

Состояние почвенной мезофауны в среднетаежных сосновых и еловых лесах при сокращении выбросов целлюлозно-бумажного производства (Республика Коми)

А. А. КОЛЕСНИКОВА, Т. Н. КОНАКОВА

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28
E-mail: kolesnikova@ib.komisc.ru

Статья поступила 30.04.2021

После доработки 19.05.2021

Принята к печати 20.05.2021

АННОТАЦИЯ

Проведенный анализ состояния почвенной мезофауны в период сокращения выбросов целлюлозно-бумажного производства выявил изменения структурных параметров сообществ беспозвоночных в сосновых и еловых лесах импактной, буферной и фоновой зон предприятия. На уровне крупных таксонов мезофауна сосняков и ельников отличается высокой степенью сходства и низким разнообразием, характерными для хвойных лесов средней тайги. Видовое богатство беспозвоночных, оцененное за 2003–2019 гг., сопоставимо для импактной и буферной зон и почти в два раза ниже относительно фоновой территории. Общая численность мезофауны, а также таксономических групп варьирует по периодам и зонам нагрузки. В 2007 и 2010 гг. в сосняках импактной зоны наблюдали смену доминантных видов: на буферных и фоновых участках численно преобладали *Lithobius curtipes* C. L. Koch, 1847 и *Pella humeralis* (Gravenhorst, 1802), на импактных – *Philonthus rotundicollis* (Menetries, 1832) и *Philonthus politus* (Linnaeus, 1758). В сосняках в 2018 г. и в ельниках в 2006, 2010 и 2019 гг. смены доминантов не выявлено: в импактной зоне многочисленны *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826) и *L. curtipes*, характерные для буферных и фоновых участков. Численное преобладание зоофагов в составе мезофауны характерно для всех исследуемых участков. Регистрируемые значения численности некоторых таксонов (Lumbricidae, Diplopoda, Elateridae) свидетельствуют о повышении относительного обилия сапрофагов в почвах хвойных лесов импактной территории. Для жизнедеятельности этих беспозвоночных почвы фоновых участков с высокой естественной кислотностью не пригодны, а вблизи целлюлозно-бумажного предприятия из-за эффекта нейтрализации кислотности почв создаются благоприятные для них условия.

Ключевые слова: мезофауна, численность, структура, сосняк, ельник, Европейский Север, целлюлозно-бумажное производство.

Основные центры целлюлозно-бумажного производства расположены в странах Северной Америки и Северной Европы. В Северной Европе к ведущим странам-производителям относятся Финляндия, Швеция и Германия. В России список целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) насчитывает около 150 пред-

приятий, пять крупных предприятий расположены в Иркутской (Братск и Усть-Илимск), Архангельской (Архангельск и Кораяжма) областях, в Республике Коми (АО “Монди Сыктывкарский СЛПК”). В результате выбросов предприятий целлюлозно-бумажной промышленности в атмосферу поступают различные

серо- и азотсодержащие соединения, которые являются потенциальными источниками кислотных осадков и могут значительно изменять кислотность лесной подстилки и органогенных горизонтов почвы в зоне действия комбинатов [Горбунова, Задорина, 2006; Личутина и др., 2011]. Если пылевые выбросы целлюлозно-бумажного предприятия содержат преимущественно химические соединения щелочной природы (Na_2CO_3 , Na_2S и NaOH), то они создают на прилегающей территории подщелачивающий эффект, что может приводить к частичной нейтрализации повышенной кислотности, свойственной подстилкам лесных почв в их естественном состоянии [Почва..., 2005; Calcium-magnesium..., 2012].

Технологии, применяемые в целлюлозно-бумажной промышленности на рубеже XX и XIX вв., в настоящее время значительно изменились. Появились новые, более совершенные технологические процессы, направленные на снижение выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду [Jaworska et al., 2020]. Использовать данные литературы по воздействию выбросов ЦБК на сообщества мезофауны невозможно из-за отсутствия исследований по такому типу антропогенного воздействия. Поэтому исследования, проведенные в районе выбросов АО «Монди СЛПК», основываются на информации о промышленных загрязнениях. Почвенные беспозвоночные продолжают функционировать в антропогенной среде даже в условиях самых глубоких преобразований, и обитатели почвы являются универсальными биоиндикаторами состояния окружающей среды [Воробейчик и др., 1994; Кривоуцкий, 1994]. Антропогенная трансформация почвенных зооценозов отражает утрату их структурной стабильности и специализированности [Deleporte, Tillier, 1999]. По измененным параметрам структурной организации почвенной мезофауны можно судить о степени антропогенной нагрузки на природные экосистемы [Исследование..., 2017]. Так, при увеличении кислотности почв наблюдаются флуктуации численности личинок щелкунов, постепенное снижение численности дождевых червей и кивсяков, значительное сокращение численности косянок и пауков, отсутствие изменений для личинок мягкотелок и наличие таковых для стафилинид и землянок в зависимости от срока отбо-

ра, снижение биомассы крупных сапрофагов [Effects..., 2017]. Вблизи крупных длительно действующих предприятий цветной металлургии загрязнение почвы может быть экстремально высоким, что вызывает снижение численности, таксономического разнообразия, видового богатства (до полного исчезновения ряда групп почвенной фауны – дождевых червей, моллюсков, диплопод), смену доминантов, трансформацию трофической структуры сообществ беспозвоночных. Причиной уменьшения обилия или исчезновения различных групп беспозвоночных под влиянием промышленных выбросов может быть как прямое действие токсикантов, так и опосредованное, через ухудшение условий обитания [Евдокимова, Зенкова, 2003; Изменение..., 2012].

Происходящее в последние годы сокращение выбросов предприятий в результате их модернизации дает возможность анализировать естественное восстановление сообществ, но дефицит прямых наблюдений за ходом восстановительных сукцессий из-за отсутствия прямых сравнений состояния сообществ почвенной мезофауны до и после сокращения выбросов очевиден. Поэтому неожиданным оказался вывод о том, что сокращение поступления поллютантов в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода сразу же привело к восстановлению сообществ беспозвоночных, учитывая очень медленное очищение почвы от тяжелых металлов. За прошедшие 25 лет, в период высокой эмиссии, при сниженных и почти прекратившихся выбросах общее обилие мезофауны на два порядка уменьшалось по мере приближения к заводу, менялось соотношение трофических групп. Но в последние годы увеличилось обилие педобионтов на загрязненных участках, ближе к заводу продвинулись ранее отсутствовавшие на сильно техногенной территории дождевые черви, моллюски [Воробейчик и др., 2019].

Цель данной работы – проследить изменения численности, разнообразия и структуры почвенной мезофауны при сокращении выбросов целлюлозно-бумажного производства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

АО «Монди СЛПК» находится на территории Республики Коми (61°49' с. ш. и 50°44' в. д.) и функционирует с 1969 г. [Конакова и др.,

2009]. В районе выбросов предприятия условно выделены зоны с различным уровнем техногенной нагрузки, между которыми нет четких границ в пространстве, и существуют некоторые переходные полосы, которые могут иметь большую или меньшую протяженность. Импактная зона (зона сильного воздействия выбросов) включает территорию рабочей зоны целлюлозно-бумажного комплекса радиусом 3,5 км, где уровни техногенной нагрузки превышают фоновые в 100–150 раз. Буферная зона состоит из двух подзон – территорий со значительным и умеренным воздействием выбросов. Первая подзона расположена концентрически на расстоянии до 6 км от центра эмиссии по линии преобладающего направления ветра, здесь уровни техногенной нагрузки превышают фоновые в 20–100 раз. Во второй подзоне (на расстоянии до 14 км) уровни техногенной нагрузки превышают фоновые в 4–20 раз. Объединение территорий со значительным и умеренным воздействием выбросов в одну буферную зону возможно, так как сокращение выбросов предприятия способствует сдвиганию границ этих условно выделяемых зон. Анализ рассеивания выбросов АО “Монди СЛПК” показал, что распространение основных компонентов выбросов происходит на расстоянии до 18 км, поэтому в качестве фоновых участков выбраны хвойные леса, расположенные на расстоянии 22–50 км от предприятия [Конакова и др., 2009; Колесникова и др., 2011; Оценка..., 2020].

В состав выбросов предприятия входят оксиды серы и азота, сероводород, сернистый ангидрид, минеральная пыль, содержащая карбонаты и сульфиды кальция и натрия [Почвенные беспозвоночные..., 2012]. С 2002 г. на предприятии ведутся работы, направленные на снижение воздействия аэротехногенных выбросов на окружающую среду. За период с 2004 по 2010 г. произошло снижение выбросов в атмосферу взвешенных веществ, серосодержащих соединений, меркаптанов, оксида углерода, пыли, в 2007 г. исключено применение элементарного хлора. В период с 2012 по 2020 г. общий объем выбросов сократился почти в 2 раза, наблюдается снижение выбросов по двуокиси хлора, сокращена общая эмиссия по пыли, NO_x , CO_2 , улучшено качество воздуха до нормативных значений (и ниже) по целому ряду контролируемых по-

казателей [Оценка..., 2020]. Сокращение выбросов проявляется в улучшении жизненного состояния древостоев [Робакидзе, Торлопова, 2018] и отсутствии выраженного негативного воздействия предприятия на почвы наземных экосистем. Изменение физико-химических свойств почв подзолистого типа под влиянием производственной деятельности предприятия прослеживается только в импактной зоне. Для почв этой зоны выявлено изменение кислотно-основного состояния почв в сторону подщелачивания, увеличение в них содержания обменных катионов кальция и магния, возрастание степени насыщенности основаниями, что обусловлено поступлением в составе газопылевых выбросов карбонатов кальция и магния [Оценка..., 2020].

В статье показаны изменения обилия и структуры сообществ почвенной мезофауны еловых и сосновых лесов (средняя тайга) в районе воздействия выбросов целлюлозно-бумажного производства. Полный список видов беспозвоночных за период с 2003 по 2019 г. приведен в [Konakova, Kolesnikova, 2021]. Исследования почвенной мезофауны в сосняках черничных импактной ($C_{и}$), буферной ($C_б$) и фоновой ($C_ф$) зон проведены в июне 2007, 2010 и 2018 гг., в ельниках черничных ($E_{и}$, $E_б$, $E_ф$) – в июне 2006, 2010 и 2019 гг., всего 12 учетных площадок. Для выявления состава и численности почвенных беспозвоночных проводили отбор почвенно-подстилочных проб площадью 0,0625 м² на глубину 15 см в количестве 8–10 проб на каждой площадке. Всего отобрано 224 почвенных образца: 102 – в сосняках, 122 – в ельниках. Объем собранного материала составил 1303 экз. беспозвоночных: 541 экз. – в сосняках, 762 экз. – в ельниках. При анализе полученных результатов использовали такие информативные показатели уровня антропогенной нагрузки на сообщества почвенных беспозвоночных, как численность, таксономическое разнообразие, трофическая структура [Soil biodiversity..., 2009]. Таксономическое разнообразие оценивали при помощи индекса Шеннона (H). Для определения уровня сходства видового состава беспозвоночных на участках импактной, буферной и фоновой зон применяли индекс Чекановского – Серенсена (I_{cs}). Для оценки значимости различий обилия групп между зонами нагрузки и годами

отдельно для каждого периода использовали двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями. Перед его проведением значения предварительно логарифмировали ($y = \ln(x + 1)$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В сосновых лесах зарегистрировано 13 таксономических групп крупных почвенных беспозвоночных (табл. 1). По числу групп беспозвоночных особых отличий в сосняках импактной, буферной и фоновой зон не выявлено. На уровне крупных таксонов проявляются тенденции к изменению их обилия в зависимости от уровня техногенного воздействия, растительных и почвенных условий, периода наблюдений. Наиболее показательны в этом отношении дождевые черви (Lumbricidae), их численность имела максимальные значения на импактных участках во все учетные периоды (табл. 2). Другие таксоны не проявляли четких изменений численности, опреде-

ляемых степенью техногенного воздействия. Таксономическое разнообразие мезофауны сосняков низкое, индекс Шеннона составил 1,5–2,0 во все исследуемые периоды (рис. 1, а). Видовое богатство мезофауны в сосновых лесах фоновой территории почти в 2 раза превышает этот показатель в импактной и буферной зонах ($C_{и}$ – 40, $C_{б}$ – 44, $C_{ф}$ – 74 вида, за весь период исследований). Такой рост числа видов на фоновых участках характерен для Staphylinidae и Carabidae ($C_{и}$ – 29, $C_{б}$ – 34, $C_{ф}$ – 64 вида). Другие крупные таксоны представлены одним – тремя видами, которые, как правило, по обилию достигают уровня доминантов. Так, семейство Lumbricidae в сосняках буферной зоны представлено видами *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826) и *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843), на фоновых участках к ним добавляется *Eisenia n. nordenskioldi* (Eisen, 1879), а в импактном сосняке – *Aporrectodea c. caliginosa* (Savigny, 1826). Многоножки представлены не только эвритоным доминантным видом

Т а б л и ц а 1

Численность (средняя $\pm$ ошибка, экз./м²) основных групп почвенной мезофауны в сосновых лесах импактной ($C_{и}$), буферной ($C_{б}$) и фоновой ($C_{ф}$) зон

Таксон	2007 г.			2010 г.			2018 г.		
	$C_{и}$	$C_{б}$	$C_{ф}$	$C_{и}$	$C_{б}$	$C_{ф}$	$C_{и}$	$C_{б}$	$C_{ф}$
Gastropoda	17,6 $\pm$ 0,48	–	3,2 $\pm$ 0,01	2,0 $\pm$ 0,01	–	4,0 $\pm$ 0,01	–	–	1,6 $\pm$ 0,01
Lumbricidae	68,8 $\pm$ 1,25	12,8 $\pm$ 0,24	6,4 $\pm$ 0,01	16,0 $\pm$ 0,14	4,0 $\pm$ 0,33	–	9,6 $\pm$ 0,50	3,2 $\pm$ 0,01	8 $\pm$ 0,67
Aranei	6,4 $\pm$ 1,00	20,8 $\pm$ 0,51	3,2 $\pm$ 0,01	16,0 $\pm$ 0,21	12,0 $\pm$ 0,57	28,0 $\pm$ 0,31	11,2 $\pm$ 0,40	20,8 $\pm$ 0,58	8 $\pm$ 0,01
Diplopoda	4,8 $\pm$ 0,50	–	–	–	7,00 $\pm$ 0,01	–	6,4 $\pm$ 0,01	1,6 $\pm$ 0,01	–
Lithobiidae	16,0 $\pm$ 1,86	51,2 $\pm$ 1,13	6,4 $\pm$ 0,33	4,0 $\pm$ 0,01	21,0 $\pm$ 0,57	16,0 $\pm$ 0,71	6,4 $\pm$ 0,01	6,4 $\pm$ 0,40	4,8 $\pm$ 0,01
Elateridae, larv.	11,2 $\pm$ 0,75	8,0 $\pm$ 0,67	6,4 $\pm$ 0,01	–	3,0 $\pm$ 0,01	6,0 $\pm$ 0,01	3,2 $\pm$ 0,01	12,0 $\pm$ 0,22	12,8 $\pm$ 0,71
Cantharidae, larv.	–	–	9,6 $\pm$ 0,58	–	–	–	3,2 $\pm$ 0,01	24,0 $\pm$ 1,06	4,8 $\pm$ 0,50
Staphylinidae, larv. + im.	1,6 $\pm$ 0,01	8,0 $\pm$ 0,33	3,2 $\pm$ 0,01	2,0 $\pm$ 0,01	4,0 $\pm$ 0,01	18,0 $\pm$ 0,20	3,2 $\pm$ 0,01	8,0 $\pm$ 0,11	1,6 $\pm$ 0,01
Carabidae, larv. + im.	–	1,6 $\pm$ 0,01	3,2 $\pm$ 0,01	–	2,0 $\pm$ 0,01	2,0 $\pm$ 0,01	1,6 $\pm$ 0,01	4,0 $\pm$ 0,01	1,6 $\pm$ 0,01
Diptera, larv.	12,8 $\pm$ 0,71	11,2 $\pm$ 0,40	19,2 $\pm$ 0,51	4,0 $\pm$ 0,01	2,0 $\pm$ 0,01	2,0 $\pm$ 0,01	24,0 $\pm$ 1,55	16,0 $\pm$ 0,33	17,6 $\pm$ 0,37
Hymenoptera, larv. + im.	–	3,2 $\pm$ 0,01	–	–	10,0 $\pm$ 0,49	–	–	–	–
Heteroptera	–	–	–	2,0 $\pm$ 0,01	–	–	–	–	–
Coccidae	–	–	–	–	–	–	4,8 $\pm$ 0,50	10,4 $\pm$ 1,25	–
Общая	139,2 $\pm$ 1,6	116,8 $\pm$ 1,7	60,8 $\pm$ 0,55	46,0 $\pm$ 0,5	65,0 $\pm$ 0,8	76,0 $\pm$ 0,8	73,6 $\pm$ 0,9	106,4 $\pm$ 0,9	60,8 $\pm$ 0,8

П р и м е ч а н и е. “–” означает, что таксон не обнаружен.

Результаты дисперсионного анализа (с повторными измерениями) различий численности (экз./м²) мезофауны сосновых лесов между зонами нагрузки и годами (приведен F критерий, в скобках – достигнутый уровень значимости)

Таксон	Источник изменчивости					
	2007–2010 гг.			2010–2018 гг.		
	Зона	Время	Зона x время	Зона	Время	Зона x время
Gastropoda	5,1 (0,010)	4,0 (0,053)	4,0 (0,0260)	1,9 (0,165)	1,1 (0,305)	0,3 (0,765)
Lumbricidae	14,5 (<0,001)	8,1 (0,007)	1,5 (0,226)	4,4 (0,018)	0,3 (0,584)	1,5 (0,233)
Aranei	0,6 (0,573)	6,7 (0,013)	2,5 (0,094)	0,9 (0,426)	2,1 (0,159)	1,7 (0,196)
Diplopoda	9,3 (<0,001)	4,8 (0,034)	18,2 (<0,001)	19,7 (<0,001)	4,3 (0,044)	8,3 (<0,001)
Lithobiidae	9,6 (<0,001)	0,1 (0,819)	0,7 (0,512)	7,9 (0,001)	4,9 (0,033)	3,1 (0,006)
Elateridae	0,4 (0,657)	2,4 (0,132)	0,7 (0,526)	4,1 (0,024)	4,9 (0,033)	0,4 (0,672)
Staphylinidae	2,4 (0,108)	3,5 (0,067)	2,5 (0,098)	3,6 (0,036)	0,7 (0,404)	4,7 (0,015)
Diptera	0,1 (0,965)	7,1 (0,011)	0,3 (0,752)	0,2 (0,782)	12,5 (0,001)	0,1 (0,954)
Сапрофаги	10,3 (<0,001)	38,3 (<0,001)	1,8 (0,182)	1,4 (0,262)	8,4 (0,006)	0,8 (0,475)
Зоофаги	2,6 (0,120)	1,9 (0,184)	1,2 (0,292)	11,2 (<0,001)	0,9 (0,339)	2,9 (0,064)
Фитофаги	2,3 (0,109)	2,3 (0,134)	2,3 (0,109)	2,6 (0,083)	3,8 (0,058)	2,8 (0,071)
Общая	0,7 (0,501)	7,4 (0,009)	3,7 (0,034)	2,1 (0,130)	0,4 (0,520)	0,9 (0,414)

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, когда фактор имеет влияние на анализируемый параметр.

Lithobius curtipes C. L. Koch, 1847, но и редкими видами *Polyzonium germanicum* Brandt, 1837, *Leptojulus proximus* (Nemec, 1896), отмеченными в импактной и буферной зонах [Konakova, Kolesnikova, 2021]. Сходство видового состава беспозвоночных импактной, буферной и фоновой зон незначительное (Ics для $C_{и} - C_{б} = 0,35$, $C_{и} - C_{ф} = 0,31$, $C_{б} - C_{ф} = 0,36$). В сосняках буферной зоны соотношение трофических групп беспозвоночных стабильно в разные учетные периоды, доминируют зоофаги. На фоновых участках численно преобладали сапрофаги (в 2007 и 2018 гг.) или зоофаги (в 2010 г.). При более

значимых перестройках биогеоценоза, когда на подщелачиваемых почвах в импактном сосняке сформировались травостой и относительно мощная подстилка, наблюдалось перераспределение трофических групп мезофауны за счет увеличения роли сапрофагов, особенно в 2007 г., на начальном этапе модернизации предприятия (см. табл. 2, рис. 2, а). Общая численность мезофауны изменялась по учетным периодам: снижалась от импактной к фоновой зоне в 2007 г., возрастала в этом же направлении в 2010 г., была максимальной на буферной территории в 2018 г. Важным является то, что каких-либо значимых из-

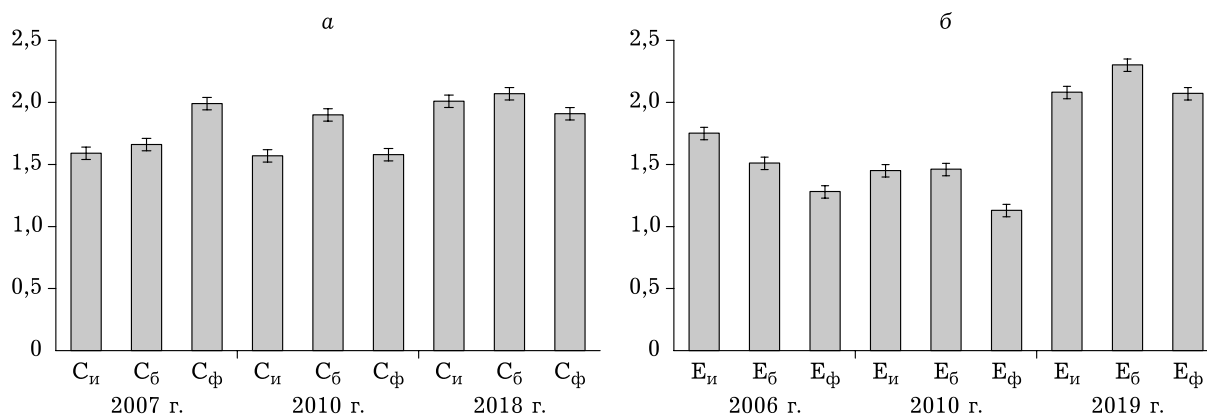


Рис. 1. Таксономическое разнообразие мезофауны (значения H по оси ординат) в сосняках (а) и ельниках (б) импактной ($C_{и}$, $E_{и}$), буферной ($C_{б}$, $E_{б}$) и фоновой ($C_{ф}$, $E_{ф}$) зон

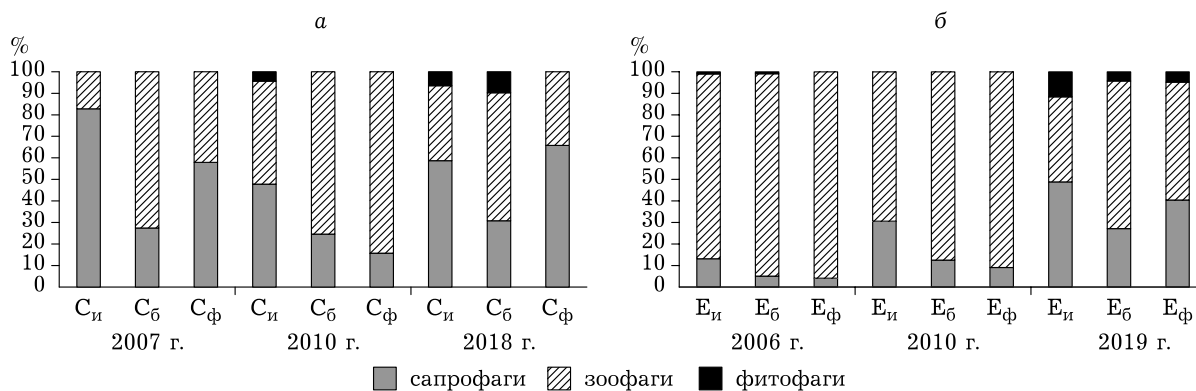


Рис. 2. Соотношение трофических групп мезофауны в сосняках (а) и ельниках (б) импактной (C_и, E_и), буферной (C_б, E_б) и фоновой (C_ф, E_ф) зон

менений в структуре сообществ крупных беспозвоночных за период с 2007 по 2018 г. не произошло. В 2007 и 2010 гг. на участках буферной зоны высоким обилием характеризовались виды *L. curtipes*, *Pella humeralis* (Gravenhorst, 1802), которые являются типичными доминантами ненарушенных сосновых лесов, в том числе фоновых участков. В импактной зоне произошла смена доминантов. Здесь лидирующие позиции заняли *Philonthus rotundicollis* (Menetries, 1832) и *Ph. politus* (Linnaeus, 1758), считающиеся лесными видами, но в начале лета зарегистрирован лет этих жуков в биотопах с хорошо выраженным травостоем [Конакова и др., 2009; Почвенные беспозвоночные..., 2012]. В 2018 г. смены доминантов не выявлено, в импактной зоне многочисленны виды (*D. octaedra*, *L. curtipes*), характерные для буферных и фоновых участков. Основное отличие импактного сосняка (C_и) в том, что здесь увеличивалась численность кальцефильных групп беспозвоночных (Lumbricidae, Diplopoda, Gastropoda). Для участков буферной и фоновой территории характерно сохранение структурной устойчивости сообществ беспозвоночных с преобладанием лесных видов, а в импактной зоне выявлено сопоставимое с буферными участками видовое богатство мезофауны с преобладанием эвритопных и лугово-лесных видов.

В еловых лесах отмечено 13 таксономических групп беспозвоночных, на участках с разным уровнем воздействия выбросов зарегистрировано по 5–11 таксонов (табл. 3). Таксономическое разнообразие мезофауны незначительно возрастало в импактной зоне относительно буферных и фоновых

участков в 2006 и 2010 гг., индекс Шеннона составил 2,0–2,3 для зооценозов рассматриваемых участков в 2019 г. (см. рис. 1, б). В 2006 и 2010 гг. отмечено супердоминирование многоножек и пауков в ельниках всех рассматриваемых зон воздействия выбросов (табл. 4). Видовое богатство мезофауны возрастало по направлению от импактной к фоновой территории (E_и – 31, E_б – 48, E_ф – 96), сходство видового состава беспозвоночных низкое (I_{cs} для E_и – E_б = 0,35, E_и – E_ф = 0,25, E_б – E_ф = 0,33). Аналогичные тенденции выявлены для Carabidae (E_и – 5, E_б – 10, E_ф – 35) и Staphylinidae (E_и – 16, E_б – 28, E_ф – 51). Другие таксоны, как в сосняках, представлены одним-тремя видами [Konakova, Kolesnikova, 2021]. Для Elateridae при небольшом видовом богатстве показано не только увеличение числа видов при приближении к предприятию (E_и – 3, E_б – 3, E_ф – 1), но и рост численности этой группы на импактных участках (см. табл. 4). Максимальные значения общей численности мезофауны во все исследуемые периоды отмечены в ельниках импактной зоны (см. табл. 3). На начальном этапе по сокращению выбросов отличия по данному показателю между импактными и фоновыми участками были значимыми, а в 2019 г. – нет (см. табл. 4). Для трофической структуры мезофауны характерно преобладание зоофагов над сапрофагами и фитофагами. В исследуемые периоды отмечено повышение доли сапрофагов в импактной зоне относительно буферных и фоновых участков (см. рис. 2, б). Смены доминантов (*D. octaedra*, *L. curtipes*, *C. micropterus*) в еловых лесах не наблюдалось во все исследуемые

Т а б л и ц а 3

Численность (средняя $\pm$ ошибка, экз./м²) основных групп почвенной мезофауны в еловых лесах импактной (Е_и), буферной (Е_б) и фоновой (Е_ф) зон

Таксон	2006 г.			2010 г.			2019 г.		
	Е _и	Е _б	Е _ф	Е _и	Е _б	Е _ф	Е _и	Е _б	Е _ф
Gastropoda	27,2 $\pm$ 0,47	–	–	–	–	4,0 $\pm$ 0,01	–	–	–
Lumbricidae	3,2 $\pm$ 0,13	–	3,2 $\pm$ 0,01	12,0 $\pm$ 0,20	3,0 $\pm$ 0,50	–	9,6 $\pm$ 0,01	1,6 $\pm$ 0,01	–
Aranei	73,6 $\pm$ 0,87	30,4 $\pm$ 0,39	9,6 $\pm$ 0,50	10,0 $\pm$ 0,33	22,0 $\pm$ 0,27	48,0 $\pm$ 0,84	11,2 $\pm$ 0,75	2,4 $\pm$ 0,33	3,2 $\pm$ 0,01
Diplopoda	–	–	–	–	1,0 $\pm$ 0,01	–	3,2 $\pm$ 0,01	0,8 $\pm$ 0,01	–
Lithobiidae	129,6 $\pm$ 1,39	44,8 $\pm$ 0,52	41,6 $\pm$ 0,67	36,0 $\pm$ 0,87	11,0 $\pm$ 0,40	–	1,6 $\pm$ 0,01	4,8 $\pm$ 0,24	4,8 $\pm$ 0,01
Elateridae, larv.	4,8 $\pm$ 0,01	3,2 $\pm$ 0,01	–	4,0 $\pm$ 0,01	–	–	9,6 $\pm$ 0,50	5,6 $\pm$ 0,14	17,6 $\pm$ 0,20
Cantharidae, larv.	20,8 $\pm$ 0,48	1,6 $\pm$ 0,01	8,0 $\pm$ 0,25	–	1,0 $\pm$ 0,01	–	4,8 $\pm$ 0,50	27,2 $\pm$ 0,96	25,6 $\pm$ 0,86
Staphylinidae, larv.+im.	46,4 $\pm$ 0,64	6,9 $\pm$ 0,18	16,0 $\pm$ 0,16	4,0 $\pm$ 0,01	8,0 $\pm$ 0,14	8,0 $\pm$ 0,01	–	2,4 $\pm$ 0,01	1,6 $\pm$ 0,01
Carabidae, larv.+im.	4,8 $\pm$ 0,01	–	–	–	–	–	9,6 $\pm$ 0,20	1,6 $\pm$ 0,01	1,6 $\pm$ 0,01
Diptera, larv.	8,0 $\pm$ 0,01	3,2 $\pm$ 0,20	–	6,0 $\pm$ 0,50	2,0 $\pm$ 0,01	2,0 $\pm$ 0,01	11,2 $\pm$ 0,75	7,2 $\pm$ 0,49	9,6 $\pm$ 0,58
Hymenoptera, larv.+im.	8,0 $\pm$ 0,32	34,1 $\pm$ 2,39	–	–	–	4,0 $\pm$ 0,01	–	–	–
Heteroptera	3,2 $\pm$ 0,01	1,1 $\pm$ 0,01	–	–	–	–	–	–	–
Coccidae	–	–	–	–	–	–	8,0 $\pm$ 1,5	2,4 $\pm$ 0,25	3,2 $\pm$ 0,01
Общая	329,6 $\pm$ 2,6	125,3 $\pm$ 1,1	78,4 $\pm$ 1,1	72,0 $\pm$ 1,2	48,0 $\pm$ 0,5	66,0 $\pm$ 1,4	68,8 $\pm$ 0,7	56,0 $\pm$ 0,8	67,2 $\pm$ 0,9

П р и м е ч а н и е. “–” означает, что таксон не обнаружен.

Т а б л и ц а 4

Результаты дисперсионного анализа (с повторными измерениями) различий численности (экз./м²) мезофауны еловых лесов между зонами нагрузки и годами (приведен F критерий, в скобках – достигнутый уровень значимости)

Численность	Источник изменчивости					
	2006–2010 гг.			2010–2019 ггг.		
	Зона	Время	Зона $\times$ время	Зона	Время	Зона $\times$ время
Gastropoda	12,44 (<0,001)	10,31 (0,003)	16,71 (<0,001)	1,00 (0,376)	1,00 (0,323)	1,00 (0,376)
Lumbricidae	2,98 (0,061)	1,84 (0,183)	2,81 (0,071)	8,54 (<0,001)	0,14 (0,711)	0,03 (0,966)
Aranei	1,05 (0,359)	2,37 (0,131)	14,27 (<0,001)	1,33 (0,275)	12,66 (0,001)	5,04 (0,011)
Diplopoda	1,00 (0,376)	1,00 (0,323)	1,00 (0,376)	1,08 (0,349)	1,08 (0,305)	1,08 (0,349)
Lithobiidae	8,70 (<0,001)	46,5 (<0,001)	1,31 (0,281)	4,94 (0,012)	2,77 (0,103)	4,82 (0,013)
Elateridae	6,87 (0,003)	8,63 (0,005)	2,39 (0,104)	1,66 (0,202)	37,95 (<0,001)	1,42 (0,253)
Staphylinidae	1,82 (0,174)	40,57 (<0,001)	8,36 (<0,001)	6,58 (0,003)	10,61 (0,002)	0,59 (0,559)
Diptera	3,98 (0,026)	2,29 (0,137)	1,56 (0,221)	0,41 (0,668)	5,71 (0,021)	0,17 (0,841)
Сапрофаги	8,65 (<0,001)	1,18 (0,283)	0,86 (0,431)	2,06 (0,139)	9,34 (0,004)	0,58 (0,564)
Зоофаги	1,72 (0,191)	18,96 (<0,001)	4,13 (0,023)	0,24 (0,788)	1,96 (0,169)	0,15 (0,863)
Фитофаги	2,33 (0,109)	2,33 (0,134)	2,33 (0,109)	0,25 (0,782)	4,79 (0,034)	0,25 (0,782)
Общая	3,81 (0,030)	17,46 (<0,001)	3,00 (0,060)	0,160 (0,852)	0,66 (0,422)	0,08 (0,925)

П р и м е ч а н и е. Жирным шрифтом выделены значения, когда фактор имеет влияние на анализируемый параметр.

периоды. Увеличения численности Lumbricidae и Diplopoda, как в сосновых лесах, в импактных ельниках не выявлено. В импактной зоне, как на буферной и фоновой территориях, в составе мезофауны преобладали лесные виды [Колесникова и др., 2011].

ОБСУЖДЕНИЕ

На качественном уровне за период сокращения выбросов целлюлозно-бумажного производства реакция мезофауны на загрязнение не изменилась, так как важной характеристикой почвенного населения хвойных лесов является систематическая монотонность группировок на уровне семейств, родов, видов. Таксономическая структура мезофауны хвойных лесов в импактной и буферной зонах существенно не отличалась от фонового района в годы наблюдений. Видовое богатство сообществ беспозвоночных снижалось при приближении к источнику эмиссии выбросов. В сосняках импактной зоны отмечена смена доминантных видов на начальном этапе сокращения выбросов, в ельниках этой же зоны доминанты те же, что на буферных и фоновых участках. Сходство видового состава беспозвоночных в хвойных лесах импактной, буферной и фоновой зон низкое. На импактных участках увеличивалась численность сапрофагов, представленных кальцефильными группами беспозвоночных (Gastropoda, Lumbricidae, Diplopoda). Перечисленные изменения численности, состава и структуры мезофауны соответствуют слабонарушенным сообществам беспозвоночных в импактной зоне с сохранением доминантов и расширением спектра экологических групп. Относительная стабильность сообществ мезофауны во времени сохраняется благодаря тому, что воздействие выбросов предприятия на них является опосредованным, через изменения структуры фитоценоза и характеристик почв.

Изначально влияние целлюлозно-бумажного производства не так негативно сказывается на мезофауне, как это показано при загрязнении почв тяжелыми металлами в результате деятельности металлургических комбинатов. При воздействии выбросов металлургических предприятий на почвы происходит снижение численности, биомассы, таксономического и трофического разнообразия почво-

обитающих беспозвоночных [Евдокимова, Зенкова, 2003; Почва..., 2005]. Так, в окрестностях работающего медеплавильного завода полностью выпадали ключевые таксоны (Lumbricidae, Gastropoda), которые на фоновой территории составляли основу всего комплекса почвенной мезофауны [Изменение..., 2012]. Существенное влияние выбросов комбината “Североникель” на структуру мезофауны отмечено на расстоянии не менее 30 км: значительно снижались плотность, таксономическое разнообразие беспозвоночных, наблюдалась смена доминантов. На удалении 30–60 км от предприятия состояние мезофауны в лесных экосистемах определялось породой-эдификатором: еловые леса в большей степени, чем сосновые, способны поддерживать разнообразие и плотность беспозвоночных на уровне фоновых показателей [Зенкова, 2016]. На примере Косогорского металлургического комбината показано, что при повышенном уровне загрязнения почв крупные беспозвоночные избегают участков с высоким содержанием металлов. Это обуславливает формирование пространственной структуры сообществ мезофауны на загрязненных участках [Гонгальский и др., 2010; Филимонова, Гонгальский, 2011]. Неоднородность распределения беспозвоночных в загрязненной зоне Кольского алюминиевого завода объяснимо не только косвенными изменениями гидро-термического и кислотно-щелочного режима почв, но и прямым действием высоких доз загрязняющих веществ [Евдокимова, Зенкова, 2003].

Тем не менее при хронических антропогенных воздействиях экологические параметры сообществ почвообитающих беспозвоночных изменяются сходным образом независимо от типа воздействия (рекреационное, автодорожное или промышленное) и типа экосистем (агро-, лесная или рудеральная). В результате хронических антропогенных воздействий наблюдается перестройка сообществ беспозвоночных в сторону снижения относительного обилия сапрофагов и, напротив, роста зоофагов [Бутовский, 2000]. Нами же установлен факт того, что обилие сапрофагов возрастает в хвойных лесах импактной территории. Для жизнедеятельности дождевых червей, диплопод, моллюсков почвы фоновой территории с высокой естественной кислотностью

непригодны. Вблизи целлюлозно-бумажного предприятия из-за эффекта нейтрализации кислотности почв создаются благоприятные условия для них. Такие же изменения в составе почвенной мезофауны наблюдались при пылевых загрязнениях, особенно при накоплении кальция в почвах с высокой естественной кислотностью, когда мощность и запасы обитаемого слоя подстилки увеличиваются [Штернбергс, 1985а, б; Kalisz, Powell, 2003].

Вместе с тем сообщества мезофауны хвойных лесов на импактной территории нельзя считать стабильно функционирующими. Не выявлено четких изменений численности мезофауны при приближении к источнику эмиссии выбросов по периодам. Неизвестно, как долго может возрасти обилие сапрофагов в ходе естественной сукцессии в импактном сосняке. А значит, необходимо наблюдать структуру сообществ в сочетании с характеристикой климатических изменений и погодных аномалий, которые могут существенно модифицировать ход сукцессии и быть ее более важными драйверами, чем собственно снижение выбросов [Динамика..., 2014; Многолетняя динамика..., 2014]. Непонятно, как идут депонирование и транслокация загрязняющих химических веществ в импактных почвах. Если отсутствует выраженный вынос химических веществ с загрязненной территории, то это означает, что токсическая нагрузка на растительность и почвенную биоту может увеличиться [Воробейчик, Кайгородова, 2017]. Основываясь на изменениях в еловых фитоценозах зоны влияния выбросов целлюлозно-бумажного производства, свидетельствующих об улучшении состояния древостоев за счет уменьшения дефолиации и дехромации крон [Робакидзе, Торлопова, 2018], а также на данных о том, что токсические вещества, поступающие с выбросами ЦБК, накапливаются в хвое *Pinus sylvestris* L. в большей степени, чем в почвах [Jaworska et al., 2020], предполагаем, что тенденция к снижению выбросов будет способствовать восстановлению естественной структуры сообществ почвенной мезофауны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для сообществ крупных почвенных беспозвоночных сосновых и еловых лесов в районе

воздействия выбросов целлюлозно-бумажного производства (при их сокращении) не выявлено существенных изменений численности, разнообразия и структуры за прошедшие десять лет. Почвенная мезофауна импактной, буферной и фоновой территорий схожа по таксономическому составу, а на уровне отдельных групп проявляются тенденции к снижению (*Staphylinidae*, *Carabidae*) или росту (*Elateridae*) видового богатства при приближении к предприятию. Регистрируемые значения численности и обилия некоторых таксонов (*Lumbricidae*, *Diplopoda*, *Elateridae*) на импактных участках отражают изменения в соотношении трофических групп. Численное преобладание зоофагов в составе мезофауны исследуемого района характерно для импактных, буферных и фоновых участков на начальном и последующем этапах модернизации предприятия. Увеличение доли сапрофагов на импактных участках относительно буферной и фоновой территорий свидетельствует о том, что наблюдаемые изменения структуры сообществ мезофауны связаны не столько с интенсивностью антропогенной нагрузки, сколько со сменой напочвенного покрова и почвенных характеристик, определяемых составом выбросов предприятия. А повышение доли сапрофагов на всех участках в 2018 и 2019 гг. предполагает, что сообщества беспозвоночных, характеризовавшиеся в 2006–2010 гг. как слабо нарушенные, после сокращения выбросов стали более устойчивыми.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания № АААА-А17-117112850235-2 и при финансовой поддержке проекта “Оценка долговременного влияния АО “Монди СЛПК” (договор № 45–2018/180405).

ЛИТЕРАТУРА

- Бутковский Р. О. Устойчивость комплексов почвообитающих членистоногих к антропогенным воздействиям: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2000. 47 с.
- Воробейчик Е. Л., Кайгородова С. Ю. Многолетняя динамика содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв в районе воздействия медеплавильного завода в период сокращения объемов его выбросов // Почвоведение. 2017. № 8. С. 1009–1024. [Vorobeichik E. L., Kaigorodova S. Yu. Long-term dynamics of heavy metals in the upper horizons of soils in the region of a copper smelter impacts during the period of reduced emission // Eurasian Soil Sci. Vol. 50, N 8. 2017. P. 977–990]. doi: 10.1134/S1064229317080130
- Воробейчик Е. Л., Ермаков А. И., Гребенников М. Е. Начальные этапы восстановления сообществ почвенной

- мезофауны после сокращения выбросов медеплавильного завода // *Экология*. 2019. № 2. С. 133–148 [Vorobeichik E. L., Ermakov A. I., Grebennikov M. E. Initial stages of recovery of soil macrofauna communities after reduction of emissions from a copper smelter // *Rus. J. Ecol.* Vol. 50, N 2. 2019. P. 146–160.] doi: 10.1134/S1067413619020115
- Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург. 1994. 280 с.
- Гонгальский К. В., Филимонова Ж. В., Зайцев А. С. Связь пространственного распределения численности почвенных беспозвоночных и содержания тяжелых металлов в почве в окрестностях Косогорского металлургического комбината (Тульская обл.) // *Экология*, 2010. № 1. С. 70–73 [Gongalsky K. V., Filimonova Zh. V., Zaitsev A. S. Relationship between soil invertebrate abundance and soil heavy metal contents in the environs of the Kosogorsky metallurgical plant, Tula oblast // *Ru. J. Ecol.* Vol. 41, N 1. 2010. P. 67–70.] doi: 10.1134/S1067413610010133
- Горбунова Л. Г., Задорина О. А. Эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения почв юга Архангельской области // *Вестн. Поморского ун-та. Сер. Естественные и точные науки*. 2006. № 2. С. 17–25.
- Динамика лесной растительности после снижения промышленных выбросов: быстрое восстановление или продолжение деградации? / М. Р. Трубина, Е. Л. Воробейчик, Е. В. Хантемирова, И. Е. Бергман, С. Ю. Кайгородова // *Докл. АН*. 2014. Т. 458, № 6. С. 721–725. doi: 10.1134/S0012496614050135
- Евдокимова Г. А., Зенкова И. В. Влияние выбросов алюминиевого завода на биоту почв Кольского полуострова // *Почвоведение*. 2003. № 8. С. 973–979 [Evdokimova G. A., Zenkova I. V. Effects of aluminum plant emissions on soil biota in the Kola peninsula // *Eurasian Soil Sci.* 2003. Vol. 36, N 8. P. 872–877].
- Зенкова И. В. Герпетобионтная мезофауна лесных экосистем в зоне воздействия металлургического комбината “Североникель” // *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы VI Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 120-летию со дня рождения Г. М. Крепса и 110-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского*. Апатиты, 2016. С. 71–75.
- Изменение разнообразия почвенной мезофауны в градиенте промышленного загрязнения / Е. Л. Воробейчик, А. И. Ермаков, М. П. Золотарев, Т. К. Тунева // *Рус. энтомол. журн.* 2012. Вып. 21 (2). С. 203–218 [Changes in diversity of soil macrofauna in industrial pollution gradient / E. L. Vorobeichik, A. I. Ermakov, T. K. Tuneva, M. P. Zolotarev // *Rus. Entomol. J.* Vol. 21, N 2. 2012. P. 203–218.] doi: 10.15298/rusentj.21.2.15
- Исследования почвенных беспозвоночных как биоиндикаторов состояния окружающей среды на европейском северо-востоке России / М. М. Долгин, Е. Н. Мелехина, А. А. Колесникова, Т. Н. Конакова, А. А. Кудрин, А. А. Таскаева // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Киров, 2017. С. 317–320.
- Колесникова А. А., Конакова Т. Н., Долгин М. М. Мезофауна еловых лесов Республики Коми в зоне воздействия лесопромышленного комплекса // *Бюл. МОИП. Отд. биол.* 2011. Т. 116, вып. 1. С. 10–20.
- Конакова Т. Н., Колесникова А. А., Долгин М. М. Мезофауна сосновых лесов Республики Коми в районе действия выбросов лесопромышленного комплекса // *Вестн. Поморского ун-та. Сер. Естественные науки*. 2009. № 3. С. 55–63.
- Кривошук Д. А. Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. 269 с.
- Личутина Т. Ф., Боголицын К. Г., Гусакова М. А. Экологическая оценка деятельности предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Перспективные направления утилизации отходов // *Рос. хим. журн.* 2011. Т. 55, № 1. С. 101–107.
- Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов медеплавильного завода / Е. Л. Воробейчик, М. Р. Трубина, Е. В. Хантемирова, И. Е. Бергман // *Экология*. 2014. № 6. С. 448–458 [Long-term dynamic of forest vegetation after reduction of copper smelter emissions / E. L. Vorobeichik, M. R. Trubina, E. V. Khantemirova, I. E. Bergman // *Rus. J. Ecol.* Vol. 45, N 6. 2014. P. 498–507.] doi: 10.1134/S1067413614060150
- Почва и почвенная биота в условиях загрязнения фтором. Апатиты, 2005. 155 с.
- Оценка долговременного влияния АО “Монди СЛПК” на биологическое разнообразие в районе производства / Assessment of long-term impact of Mondy Syktyvkar JSC on the biological diversity in the production area. Сыктывкар, 2020. 52 с.
- Почвенные беспозвоночные в индикации состояния хвойных лесов в районе выбросов Сыктывкарского лесопромышленного комплекса / М. М. Долгин, А. А. Колесникова, Т. Н. Конакова, А. А. Таскаева, Е. Н. Мелехина // *Теорет. и прикл. экология*. 2012. № 3. С. 24–35.
- Робакидзе Е. А., Торлопова Н. В. Мониторинг состояния ельников в условиях загрязнения целлюлозно-бумажного производства // *Раст. ресурсы*. 2018. Вып. 54, № 1. С. 42–58.
- Филимонова Ж. В., Гонгальский К. В. Сообщества крупных почвенных животных на границе участков слабого и сильного загрязнения от Косогорского металлургического комбината (Тульская область) // *Изв. ПГПУ им. В. Г. Белинского. Естественные науки*. 2011. № 25. С. 472–477.
- Штернбергс М. Т. Воздействие выбросов цементного завода на дождевых червей (Lumbricidae) березняков-кисличников // *Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью*. Рига, 1985а. С. 96–100.
- Штернбергс М. Т. Воздействие выбросов цементного завода на пауков (Aranei) подстилки леса // *Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью*. Рига, 1985б. С. 101–109.
- Calcium-magnesium liming of acidified catchments: Effects on humus morphology and functioning / S. H. Rizvi, T. Gauquelin, C. Gers, F. Guérol, C. Pagnout, V. Baldy // *Appl. Soil Ecol.* 2012. Vol. 62. P. 81–87. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.07.014
- Deleporte S., Tillier P. Long-term effects of mineral amendments on soil fauna and humus in an acid beech forest floor // *Forest Ecol. and Management*. 1999. Vol. 118. P. 245–252.
- Effects of simulated acid rain on soil fauna community composition and their ecological niches / H. Wei,

- W. Liu, J. Zhang, Z. Qin // Environ. Pollut. 2017. Vol. 220. P. 460–468. doi:10.1111/ppl.12230
- Jaworska H., Matuszczak K., Różański S. Impact of pulp and paper industry on the content of selected elements in soils and plants // Catena. 2020. Vol. 193. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104579
- Kalisz P. J., Powell J. E. Effect of calcareous road dust on land snails (Gastropoda: Pulmonata) and millipedes (Diplopoda) in acid forest soils of the Daniel Boone National Forest of Kentucky, USA // Forest Ecol. and Management. 2003. Vol. 186. P. 177–183. doi: 10.1016/S0378-1127(03)00259-7
- Konakova T. N., Kolesnikova A. A. The list of species of large soil invertebrates in the areas of impact of aero-technogenic emissions from pulp and paper industry // Mendeley Data. 2021. Vol. 1. doi: 10.17632/2py8x-48cdb.1
- Soil biodiversity monitoring in Europe: ongoing activities and challenges / C. Gardia, L. Montanarella, D. Arrouays, A. Bispob, P. Lemanceaud, C. Jolivet, C. Muldere, L. Ranjard, J. Rombke, M. Rutgerse, C. Mentag // Eur. J. Soil Sci. 2009. Vol. 60. P. 807–819. doi: 10.1111/j.1365-2389.2009.01177.x

The state of soil macrofauna in pine and spruce forests of middle taiga zone during reduction of pulp and paper industry emissions (Komi Republic)

A. A. KOLESNIKOVA, T. N. KONAKOVA

*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the UB of the RAS
167982, Syktyvkar, Kommunisticheskaja str., 28
E-mail: kolesnikova@ib.komisc.ru*

The analysis of the state of soil macrofauna during the period of reduction of emissions of pulp and paper production revealed changes in the structural parameters of invertebrate communities in the pine and spruce forests of the impact, buffer and background areas. The macrofauna of pine and spruce forests is characterized by a high degree of similarity and low diversity at the level of large taxa. It is a typical feature of coniferous forests in the middle taiga subzone. The species richness of invertebrate communities is estimated for the period from 2003 to 2019 years. It is comparable for the impact and buffer areas, and it is almost twice lower than for the background area. The total number of macrofauna, as well as taxonomic groups, varies by periods and areas of load. In 2007 and 2010, a change of dominant species was observed in the pine forests of the impact area. *Lithobius curtipes* C. L. Koch, 1847, *Pella humeralis* (Gravenhorst, 1802) predominated in the buffer and background area, and *Philonthus rotundicollis* (Menetries, 1832), *Philonthus politus* (Linnaeus, 1758) predominated in the impact area. In 2018, no changes of dominants were detected in pine forests, as in spruce forests (in 2006, 2010, 2019). *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826) and *L. curtipes* were dominants in the impact, buffer and background area. The predominance of zoophages is typical for all the studied plots. The number of some taxa (Lumbricidae, Diplopoda, Elateridae) indicated an increase in the relative abundance of saprophages in the soils of coniferous forests at the impact area. The soils of background area, with high natural acidity, are unsuitable for activity of invertebrates. Due to the effect of neutralizing the acidity of the soil near the pulp and paper enterprise favorable conditions are created for them.

Key words: soil macrofauna, number, structure, pine forest, spruce forest, European North, pulp and paper industry.