двупарноногие)	s	—	—	—	16	—	—	—	—	—	—	8	16	24	—	—	16	16	—	16	8	—	—	—	—	—	24	—																			
3 3 Geophilidae (геофилы)	z	—	—	32	—	—	—	—	—	—	16	—	—	—	—	—	—	—	16	—	8	—	8	16	—	8	—	—																			
3 3 Lithobiidae (косянки)	z	—	16	16	32	—	8	—	24	—	16	32	16	16	—	—	8	—	16	—	8	—	—	—	—	—	24	—																			
4 4 Прочие жуки Coleoptera (жесткокрылые)	z	—	—	—	8	—	16	16	—	—	—	—	—	—	8	—	16	16	—	16	—	—	—	—	—	8	16	—																			
4 4 Carabidae (жужелицы)	zs	—	—	—	8	—	16	16	16	—	16	32	8	—	—	16	—	—	16	—	8	—	16	—	—	—	16	—																			
4 4 Curculionidae (долгоносики)	fs	—	—	—	16	—	8	16	16	—	—	—	—	—	16	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	—																			
4 4 Diptera (двукрылые; личинки)	fs	16	16	16	—	—	8	—	24	—	—	—	8	—	—	—	16	16	8	8	8	24	32	—	24	16	16	—																			
4 4 Elateridae (щелкуны)	fz	16	—	—	—	—	8	16	32	—	16	—	8	—	—	—	16	—	—	—	8	—	—	—	—	—	16	—																			
4 4 Homoptera (равнокрылые)	f	—	—	—	—	—	—	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																			
4 4 Lepidoptera (чешуекрылые)	fs	—	16	—	8	—	8	—	16	—	—	—	8	—	—	16	—	—	16	—	—	8	—	—	—	—	—	—																			
4 4 Scarabaeidae (пластинчатогусы)	fms	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																			
4 4 Staphilinidae (стафилины)	zns	16	16	16	8	—	16	—	16	—	—	8	8	—	—	8	—	16	—	—	16	—	—	—	—	—	8	—																			
4 4 Symphyla (сидячебрюхие)	f	—	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																			
5 5 Oniscoidae (мокрицы)	s	—	—	—	16	—	—	—	—	—	16	16	32	16	—	—	32	48	24	—	16	8	32	—	24	16	24	—																			
6 6 Gastropoda (брюхоногие)	sf	—	16	16	16	—	8	—	—	—	—	—	—	—	8	—	16	16	—	8	8	32	—	8	16	32	16	—																			
Слой 0—10 см																																															
1 1 Lumbricidae (дождевые черви)	s	240	144	112	96	40	96	64	96	64	96	24	64	96	24	96	184	128	208	112	88	64	96	80	16	48	—	16	96																		
2 2 Aganea (пауки)	z	—	—	—	8	—	—	—	16	—	—	—	16	—	—	—	—	—	—	16	8	16	24	32	—	—	—	16	—																		
2 2 Opiliones (сенокосцы)	z	—	—	—	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																		

Окончание табл. 1

Объект, групповой состав	Тип тропинки												Тип тропинки												Ф		
	A				B				C				A				B				C						
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV			
	«Лосинный остров»												«Битцевский лес»														
	Ф												Ф														
3 Geophilidae (геофилы)	z	—	—	16	16	—	—	8	—	—	—	—	24	16	24	16	16	8	8	32	16	—	—	8	16		
3 Diploroda (двупарноногие)	s	—	—	16	—	—	16	24	—	—	—	—	16	—	16	8	—	16	8	—	8	16	—	—	16		
3 Lithobiidae (костянки)	z	—	—	—	—	16	—	8	16	—	—	—	—	—	24	8	16	16	8	—	8	—	—	16	16		
4 Прочие жуки Coleoptera (жесткокрылые)	z	—	8	16	—	—	—	—	—	—	16	—	—	—	—	—	—	16	8	—	8	—	—	—	16		
4 Carabidae (жужелицы)	zs	—	40	32	—	—	—	—	16	—	24	—	32	—	16	8	—	8	16	8	—	—	—	16	8		
4 Curculionidae (долгоносики)	fs	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—		
4 Diptera (двукрылые; личинки)	fs	—	24	—	8	—	—	16	—	—	16	16	8	8	—	—	16	—	—	16	—	—	32	32	16		
4 Elateridae (щелкуны)	fz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	—	16	8	16	16	—	—	8	16		
4 Lepidoptera (чешуекрылые)	fs	—	—	8	16	—	—	—	—	—	16	8	—	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
4 Scarabaeidae (пластинчатогусые)	fms	—	8	8	—	—	32	—	—	—	—	16	—	16	—	32	8	—	8	—	8	16	—	16	8		
4 Staphilinidae (стафилиниды)	zns	—	8	—	8	—	—	24	8	—	—	—	8	8	—	—	—	8	8	16	—	—	—	—	—		
5 Oniscoidae (мокрицы)	s	—	—	—	16	—	—	—	32	—	—	—	—	16	—	16	—	16	16	8	—	—	—	16	16		
6 Gastropoda (брюхоногие)	sf	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	16	8	—	—	—	—	—	—	16	8		
Слой 10—20 см																											
1 Lumbricidae (дождевые черви)	s	—	16	24	32	8	24	48	16	—	—	16	40	32	—	24	—	16	8	40	8	16	—	40	8	16	
3 Diploroda (двупарноногие)	s	—	8	8	8	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	8	
3 Geophilidae (геофилы)	z	—	16	8	8	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	8	8	
3 Lithobiidae (костянки)	z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	8	8	
Сумма:		304	368	384	408	64	264	320	400	24	200	272	296	432	336	344	448	472	320	248	176	432	64	80	208	296	488

Примечание. Тип тропинки: А — слабовыраженная, В — средневыраженная, С — хорошо выраженная. Ф — фоновые участки. Римские цифры — положение по градиенту от тропинки: I — на тропинке; II, III, IV — на удалении от нее в 20, 50, 100 см соответственно. Арабские цифры в боковике таблицы — классы почвенных беспозвоночных: 1 — малощетинковые черви (Oligochaeta), 2 — паукообразные (Arachnida), 3 — многоножки (Mugilopoda), 4 — насекомые (Insecta), 5 — ракообразные (Stustacea), 6 — брюхоногие (Gastropoda). Латинские буквы — мезопедобионты по типу питания: f — фитофаги, p — некрофаги, s — сапрофаги, z — зоофаги. Прочерк — не встречены.

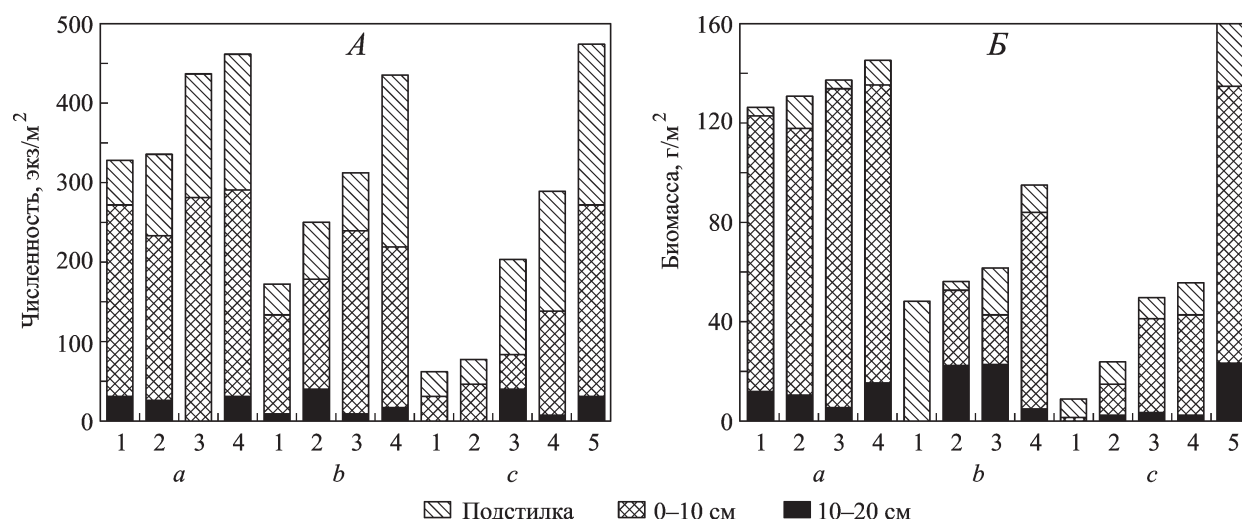


Рис. 2. Численность (А) и величина (Б) биомассы мезофауны в почвах лесопарка «Битцевский лес» ($n = 3$)

В частности, плотность сложения ($0,92\text{--}1,36\text{ г/см}^3$) и влажность ($11\text{--}12\%$) в слое $0\text{--}20\text{ см}$ в «Лосином острове» и «Битцевском лесу» ($1,01\text{--}1,23\text{ г/см}^3$ и $12\text{--}13\%$) оптимальны для роста и развития живых организмов в почвах соответствующего гранулометрического состава [15]. Некоторые особенности состояния мезофауны в лесопарках коррелируют с различиями других почвенных параметров. Более легкий гранулометрический состав, больший диапазон доступной влаги (на $1\text{--}2\%$), меньшее содержание органического углерода (на $0,6\%$), более кислая реакция среды (на $0,8$ единицы рН) в верхнем слое почв и более мощная подстилка (на 470 г/м^2), вероятно, и обуславливают меньшую численность, биомассу и специфику группового состава мезопедобионтов в «Лосином острове» по сравнению с «Битцевским лесом» (табл. 3).

Влияние рекреации на мезопедобионты. Сопоставление численности, величины биомассы, структурно-функциональной организации и профильного распределения почвообитающих животных фоновых

территорий с участками рекреационной нагрузки показало, что влияние последней прослеживается на расстоянии 50 и более 100 см от тропинок. Степень выраженности последних определяет уровень влияния и область импактной зоны (рис. 1, 2; табл. 1).

Численность и биомасса. Закономерности изменения обилия и биомассы почвенных обитателей в исследуемых парках одинаковы: от лесного массива ко всем типам тропинок прослежено их снижение. Чем шире и лучше выражена тропинка, тем более существенна разница между плотностью мезопедобионтов на самой тропинке и на фоновых участках (рис. 1, А; рис. 2, А). В лесопарке «Лосиный остров» по сравнению с «Битцевским лесом» в целом фиксируется более значительное падение численности мезофауны. Если на слабовыраженных тропинках оно примерно одинаково ($25\text{--}30\%$), то при средних рекреационных нагрузках составляет 85 и 64% , а при высоких — 94 и 86% соответственно.

Уровень выраженности процесса детерминирован свойствами почв, определяющими их устойчивость

Таблица 2

Разнообразие (индекс Шеннона) и доминирование (индекс Симпсона) комплекса почвенных беспозвоночных в исследуемых объектах

Объект	Тип тропинки												Фон
	слабовыраженная				средневыраженная				хорошовыраженная				
	Положение по градиенту от тропинки, см												
	тропа	20	50	100	тропа	20	50	100	тропа	20	50	100	
Индекс Шеннона													
«Лосиный остров»	0,88	2,82	3,11	3,28	0,81	2,78	3,20	3,25	0,00	2,81	2,93	3,13	3,36
«Битцевский лес»	2,08	2,71	2,76	3,39	2,07	2,75	2,82	3,40	1,50	1,77	2,82	3,07	3,47
Индекс Симпсона													
«Лосиный остров»	0,72	0,23	0,17	0,15	0,62	0,24	0,16	0,14	1,00	0,16	0,21	0,13	0,13
«Битцевский лес»	0,34	0,25	0,25	0,12	0,34	0,20	0,16	0,12	0,37	0,41	0,16	0,13	0,11

Т а б л и ц а 3

Оценка среднего и доверительный интервал свойств почв в слое 0—20 см ($n = 10$)

	Запасы подстилки, г/м²	Слой 0—10 см				Слой 10—20 см			
		плотность, г/см³	влажность, %	pH _{вод}	C _{орг} , %	плотность, г/см³	влажность, %	pH _{вод}	C _{орг} , %
«Лосиный остров»									
Слабовыраженная тропинка									
1	469 ± 76	1,07 ± 0,01	17 ± 0,96	5,03 ± 0,14	2,8 ± 0,25	1,33 ± 0,03	14 ± 0,7	4,28 ± 0,10	0,90 ± 0,13
2	1054 ± 214	1,02 ± 0,03	13 ± 1,7	4,83 ± 0,11	2,12 ± 0,18	1,37 ± 0,02	13 ± 0,3	4,86 ± 0,24	0,93 ± 0,25
3	1166 ± 272	0,98 ± 0,03	13 ± 0,7	4,61 ± 0,12	1,48 ± 0,22	1,35 ± 0,02	12 ± 0,1	4,45 ± 0,08	1,21 ± 0,
4	1959 ± 391	0,93 ± 0,02	11 ± 0,2	4,24 ± 0,02	1,33 ± 0,20	1,36 ± 0,01	12 ± 0,1	4,14 ± 0,04	0,97 ± 0,14
Средневыраженная тропинка									
1	689 ± 42	1,32 ± 0,03	25 ± 1,5	5,19 ± 0,09	3,23 ± 0,33	1,46 ± 0,04	15 ± 0,2	4,16 ± 0,10	1,06 ± 0,13
2	914 ± 55	1,25 ± 0,03	17 ± 1,1	4,85 ± 0,06	2,7 ± 0,32	1,44 ± 0,07	13 ± 0,2	4,52 ± 0,12	1,57 ± 0,18
3	994 ± 67	1,12 ± 0,03	17 ± 0,4	4,65 ± 0,05	2,32 ± 0,29	1,34 ± 0,04	13 ± 0,5	4,25 ± 0,06	1,03 ± 0,08
4	1271 ± 55	1,01 ± 0,04	15 ± 0,9	4,61 ± 0,05	2,08 ± 0,26	1,31 ± 0,03	13 ± 0,2	4,01 ± 0,03	0,82 ± 0,06
Хорошовыраженная тропинка									
1	557 ± 59	1,39 ± 0,03	27 ± 1,7	5,74 ± 0,06	3,08 ± 0,41	1,72 ± 0,02	13 ± 0,4	4,74 ± 0,11	0,48 ± 0,06
2	912 ± 103	1,16 ± 0,05	25 ± 0,7	5,14 ± 0,04	2,62 ± 0,18	1,62 ± 0,03	14 ± 0,4	4,41 ± 0,03	0,57 ± 0,01
3	966 ± 90	1,10 ± 0,05	21 ± 1,2	4,87 ± 0,08	1,58 ± 0,12	1,54 ± 0,02	15 ± 0,3	4,39 ± 0,10	0,97 ± 0,15
4	1117 ± 119	1,05 ± 0,02	20 ± 0,2	4,65 ± 0,03	1,42 ± 0,1	1,45 ± 0,07	16 ± 0,5	4,37 ± 0,04	0,78 ± 0,12
Фон									
	2065 ± 387	0,92 ± 0,02	11 ± 0,2	4,20 ± 0,02	1,32 ± 0,2	1,35 ± 0,01	12 ± 0,1	4,10 ± 0,04	0,96 ± 0,14
«Битцевский лес»									
Слабовыраженная тропинка									
1	675 ± 79	1,18 ± 0,04	19 ± 1,3	5,54 ± 0,05	2,48 ± 0,22	1,20 ± 0,02	14 ± 0,3	5,21 ± 0,16	1,89 ± 0,12
2	749 ± 77	1,14 ± 0,04	15 ± 1,3	5,41 ± 0,03	2,27 ± 0,13	1,22 ± 0,01	12 ± 0,2	4,9 ± 0,03	1,24 ± 0,06
3	783 ± 67	1,05 ± 0,03	15 ± 1,1	5,17 ± 0,08	2,19 ± 0,18	1,22 ± 0,01	12 ± 0,2	4,89 ± 0,01	1,23 ± 0,06
4	1531 ± 159	1,02 ± 0,03	13 ± 0,4	5,09 ± 0,02	1,97 ± 0,16	1,23 ± 0,01	12 ± 0,2	4,89 ± 0,05	0,98 ± 0,05
Средневыраженная тропинка									
1	636 ± 53	1,22 ± 0,04	18 ± 1,1	5,65 ± 0,03	3,33 ± 0,26	1,26 ± 0,01	13 ± 0,5	5,54 ± 0,10	0,99 ± 0,11
2	749 ± 81	1,13 ± 0,05	15 ± 0,8	5,59 ± 0,03	3,09 ± 0,08	1,15 ± 0,02	13 ± 0,3	5,34 ± 0,12	1,34 ± 0,10
3	840 ± 68	1,08 ± 0,04	14 ± 1,3	5,25 ± 0,05	2,35 ± 0,15	1,18 ± 0,01	12 ± 0,6	4,97 ± 0,05	1,34 ± 0,07
4	1304 ± 95	1,02 ± 0,04	12 ± 0,8	5,11 ± 0,07	2,11 ± 0,14	1,14 ± 0,01	10 ± 0,6	4,84 ± 0,03	1,07 ± 0,06
Хорошовыраженная тропинка									
1	563 ± 73	1,42 ± 0,03	20 ± 0,9	6,09 ± 0,05	3,76 ± 0,52	1,50 ± 0,01	15 ± 0,1	6,08 ± 0,21	0,97 ± 0,13
2	825 ± 107	1,22 ± 0,03	18 ± 0,8	5,59 ± 0,04	3,1 ± 0,29	1,23 ± 0,01	12 ± 0,1	5,46 ± 0,17	1,36 ± 0,10
3	967 ± 111	1,13 ± 0,03	16 ± 0,7	5,33 ± 0,05	2,96 ± 0,12	1,26 ± 0,005	12 ± 0,3	5,25 ± 0,14	1,24 ± 0,10
4	1127 ± 146	1,12 ± 0,02	15 ± 0,7	5,31 ± 0,03	2,67 ± 0,11	1,22 ± 0,003	11 ± 0,1	5 ± 0,08	0,99 ± 0,08
Фон									
	1535 ± 157	1,01 ± 0,03	13 ± 0,4	5,04 ± 0,02	1,95 ± 0,16	1,22 ± 0,01	12 ± 0,2	4,84 ± 0,05	0,97 ± 0,05

П р и м е ч а н и е. $1,22 \pm 0,03$ — среднее $\pm$ стандартная ошибка среднего (S_x). Доверительный интервал среднего: $\Delta = t_{\alpha} \cdot S_x$ ($t_{0,05; 10} = 2,26$). Цифры — положение по градиенту от тропинки: 1 — на тропинке; 2, 3, 4 — на удалении от нее в 20, 50, 100 см соответственно.

к данному виду антропогенного воздействия, такими, как мощность подстилки и гумусового горизонта, гранулометрический состав, влажность, кислотность [14]. Особенно негативно на воздействие человека реагируют мезопедобионты подстилочного комплекса: их плотность снижается в 2—4 раза или они практически полностью исчезают в «Лосином острове» уже на средневыраженных, а в «Битцевском лесу» только на хорошо выраженных тропинках. Обилие почвенных беспозвоночных в минеральных горизонтах стабильнее: вне зависимости от принадлежности к типу тропинки прослежено уменьшение их численности в слое 0—10 см в 1,5—2 раза.

Степень выраженности рекреационного образования (тропинки) определяет и пространственный масштаб угнетения почвенной мезофауны: в импактных зонах слабо выраженных тропинок снижение ее плотности (на 10—30%) ограничивается 20 см, средневыраженных (на 30—50%) расширяется до 50 см, а хорошо выраженных (на 35—85%) распространяется до 1 м и более.

Некоторые нарушения идентичного эквивалентного изменения численности почвенных беспозвоночных по мере приближения от лесного массива к тропинкам и отсутствие четких закономерностей их профильного распределения, возможно, обусловлены высокой мобильностью и частой миграцией организмов в соседние биотопы.

Биомасса обитающих в почве животных обладает значительным откликом на рекреационную нагрузку (рис. 1, Б; рис. 2, Б). На участках со слабо выраженными тропинками по исследуемому градиенту прослежен лишь слабый тренд ее уменьшения (на 10—25%), затрагивающий в основном подстилочный комплекс. В зонах со средневыраженными тропинками закономерности более ясные, а процесс проявляется как в подстилочном комплексе, так и в минеральных слоях почвы. В «Лосином острове» величина биомассы мезопедобионтов на тропинках в пределах всей изученной мощности снижается относительно фона на 80%, в «Битцевском лесу» — на 70%, а между соседними участками импактной зоны — на 20—35%. На территориях активного посещения населением лесопарков негативные последствия рекреации заметнее. Общая биомасса почвенных животных на тропинках относительно контроля уменьшается в 5—16 раз (до 10 г/м²) и в 2—3 раза даже на расстоянии 1 м от рекреационного образования за счет всех составляющих (подстилка и минеральные горизонты). При довольно высокой численности почвенных беспозвоночных это обусловлено, вероятно, их малыми размерами [18].

Таксономический состав мезофауны. На тропинках (вне зависимости от их выраженности) по сравнению с условно-фоновыми участками в обоих лесопарках наблюдается аналогичная трансформация структурно-функциональной организации сообществ почвенных животных, выражающаяся в обеднении

их состава и изменении соотношения выполняемых локомоторных и трофических функций.

О снижении разнообразия мезопедобионтов на рекреационных образованиях свидетельствует уменьшение количества их систематических групп с 13—15 до 1—4 в «Лосином острове» и до 3—7 в «Битцевском лесу», а величины индекса Шеннона — в 3,5—4 и 1,5—2,5 раза соответственно (табл. 1, 2).

Долевое участие почвенных беспозвоночных изменяется в сторону образования монодоминантных сообществ: индекс Симпсона возрастает в первом случае в 4—7, а во втором — лишь в 2—3 раза. При этом в почвах «Лосиного острова» преобладают (до 75—100%) дождевые черви с единичными представителями насекомых (двукрылые, стафилиниды, шелкоуны) и многоножек (костянки). Большую устойчивость к рекреации почв «Битцевского леса» определяет относительно равномерное долевое участие почвенных беспозвоночных: дождевые черви составляют 25—55%, насекомые — более 30% (стафилиниды 25, жуки 7%), а многоножки — около 25% (геофилиды 14, костянки 10%) (табл. 1). Структурно-функциональная трансформация мезопедобионтов наиболее заметна на хорошо выраженных рекреационных образованиях.

Присутствие сапрофагов (в частности, дождевых червей) обусловлено наличием на тропинках локальных участков с повышенной влажностью почвы, «втоптанностью» в минеральную толщу листового опада, что формирует фрагментарный слой рыхлого плохо разложившегося органического материала мощностью 0,5—1 см, служащего благоприятным субстратом для их питания [9]. Сохранение многоножек-хищников и часто конкурирующих жуков и стафилинид связано с отсутствием ярко выраженной специализации их типа питания, что позволяет этим особям приспосабливаться к широкому спектру условий местообитания, а открытые поверхности на тропинках благоприятны для охоты. Способность к активному перемещению также предопределяет наличие многоножек на рекреационных образованиях. Медленное передвижение и существенная связь с субстратом личинок двукрылых и шелкоунов не позволяют им мигрировать с тропиной сети. Увеличение количества сапрофагов и зоофагов в почвах при рекреации отмечалось и другими исследователями [6, 8].

От лесного массива к тропинкам прослежен тренд снижения разнообразия почвенных животных. В последовательно расположенных импактных зонах число таксономических групп мезопедобионтов уменьшается в среднем на 1—2, за исключением участков тропинки и 20 см от нее, где обеднение весьма существенно и в зависимости от выраженности тропинки варьирует от 4 до 10 групп (табл. 1). Значение индекса Шеннона в этом же направлении падает на 5—15%, а между тропинкой и 20 см от нее — на 15—100%, величина же индекса Симпсона возрастает на 13—55% с максимумом между теми же участками (табл. 2).

По градиенту исследования в почвах «Лосиног острова» доля люмбрицид возрастает с 29 до 85%, составляя в притропиночных зонах 35–45%, а в «Битцевском лесопарке» — с 23 до 60% с таким же участием дождевых червей на расстоянии 20 и 50 см от тропинок. Однако в последнем случае наблюдается тенденция повышения (на 5–10%) числа особей насекомых (жужелицы, стафилиниды) и многоножек. Изменение разнообразия почвенных беспозвоночных подстилочного комплекса по сравнению с минеральным более существенно.

С некоторой долей определенности можно утверждать о наличии зависимости между степенью выраженности тропинок и шириной импактной зоны. Для слабовыраженных вариантов это 20 см от края тропинки, средневывраженных — 20–50 см, а хорошо выраженных — 50–100 см и более.

Менее резкое снижение разнообразия почвенных животных по градиенту от лесного массива к тропинке свидетельствует о большей устойчивости к рекреационной нагрузке экосистемы «Битцевский лес» по сравнению с «Лосиным островом».

Изменение состояния мезопедобионтов является следствием преобразования условий их местообитания, во многом обусловленное почвенными свойствами. По исследуемому направлению статистически значимые ($p = 0,95$) различия свойств почв установлены в основном для тропинок и 20–50-сантиметровых зон, в остальных случаях (между 50 и 100 см) они проявляются лишь в виде тенденции. Плотность сложения в корнеобитаемом слое почв возрастает на $0,1–0,35 \text{ г/см}^3$ (до критических значений $1,5–1,72 \text{ г/см}^3$ на хорошо выраженных тропинках), влажность увеличивается на 1–8%; содержание органического углерода и реакция среды изменяются не совсем определенно, но чаще возрастают (в среднем на 1,0–1,5% и 0,5–1,0 ед. pH) (табл. 3).

Несмотря на примерно равнозначные и довольно благоприятные почвенные свойства на удалении в 50 и 100 см от средне- и хорошо выраженных тропинок, негативные последствия рекреации для мезофауны на этих участках выражены довольно заметно. Это свидетельствует о том, что реакция почвенных

беспозвоночных на этот вид антропогенной нагрузки проявляется значительно раньше и отчетливее по сравнению с изменением химических и физических свойств, подтверждая высокую индикаторную способность мезопедобионтов на рекреацию.

Заключение

В городских лесопарках на участках, не подверженных прямому воздействию человека, сохраняются характеристики мезофауны природных лесов. Существенные различия ее численности, биомассы и разнообразия в двух лесопарках определяются неодинаковыми свойствами почв и восприимчивостью к ним различных организмов.

Установлена четкая закономерность угнетения почвенных беспозвоночных по градиенту от лесного массива к тропинке и увеличение степени их деградации при повышении уровня рекреационной нагрузки. По сравнению с фоном на участках с разными вариантами выраженности тропинок снижается численность мезопедобионтов (в 1,3–4 раза), биомасса (в 1,1–16 раз) и разнообразие (в 1,5–4 раза вплоть до формирования монодоминантных сообществ), а пространственный масштаб последствий рекреации (ширина импактной зоны) возрастает от 0,2–0,5 до одного метра и более.

Уровень изменений состояния беспозвоночных детерминирован свойствами почв, отвечающими за устойчивость к данному виду антропогенного воздействия, которая снижается, в частности, при облегчении гранулометрического состава, уменьшении содержания гумуса и подкислении реакции среды.

Более существенная по сравнению с почвенными свойствами «ответная реакция» мезопедобионтов позволяет считать их весьма чувствительным индикатором на рекреационную нагрузку. При оценке ее последствий наиболее информативным критерием является разнообразие представителей почвенных беспозвоночных, а диагностика по величине биомассы и, в меньшей степени, по численности могут служить дополнительными показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробейчик Е.Л., Козлов М.В. Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология. 2012. № 2.
2. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М., 1998.
3. География и мониторинг биоразнообразия. М., 2002.
4. Гиляров М.С. Учет крупных почвенных беспозвоночных (мезофауны) // Методы почвенно-зоологических исследований. М., 1975.
5. Грюнталь С.Ю. Влияние рекреационного лесопользования на почвенное население сосняков // Природные аспекты рекреационного использования леса. М., 1987.
6. Грюнталь С.Ю. Почвенные беспозвоночные в условиях рекреационного лесопользования // Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. М., 2004.
7. Догель В.А. Зоология беспозвоночных. М., 1981.
8. Захаров А.А., Бызова Ю.Б., Уваров А.В. и др. Почвенные беспозвоночные рекреационных ельников Подмосковья. М., 1989.
9. Курчева Г.Ф. Роль животных в почвообразовании. М., 1973.
10. Рахлеева А.А., Строганова М.Н. Состав и структура почвенной мезофауны парковых территорий // Лесные экосистемы и урбанизация. М., 2008.

11. *Середюк С.Д.* Структура почвенной мезофауны в урбоценозах // Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития (Мат-лы V науч.-практ. конф.). Ишим, 2010.
12. *Стриганова Б.Р.* Животное население городских почв // Почва, город, экология. М., 1997.
13. *Строганова М.Н.* Городские почвы: генезис, систематика и экологическое значение (на примере города Москвы): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1998.
14. *Шапочкин М.С., Киселёва В.В., Обыденников В.И.* и др. Комплексная методика изучения влияния на экосистемы городских и пригородных лесов // Науч. тр. нац. парка «Лосиный остров». Вып. 1. М., 2003.
15. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М., 2005.
16. *Юрьева Н.Д., Матвеева В.Г., Трапидо И.Л.* Рекреационное воздействие на комплексы почвенных беспозвоночных в березняках Подмосковья // Лесоведение. 1976. № 2.
17. *Cole D.N., Fichtler R.K.* Campsite impact in three western wilderness areas // Environ. Manag. 1983. N 7.
18. *Cole D.N., Landres P.B.* Indirect effects of recreation on wildlife // Wildlife and Recreationists: Coexistence Through Management and Research. Ch. 11 / R.L. Knight, K.J. Gutzwiller (eds). Washington, 1995.
19. *Liddle M.* Recreation Ecology: The Ecological Impact of Outdoor Recreation and Ecotourism. L., 1997.
20. *Marion J.L., Cole D.N.* Spatial and temporal variation in soil and vegetation impacts on campsites // Ecol. Appl. 1996. N 6.
21. *Monti P.W., Mackintosh E.E.* Effects of camping on surface soil properties in the boreal forest region of northwestern Ontario, Canada // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1979. N 43.

Поступила в редакцию
15.03.2012

THE CONDITION OF THE COMMUNITY MESOPEDOBIONTS IN FOREST PARKS OF MOSCOW AS AN INDICATOR RECREATIONAL PRESSURE AND FORMING IMPACT ZONES ALONG THE FOOTPATHS

V.A. Kuznetsov, G.V. Stoma, K.S. Bodrov

In Moscow forest parks in areas which are not undergoing the direct exposed to human saved all the features mesopedobionts of the natural forest. Under the influence of recreational load is reduced abundance, biomass and diversity of soil invertebrates at a distance of 50—100 sm to more from the footpaths, and the degree development of footpaths determines the rate of change and width of the impact zones. In comparison with the properties of soil, invertebrates are more sensitive and informative indicator on recreation, while for monitoring the effects of this impact the diagnosis value of diversity and biomass of soil invertebrates most is indicative.

Key words: urban parks, recreation level, the stability of ecosystems, soil invertebrates.

Сведения об авторах

Кузнецов Василий Андреевич, аспирант 2-го года обучения каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail:* xts089@gmail.com. **Стома Галина Владимировна**, канд. биол. наук, доцент каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-27-40; *e-mail:* gstoma@yandex.ru. **Бодров Кирилл Сергеевич**, студент 4-го курса каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail:* thepicturella@gmail.com.