
ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 595.762.12(476.5)

ВЫРУБКИ ПОД ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ КАК МЕСТА ОБИТАНИЯ ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE)

А. А. ЛАКОТКО¹⁾, Г. Г. СУШКО¹⁾

¹⁾Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
Московский проспект, 33, 210023, г. Витебск, Беларусь

Впервые в Белорусском Поозерье исследовано влияние на население жуужелиц регулярных рубок деревьев в сосновых лесах под линии электропередач (ЛЭП). На просеках ЛЭП прослежено формирование структуры сообществ данной группы и выявлено увеличение видового богатства, числа особей и разнообразия жуужелиц по сравнению с прилегающими сосновыми лесами (*Pinetum vacciniosum* и *Pinetum myrtillosum*). Выявлено изменение видового состава, в том числе и группы доминантов, среди которых отмечено появление обитателей открытых пространств – *Poecilus versicolor* и *Calathus erratus*. Показано, что ассамблеи жуужелиц просеки ЛЭП более всего отличались от таковых сосняка брусничного. Регрессионный анализ показал положительную зависимость видового разнообразия жуужелиц от проективного покрытия кустарничков и отрицательную зависимость числа их особей на просеках – от высоты травяно-кустарничкового яруса и влажности почвы.

Ключевые слова: просеки ЛЭП; сосновые леса; биоразнообразие; жуужелицы; факторы среды.

Благодарность. Авторы выражают искреннюю признательность доценту кафедры зоологии и ботаники И. А. Солодовникову за помощь в определении материала.

Образец цитирования:

Лакотко АА, Сушко ГГ. Вырубки под линии электропередач в сосновых лесах Белорусского Поозерья – как места обитания жуужелиц (Coleoptera, Carabidae). *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2021;1:15–28. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-1-15-28>

For citation:

Lakotko AA, Sushko GG. Power line corridors in pine forests as habitats for ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the Belarusian Poozerie. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021;1:15–28. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-1-15-28>

Авторы:

Анатолий Аркадьевич Лакотко – старший преподаватель кафедры экологии и географии биологического факультета.
Геннадий Геннадьевич Сушко – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой экологии и географии биологического факультета.

Authors:

Anatoly A. Lakotko, senior lecturer at the department of ecology and geography, faculty of biology.
lakotko65@gmail.com
Gennadi G. Sushko, doctor of science (biology), docent; head of the department of ecology and geography, faculty of biology.
gennadis@rambler.ru

POWER LINE CORRIDORS IN PINE FORESTS AS HABITATS FOR GROUND BEETLES (COLEOPTERA, CARABIDAE) IN THE BELARUSIAN POOZERIE

A. A. LAKOTKO^a, G. G. SUSHKO^a

^aVitebsk State University named after P. M. Masherova,
33 Maskoŭski Avenue, 210015 Vičeb'sk, Belarus

Corresponding author: G. G. Sushko (gennadis@rambler.ru)

For the first time in the Belarusian Lake District, the influence of regular tree felling in pine forests under power lines on the biodiversity of ground beetles has been studied. On the power line corridor species richness, number of individuals, and the diversity of ground beetles were highest in comparison with the adjacent forests (*Pinetum vacciniosum* and *Pinetum myrtillosum*). In addition, species composition and group of dominants composition were different. Among dominant species there are inhabitants of open spaces *Poecilus versicolor* and *Calathus erratus*. The assemblages of ground beetles of the power line corridor were the most differed from *Pinetum vacciniosum*. Regression analysis (GLM) showed a negative influence of the height of the herb-dwarf shrub layer on the number of individuals of ground beetles. Shrub cover positive affected carabid diversity, whereas soil moisture had a negative effect.

Keywords: power line corridors; pine forests; biodiversity; ground beetles; environmental factors.

Acknowledgements. The authors are grateful to I. A. Solodovnikov, associate professor of the Department of Zoology and Botany, for his help in determining the material.

Введение

Развитие современной инфраструктуры привело к созданию условий, которые могут обеспечить альтернативную среду обитания для живых организмов. Так, обочины дорог способствуют формированию такой специфичной группы – как рудералы; песчаные карьеры становятся благоприятными местообитаниями для многих псаммофилов и обитателей открытых пространств; противопожарные полосы в лесах и просеки линий электропередач также предоставляют своеобразные экологические условия.

Общая длина линий электропередач (ЛЭП) в Беларуси составляет около 279 тыс. км [1], что свидетельствует об измененных условиях среды на значительной площади. За счет регулярной вырубki молодых деревьев и кустарников, скашивания трав создаются иные микроклиматические условия и биотические ресурсы, которые отличаются от существующих в исходных экосистемах, что особенно наглядно прослеживается в лесах. Сформированные в лесах коридоры поддерживаются человеком на ранних сукцессионных стадиях, задерживая ход естественных процессов в экосистемах. Такие изменения не могут не влиять на условия обитания консументов, в числе которых наиболее многочисленной группой являются насекомые. Однако до настоящего времени оценка состояния разнообразия насекомых в измененных местах обитания – таких, как просеки под ЛЭП, – в Беларуси не проводилась. Имеющиеся зарубежные литературные данные демонстрируют важную роль ЛЭП в формировании альтернативных местообитания [2; 3; 4].

В климатических условиях северной Беларуси на границе между евразийской зоной хвойных и европейской зоной широколиственных лесов преобладают бореальные сосновые леса разных типов [5]. Следует ожидать, что в сосновых лесах данного региона просеки ЛЭП, хорошо прогреваемые и инсолированные, являются наиболее благоприятными для обитателей напочвенного яруса, о чем свидетельствует увеличение их разнообразия и формирование достаточно специфичных видовых ассамблей, в том числе и таких многочисленных организмов, как жуужелицы. Это определило цель данной работы – дать сравнительную характеристику видового богатства, обилия и разнообразия, а также видового состава жуужелиц просек ЛЭП и прилегающий сосновых лесов.

Материалы и методы

Материалом послужили результаты исследований, проведенных в Сенненском районе Витебской области (окрестности д. Щитовка, координаты 54°52'N 30°24'E) на вырубке ЛЭП в сосновых лесах двух типов: сосняке брусничном (*Pinetum vacciniosum*) и сосняке черничном (*Pinetum myrtillosum*). Ширина коридора составляла 10–15 м. Сборы жуужелиц проводились в 2017–2018 гг. с конца апреля до конца октября с интервалом 10–14 дней методом почвенных ловушек на 15 участках, выбранных в случайном порядке. Пять из них были расположены вдоль «центральной линии» коридора ЛЭП, а 10 – по 5 слева и справа в 100 м от края просеки в глубине леса (для исключения влияния краевого эффекта). Выбранные участки в каждом типе места обитания (коридор ЛЭП или лес) находились на расстоянии не менее 50 м друг от друга и были удалены от опоры ЛЭП более чем на 50 м. Расстояние же между ловушками составляло 5 м. На каждом

участке было установлено по 5 ловушек, представляющих собой пластиковые стаканчики объемом 250 мл, на треть заполненные 9 % раствором уксусной кислоты. Всего было использовано 75 ловушек.

На каждом участке вблизи ловушек на площадках 1×1 м измерялись следующие показатели: число видов высших сосудистых растений; высота травяно-кустарничкового яруса; проективное покрытие (в %), общее для травяно-кустарничкового яруса, трав, кустарничков, мохового покрова, подстилки; толщина мохового покрова, подстилки и гумусового слоя [6–8].

На каждой площадке измерялись влажность и pH почвы (табл. 1). Для оценки данных показателей были взяты образцы почвы на глубине 10 см (исключая подстилку и слой ферментации) из четырех углов и центра каждого из квадратов. Навески по 5 г почвы растворяли в 20 мл дистиллированной воды и через 1 ч проводили измерения pH-метром Hanna Instruments HI 8314. Влажность оценивалась с помощью термogravиметрического метода: образцы почвы собирались в алюминиевые бюксы, затем взвешивались на аналитических весах и высушивались в течение 24 ч в сушильном шкафу при температуре 65° С. Относительная влажность почвенных образцов (в %) рассчитывалась по формуле

$$Вл = [(B2-B3) / (B3-B1)] \times 100 [7,8],$$

где B1 – вес пустого алюминиевого бюкса (г); B2 – вес бюкса + образца почвы (г); B3 – вес бюкса и сухой почвы (г).

Весь спектр выбранных показателей представлен в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения (± стандартная ошибка) фитоценологических
и физико-химических показателей почвы стационаров исследований

Table 1

Mean values (± standard error) of phytocenotic and physicochemical variables of the soil of research sites

Переменные среды	Сосняк брусничный	Сосняк черничный	Коридор ЛЭП	p-уровень
Число видов растений	1,5 ± 0,25	2,5 ± 0,22	8 ± 0,64	***
Высота травяно-кустарничкового яруса, см	20,7 ± 1,99	31,6 ± 1,59	24 ± 1,96	***
pH	4,27 ± 0,02	4,28 ± 0,03	5,48 ± 0,06	***
Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, %	62,4 ± 5,75	63,4 ± 5,46	19,3 ± 2,64	***
Проективное покрытие кустарничкового яруса, %	61,9 ± 5,76	61,1 ± 6,24	16,4 ± 2,75	***
Проективное покрытие травяного яруса, %	0,6 ± 0,16	4,5 ± 1,14	0,2 ± 0,13	***
Проективное покрытие мохового яруса, %	93,7 ± 0,74	90,8 ± 1,24	17,2 ± 2,67	**
Проективное покрытие подстилки, %	5,3 ± 1,11	2,1 ± 0,17	0,1 ± 0,1	**
Количество деревьев	9,6 ± 0,77	9,2 ± 0,44	0	н.з.
Высота деревьев, м	22,8 ± 1,04	23,7 ± 0,88	0	н.з.
Количество деревьев, высотой 2-5 м	16,1 ± 2,45	4,9 ± 0,45	29,4 ± 3,18	***
Влажность гумусового слоя, %	7,86 ± 0,72	10,17 ± 0,40	8,28 ± 0,74	*
Толщина мохового покрова, см	7,5 ± 0,79	7,1 ± 0,65	3,7 ± 0,26	***
Толщина подстилки, см	1,2 ± 0,13	1,7 ± 0,15	1,9 ± 0,84	***
Толщина гумусового слоя, см	3,8 ± 0,24	2,5 ± 0,26	4,9 ± 0,68	н.з.

Примечание. Уровень значимости (p) теста Краскела – Уолиса, демонстрирующего различия измеренных переменных: *** – меньше 0,001; ** – меньше 0,01; * – меньше 0,05; н.з. – нет значимых различий.

Как видно из табл. 1, переменные среды демонстрируют, согласно проведенному тесту Краскела–Уолиса, значимые более высокие средние значения числа видов высших сосудистых растений, количества деревьев подроста (от 2 до 5 м высотой), толщины подстилки, вследствие наличия лиственных деревьев и кустарников, а также уменьшение кислотности почвы на просеках под ЛЭП. С другой стороны, общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, проективное покрытие трав и кустарничков, мхов, влажность гумуса были достоверно ниже. Толщина гумусового слоя во всех местообитаниях не имела значимых отличий. В лесах средние значения большинства измеренных переменных, таких как pH, количество

деревьев на учетных площадках и их высота, общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, проективное покрытие трав и кустарничков, мхов и толщина мохового слоя не различались значимо. В то же время влажность гумуса и некоторые фитоценоотические показатели сосняка черничного оказались достоверно более высокими, по сравнению с сосняком брусничным. В их числе высота и проективное покрытие травяного яруса, представленного преимущественно марьянником дубравным (табл. 1).

Для статистического анализа данные, полученные на каждом участке, были объединены в соответствие с каждым из трех типов изучаемых местообитаний (просека ЛЭП, сосняк брусничный, сосняк черничный). Для статистического анализа данные предварительно проверялись на соответствие закону нормального распределения с использованием теста Шапиро – Уилка. Однако, в силу их несоответствия данному закону, для оценки различий между выборками использовался непараметрический критерий Краскела–Уолиса (H_c) и апостериорный тест Дана.

Для оценки альфа-разнообразия применены Числа Хилла (Hill's numbers), графическое отображение которых демонстрирует отличие основных показателей разнообразия их различия. Первое число Хилла ($q=0$) оценивает видовое богатство и предсказывает его ожидаемое максимально возможное значение с помощью метода экстраполяции. Второе число Хилла ($q=1$) является экспонентой энтропийного индекса Шеннона (H'). Третье число Хилла ($q=2$) отражает обратный индекс концентрации Симпсона ($1-D$) [9].

Дополнительно были рассчитаны значения непараметрического эстиматора видового богатства Чоу 1, позволяющего проводить оценку ожидаемого числа видов на основе сравнительно небольшого числа выборок по количественным данным, а также индекса разнообразия Шеннона (H') и индекса выравненности Пielу (J') [10; 11].

Бета-разнообразие ассамблей жужелиц исследовано с помощью непараметрического теста ANOSIM (analysis of similarity), позволяющего выявить сходства или различия видового состава. Визуализация различий выполнена с применением метода ординации – неметрического многомерного шкалирования (non-metric multidimensional scaling, NMDS) на основе меры расстояния Брея – Кертиса. Для выявления видов, которые вносят наибольший вклад в гетерогенность ассамблей жужелиц различных мест обитаний, использован SIMPER (similarity of percentage) тест, основанный на доле (в %) видов в выборках, с использованием индекса Брея – Кертиса [12].

Влияние типа местообитания и года исследования на число зарегистрированных особей, видовое богатство и разнообразие, а также проверка потенциальной возможности наличия пространственной автокорреляции были протестированы с использованием двухфакторного дисперсионного анализа (two-way ANOVA).

Для оценки влияния выбранных показателей среды на видовое богатство, число особей и разнообразие, выраженное значением индекса Шеннона, применен регрессионный анализ (обобщенная модель множественной регрессии Generalized Linear Models – GLM) с распределением Пуассона (Poisson distribution). Анализ ассамблей жужелиц на просеках под ЛЭП и обитателей прилегающих лесов выполнен отдельно. Так как значения большинства переменных среды в лесах не различались значимо, они анализировались совместно. Перед анализом переменные, выраженные в процентах, были подвержены преобразованию (arcsine). В целях избегания мультиколлинеарности объясняющих переменных был рассчитан фактор инфляции дисперсии (variation inflation factors – VIF), который позволил выявить те из них, которые обладают высокой взаимной корреляцией. В случае $VIF > 5$, переменные исключены из анализа [13; 14].

Переменными для моделей, оценивающих видовое богатство, число особей и разнообразие жужелиц просек ЛЭП и исходных сосновых лесов, были выбраны следующие показатели: число видов высших сосудистых растений, высота травяно-кустарничкового яруса, проективное покрытие кустарничков, число деревьев высотой менее 2 м, pH и влажность почвы. Переменными для коридоров ЛЭП являлись идентичные лесам – число видов высших сосудистых растений, высота травяно-кустарничкового яруса, проективное покрытие кустарничков, число деревьев, высота деревьев, число деревьев высотой менее 2 м (подрост), pH и влажность почвы, дополненные данными о толщине мохового покрова. Модель, наилучшим образом описывающую выявленные зависимости, выбирали методом пошагового исключения переменных, основываясь на значении информационного критерия Акаике (Akaike information criterion – AIC). Оценка качества модели производилась с помощью коэффициента детерминации (R^2). Кроме того, была выполнена проверка на избыточную дисперсию (overdispersion), которая может исказить ход анализа. Если таковая была обнаружена, стандартная ошибка корректировалась выбором распределения квази-Пуассона (quasi-Poisson) и расчетом псевдо-коэффициента детерминации (pseudo R^2) [12; 13]. Анализы выполнены с использованием статистической среды R 3.4.2 (пакеты car и vegan) [15], пакетов анализа PAST 3.0 [16], EstimateS 9.1.0 [17] и INEXТ [18].

Результаты исследований

Данные о видовой структуре жужелиц исследованных местообитаний, включающей 47 видов, представлены в табл. 2.

В ней показано, что максимальное число видов (36) выявлено в ассамблеях жужелиц просеки ЛЭП, тогда как наименьшее – в сосняке брусничном (14 видов). В сосняке черничном установлено 30 видов. Среднее число видов в выборках достоверно различалось ($H_s = 19,32$, $p = 0,0001$) и составило $7,4 \pm 0,45$ (сосняк брусничный), $10 \pm 0,54$ (сосняк черничный), $14 \pm 0,73$ (ЛЭП).

Таблица 2

Видовой состав и относительное обилие (в %) жужелиц (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП и исходных сосновых лесов

Таблица 2

Species composition and relative abundance (in %) of ground beetles
(Coleoptera, Carabidae) of power line corridors and original pine forests

№ п/п	Виды	Сосняк брусничный	Сосняк черничный	Просека ЛЭП
1	<i>Cicindela hybrida</i> L.	0,23	0,00	0,00
2	<i>Carabus glabratus</i> Payk.	0,00	0,56	0,78
3	<i>Carabus coriaceus</i> L.	8,11	0,38	0,22
4	<i>Carabus convexus</i> Fabr.	0,23	0,56	0,45
5	<i>Carabus hortensis</i> L.	9,23	9,04	3,58
6	<i>Carabus granulatus</i> L.	0,00	0,38	0,00
7	<i>Carabus cancellatus</i> Ill.	0,00	0,00	0,11
8	<i>Carabus arvensis</i> Herbst	40,09	38,61	16,78
9	<i>Cychris caraboides</i> L.	3,38	0,38	1,79
10	<i>Leistus ferrugineus</i> L.	0,00	0,38	0,00
11	<i>Notiophilus palustris</i> Duft.	0,00	0,19	0,56
12	<i>Notiophilus germinyi</i> Fauv.	0,00	0,19	0,00
13	<i>Notiophilus aquaticus</i> L.	0,00	0,19	0,00
14	<i>Poecilus cupreus</i> L.	0,00	0,38	0,11
15	<i>Poecilus lepidus</i> Leske	0,00	0,38	0,34
16	<i>Poecilus versicolor</i> Sturm	2,93	3,01	6,04
17	<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> Fabr.	3,83	8,29	9,96
18	<i>Pterostichus niger</i> Schall.	1,13	1,13	3,13
19	<i>Pterostichus melanarius</i> Ill.	0,00	0,38	0,11
20	<i>Pterostichus aethiops</i> Panz.	0,90	0,00	1,34
21	<i>Pterostichus anthracinus</i> Ill.	0,00	0,19	0,22
22	<i>Pterostichus vernalis</i> Panz.	0,00	0,00	0,11
23	<i>Pterostichus nigrita</i> Payk.	0,45	0,19	0,34
24	<i>Pterostichus rhaeticus</i> Heer	0,00	0,94	0,34
25	<i>Pterostichus diligens</i> Sturm	0,00	0,00	0,11
26	<i>Pterostichus minor</i> Gyll.	0,00	0,19	0,00
27	<i>Pterostichus strenuus</i> Panz.	0,00	0,75	0,00
28	<i>Asaphidion flavipes</i> L.	0,00	0,38	0,00
29	<i>Calathus micropterus</i> Duft.	28,83	28,25	16,11
30	<i>Calathus melanocephalus</i> L.	0,00	0,00	0,22
31	<i>Calathus erratus</i> Sahl.	0,00	0,94	33,33
32	<i>Amara ovata</i> Fabr.	0,00	0,00	0,22
33	<i>Amara communis</i> Panz.	0,00	0,94	0,00
34	<i>Amara convexior</i> Step.	0,00	0,00	0,11

Окончание табл. 2

Ending table 2

№ п/п	Виды	Сосняк брусничный	Сосняк черничный	Просека ЛЭП
35	<i>Amara fulva</i> Deg.	0,00	0,00	0,22
36	<i>Amara brunnea</i> Gyll.	0,00	1,88	1,45
37	<i>Harpalus luteicornis</i> Duft.	0,23	0,00	0,00
38	<i>Harpalus rufipes</i> Deg.	0,00	0,38	0,00
39	<i>Harpalus laevipes</i> Zett.	0,00	0,00	0,22
40	<i>Harpalus latus</i> L.	0,45	0,38	0,11
41	<i>Harpalus tardus</i> Panz.	0,00	0,00	0,22
42	<i>Harpalus smaragdinus</i> Duft.	0,00	0,00	0,11
43	<i>Cymindis vaporariorum</i> L.	0,00	0,00	0,11
44	<i>Synuchus vivalis</i> Ill.	0,00	0,19	0,67
45	<i>Epaphius secalis</i> Payk.	0,00	0,00	0,22
46	<i>Nebria brevicollis</i> Fabr.	0,00	0,00	0,11
47	<i>Oxytelus obscurus</i> Herbst	0,00	0,00	0,11

Тест ANOSIM (табл. 2) показал достоверные ($p = 0,001$), но не высокие ($R = 0,29$) отличия видового состава жуков трех исследуемых мест обитания. При этом, по результатам NMDS, наибольшей дифференциацией характеризуются ассамблеи жуков просеки ЛЭП и сосняка брусничного, тогда как сосняк черничный занимает промежуточное положение между просекой и сосняком черничным (рис. 6). Всего на просеке ЛЭП выявлено 14 видов, не зарегистрированных в лесах, однако все они представлены 1–2 особями. Гетерогенность ассамблей жуков просек, по сравнению с лесами, обусловлена, как показал SIMPER тест, всего несколькими видами, численность которых варьируется во всех исследуемых местах обитания (табл. 3). Прежде всего, это *Calathus erratus* и *Poecilus versicolor*, относительное обилие которых высоко только на просеке ЛЭП, а также *Pterostichus oblongopunctatus*, обилие которого на просеке выше, по сравнению с лесами.

В тоже время, результаты апостериорных сравнений с использованием теста Дана показали отсутствие значимых различий ($p < 0,05$) видового богатства в ассамблеях жуков лесов (рис. 1).

Выявленное число видов в сосняке брусничном в наибольшей степени соответствует максимально возможному.

Различия видового богатства отражены на рис. 2.

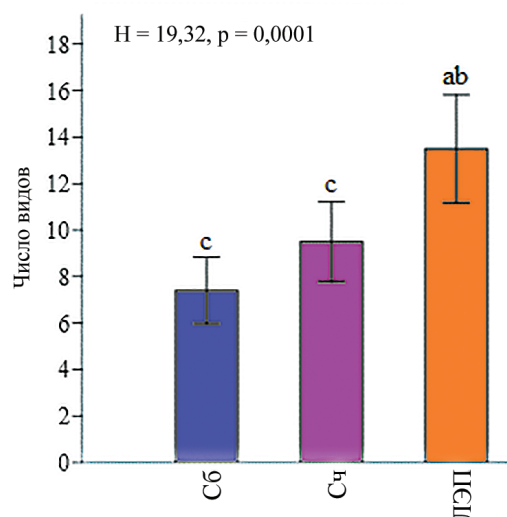


Рис. 1. Средние значения числа видов (\pm стандартная ошибка) жуков (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП и исходных сосняка брусничного (Сб) и сосняка черничного (Сч) в условиях Белорусского Поозерья

Fig. 1. Average values of the number of species (\pm standard error) of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of power line corridors (ЛЭП) and initial lingonberry pine forest (Сб) and blueberry pine forest (Сч) in the conditions of the Belarusian Poozerie

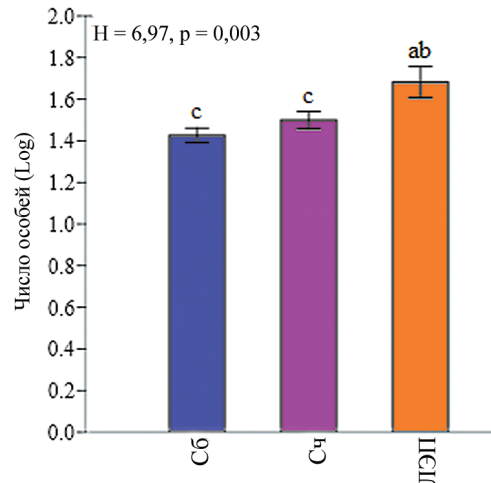


Рис. 2. Средние значения числа особей (\pm стандартная ошибка) жужелиц (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП и исходных сосняка брусничного (Cб) и сосняка черничного (Cч) в условиях Белорусского Поозерья

Fig. 2. Average values of the number of individuals (\pm standard error) of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of power line corridor (ЛЭП) and initial lingonberry pine forest (Cб) and bilberry pine forest (Cч) in the conditions of the Belarusian Poозerie

Как видно на рис. 2, характеризующем различия видового богатства (q_0), кривая, характеризующая данный биотоп, достигает асимптоты. Кривые, как интерполяции (отражают наблюдаемое число видов), так и экстраполяции (прогнозируют возможное число видов), соответствующие лесам, более пологие. Это указывает, что эти места обитания могут отличаться еще более высоким видовым богатством жужелиц. Кроме того, непараметрический эстиматор Чhao-1 показал, что прогнозируемое среднее число видов в выборках может составить 8,5 (83,33 % от наблюдаемого) в сосняке брусничном, 13 (75,67% от наблюдаемого) в сосняке черничном и 19 (73,14 % от наблюдаемого). Несмотря на различия выявленного и прогнозируемого числа видов, их соотношения, выраженные в процентах, свидетельствуют о достаточно высоких выборочных усилиях, приложенных во время сбора материала.

Таким образом, основываясь на анализах различного типа в целом, можно констатировать более высокое видовое богатство жужелиц на просеках ЛЭП по сравнению с исходными лесными экосистемами, что и продемонстрировано на рисунках 1 и 2.

Число особей в ассамблеях жужелиц, соответствующих трем исследованным местам обитания, достоверно различалось ($H=6,97$, $p=0,003$) и продемонстрировало тренд, сходный с видовым богатством. Наибольшее среднее число особей ($89,4 \pm 16,68$) было зарегистрировано на просеках ЛЭП, наименьшее – в сосняке брусничном ($44,4 \pm 3,33$). В сосняке черничном данный показатель составил $53,1 \pm 4,52$.

Данные о выявленном и прогнозируемом видовом богатстве жужелиц представлены на рис. 3.

При этом количество особей в лесах не различалось значимо ($p < 0,05$), что следует из рис. 3.

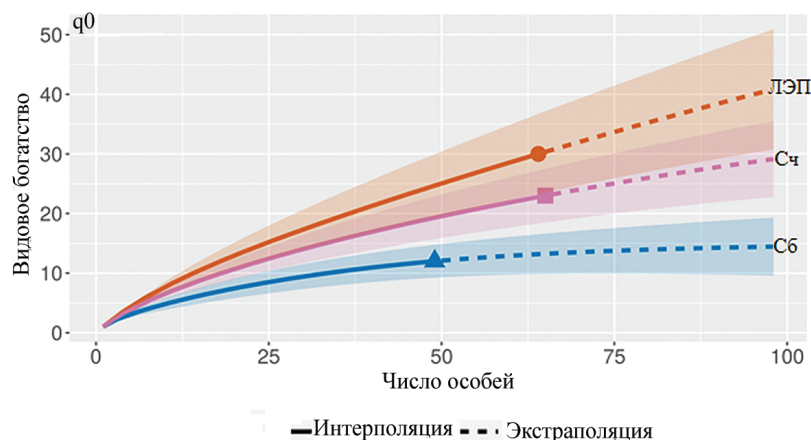


Рис. 3. Выявленное (интерполяция) и прогнозируемое (экстраполяция) видовое богатство жужелиц (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП и исходных сосняка брусничного (Cб) и сосняка черничного (Cч) в условиях Белорусского Поозерья

Fig. 3. Revealed (interpolation) and predicted (extrapolation) species richness of beetles (Coleoptera, Carabidae) of power line corridor (ЛЭП) and initial lingonberry pine forest (Cб) and bilberry pine forest (Cч) in the conditions of the Belarusian Poозerie

Видовое разнообразие жуужелиц с помощью индексов q_1 и q_2 показано на рис. 4 и 5.

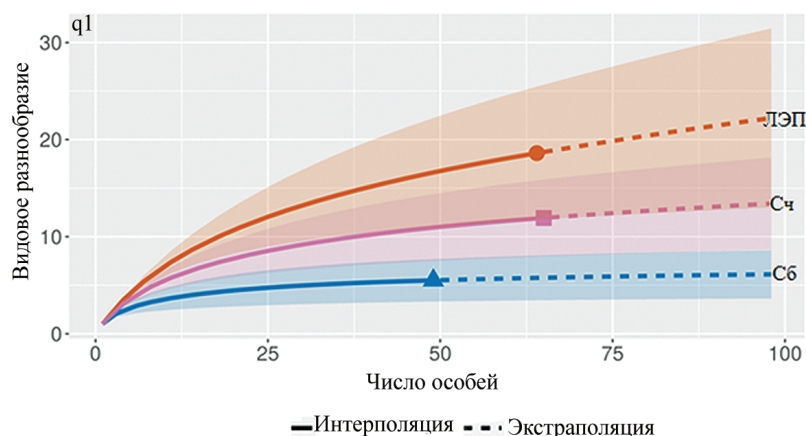


Рис. 4. Выявленное (интерполяция) и прогнозируемое (экстраполяция) видовое разнообразие (выражено экспонентой индекса Шеннона – H') жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП и исходных сосняка брусничного (Сб) и сосняка черничного (Сч) в условиях Белорусского Поозерья

Fig. 4. Identified (interpolation) and predicted (extrapolation) species diversity (expressed by the exponent of the Shannon index – H') ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of power line corridor (ЛЭП) and the original lingonberry pine forest (Сб) and blueberry pine forest (Сч) in the conditions of the Belarusian Poozerie

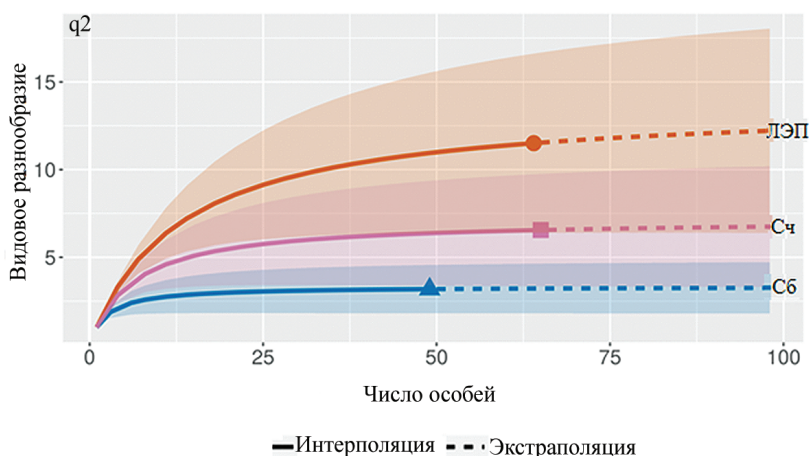


Рис. 5. Выявленное (интерполяция) и прогнозируемое (экстраполяция) видовое разнообразие (выражено значениями обратного индекса Симпсона, $1 - D$) жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП и исходных сосняка брусничного (Сб) и сосняка черничного (Сч) в условиях Белорусского Поозерья

Fig. 5. Identified (interpolation) and predicted (extrapolation) species diversity (expressed by the values of the inverse Simpson index, $1 - D$) of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of power line corridor (ЛЭП) and initial lingonberry pine forest (Сб) and blueberry pine forest (Сч) in the conditions of the Belarusian Poozerie

Анализ видового разнообразия, основанный на значениях двух индексов (q_1 и q_2), продемонстрировал на рис. 4 и 5 более высокое разнообразие в ассамблеях жуужелиц просек ЛЭП по сравнению с прилегающими лесными экосистемами. При этом разнообразие в сосняке черничном было выше, чем в сосняке брусничном. Выровненность видов по обилию во всех местах обитания была относительно невысокой и составила в сосняке брусничном $J' = 0,556 \pm 0,03$, в сосняке черничном – $J' = 0,535 \pm 0,01$, на просеке ЛЭП – $J' = 0,539 \pm 0,05$. Достоверные различия значений индекса Пielу не обнаружены ($H_c = 0,63$, $p = 0,072$).

Выявленные показатели разнообразия обусловлены преобладанием ограниченного числа видов в каждом из исследованных местообитаний. В частности, в сосняке брусничном к ним относятся *Carabus coriaceus* (8,10 % от всех отловленных особей), *Carabus hortensis* (9,23 %), *Calathus micropterus* (28,83 %) и *Carabus arvensis* (40,09 %), в сосняке черничном – *Pterostichus oblongopunctatus* (8,29%), *Carabus hortensis* (9,04 %), *Calathus micropterus* (28,25 %) и *Carabus arvensis* (38,61 %), на просеке под ЛЭП – *Poecilus versicolor* (6,04 %), *Pterostichus oblongopunctatus* (9,96 %), *Calathus micropterus* (16,11 %), *Carabus arvensis* (16,78 %) и *Calathus erratus* (33,33 %).

Места обитания, уровень различия, вклад в %, а также гетерогенность сообществ жуужелиц в зависимости от экологических условий показана в табл. 3.

Таблица 3

Вклад в гетерогенность ассамблей жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП
и исходных лесов отдельных видов по результатам SIMPER теста

Table 3

Contribution to the heterogeneity of assemblies of ground beetles (Coleoptera, Carabidae)
of power line corridors and original forests of certain species according to the results of the SIMPER test

Виды	Биотопы			
	ЛЭП/сосняк брусничный		ЛЭП/сосняк черничный	
	Уровень различия	Вклад в %	Уровень различия	Вклад в %
<i>Calathus erratus</i>	15,13	26,49	14,4	30,21
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i>	6,04	10,58	3,767	7,902
<i>Poecilus versicolor</i>	3,61	6,334	2,88	6,041

Примечание. Указаны только виды, с вкладом более 5 %.

Результаты проведенного двухфакторного дисперсионного анализа продемонстрировали достоверное ($p < 0,05$) влияние типа местообитания на число особей, видовое богатство и разнообразие жуужелиц, выраженное индексом Шеннона, представлены в табл. 4. Тогда как год исследований не влиял значимо ($p > 0,05$), что свидетельствует об отсутствии автокорреляции.

Таблица 4

Влияние типа биотопа и года исследования на число особей, видовое богатство и разнообразие жуужелиц
(Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП и исходных лесов (результаты дисперсионного анализа two-way ANOVA)

Table 4

Influence of biotope type and study year on the number of individuals, species richness, and diversity
of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of power line corridors and original forests (results of two-way ANOVA analysis)

Переменная	Число особей (N)			Число видов (S)			Индекс Шеннона (H')		
	Число степеней свободы (df)	F-критерий	p-уровень	Число степеней свободы (df)	F-критерий	p-уровень	Число степеней свободы (df)	F-критерий	p-уровень
Свободный член (Intercept)	1	775,55	***	1	1120,48	***	1	963,88	***
Год	1	1,25	н.з.	1	1,003	н.з.	1	1,22	н.з.
Биотоп	2	172,75	**	2	88,57	*	2	17,64	*
Год / Биотоп	3	1,19	н.з.	3	1,52	н.з.	3	1,78	н.з.

Примечание. Уровень значимости (p): *** – меньше 0,001, ** – меньше 0,01, * – меньше 0,05, н.з. – нет значимых различий.

Обобщенные модели множественной регрессии (GLM), позволяющие оценить некоторые факторы среды на структуру сообществ жуужелиц, представлены в таблицах 5 и 6.

Для оценки влияния определенных факторов среды на число особей, видовое богатство и разнообразие жуужелиц просек ЛЭП и исходных лесов выполнен регрессионный анализ. Построенные обобщенные модели множественной регрессии (GLM) продемонстрировали отсутствие достоверного влияния ($p > 0,05$) измеренных переменных на видовое богатство жуужелиц всех исследованных местообитаний. На просеке ЛЭП на число особей значимо ($p < 0,05$) влияла высота травяно-кустарничкового яруса (отрицательный эффект) (табл. 5), в лесах достоверное влияние оказали рН и толщина мохового покрова (отрицательный эффект), а также проективное покрытие кустарничков и высота деревьев (положительный эффект) (табл. 6). Разнообразие жуужелиц просек ЛЭП, выраженное индексом Шеннона, имело положительную зависимость от высоты и проективного покрытия кустарничков, а также доли открытого грунта и отрицательную от

влажности почвы (табл. 5). В исходных лесах разнообразие определялось проективным покрытием кустарничков и возрастало с его увеличением (табл. 6).

Переменные, отражающие состояние населения жуелиц на просеках и сосновых лесах по результатам обобщенных моделей множественной регрессии GLM, представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Влияние переменных среды на число особей, видовое богатство и разнообразие жуелиц (Coleoptera, Carabidae) просек ЛЭП (результаты построения обобщенных моделей множественной регрессии GLM)

Table 5

Influence of environmental variables on the number of individuals, species richness and diversity of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of power line corridors (results of constructing generalized GLM multiple regression models)

Переменная среды	Коэффициент (Estimate)	Стандартная ошибка (Standard. Error)	Значения критериев Вальда (z) и Стьюдента (t)	p-уровень
Видовое богатство ($R^2 = 0,733$)				
Свободный член (Intercept)	1,08	1,77	0,61	н.з.
Высота травяно-кустарничкового яруса (см)	–0,01	0,01	–0,96	н.з.
pH	0,33	0,28	1,19	н.з.
Проективное покрытие кустарничкового яруса (%)	–0,005	0,01	0,49	н.з.
Доля открытого грунта (%)	–0,01	0,04	–0,03	н.з.
Количество деревьев, высотой 2–5 м	0,01	0,08	1,05	н.з.
Влажность гумусового слоя (%)	–0,02	0,03	–0,75	н.з.
Число особей ($R^2 = 0,929$)				
Свободный член (Intercept)	2,13	3,28	0,65	н.з.
Высота травяно-кустарничкового яруса (см)	–0,11	0,02	–4,94	*
pH	0,78	0,52	1,57	н.з.
Проективное покрытие кустарничкового яруса (%)	–0,03	0,02	–1,64	н.з.
Доля открытого грунта (%)	–0,01	0,01	–0,96	н.з.
Количество деревьев, высотой 2–5 м	0,02	0,01	1,69	н.з.
Влажность гумусового слоя (%)	0,11	0,07	1,46	н.з.
Видовое разнообразие (H') ($R^2 = 0,977$)				
Свободный член (Intercept)	–1,17	0,58	–2,02	
Высота травяно-кустарничкового яруса (см)	0,03	0,01	8,87	**
pH	0,03	0,09	0,43	н.з.
Проективное покрытие кустарничкового яруса (%)	0,02	0,03	5,77	*
Доля открытого грунта (%)	0,01	0,01	6,67	**
Количество деревьев, высотой 2–5 м	0,02	0,02	–0,87	н.з.
Влажность гумусового слоя (%)	–0,04	0,01	–3,88	*

Примечание. Уровень значимости (p): *** – меньше 0,001; ** – меньше 0,01; * – меньше 0,05; н.з. – нет значимого влияния.

Таблица 6

Влияние переменных среды на число особей, видовое богатство и разнообразие жуков (Coleoptera, Carabidae) сосновых лесов (результаты построения обобщенных моделей множественной регрессии GLM)

Table 6

Influence of environmental variables on the number of individuals, species richness, and diversity of beetles (Coleoptera, Carabidae) in pine forests (results of constructing generalized GLM multiple regression models)

Переменная среды	Коэффициент (Estimate)	Стандартная ошибка (Standard. Error)	Значения критериев Вальда (z) и Стьюдента (t)	p-уровень
Видовое богатство ($R^2 = 0,651$)				
Свободный член (Intercept)	1,45	2,29	0,63	н.з.
Число видов растений	0,01	0,06	0,080	н.з.
Высота травяно-кустарничкового яруса (см)	-0,01	0,09	-0,08	н.з.
pH	0,37	0,53	0,73	н.з.
Проективное покрытие кустарничкового яруса (%)	-0,01	0,01	-0,64	н.з.
Количество деревьев	-0,03	0,03	-0,94	н.з.
Высота деревьев (м)	0,01	0,02	0,02	н.з.
Количество деревьев, высотой 2–5 м	-0,01	0,01	-1,82	н.з.
Влажность гумусового слоя (%)	-0,02	0,03	-0,67	н.з.
Толщина мохового покрова (см)	0,01	0,02	0,11	н.з.
Число особей ($R^2 = 0,912$)				
Свободный член (Intercept)	7,03	1,84	3,81	***
Число видов растений	0,01	0,05	0,33	н.з.
Высота травяно-кустарничкового яруса (см)	0,01	0,01	1,43	н.з.
pH	-1,03	0,43	-2,39	*
Проективное покрытие кустарничкового яруса (%)	0,01	0,01	2,34	*
Количество деревьев	-0,02	0,02	0,83	н.з.
Высота деревьев (м)	0,02	0,01	1,79	*
Количество деревьев, высотой 2–5 м	-0,09	0,01	1,22	н.з.
Влажность гумусового слоя (%)	0,07	0,02	0,83	н.з.
Толщина мохового покрова (см)	-0,05	0,02	-2,25	*
Видовое разнообразие (H') ($R^2 = 0,957$)				
Свободный член (Intercept)	0,27	10,27	0,02	*
Число видов растений	-0,01	0,31	0,05	н.з.
Высота травяно-кустарничкового яруса (см)	0,01	0,04	0,02	н.з.
pH	0,09	2,34	0,03	н.з.
Проективное покрытие кустарничкового яруса (%)	0,01	0,01	0,11	**
Количество деревьев	-0,04	0,13	-0,03	н.з.
Высота деревьев (м)	0,01	0,08	0,13	н.з.
Количество деревьев, высотой 2–5 м	-0,03	0,04	-0,07	н.з.
Влажность гумусового слоя (%)	-0,02	0,15	-0,15	н.з.
Толщина мохового покрова (см)	0,01	0,12	0,08	н.з.

Примечание. Уровень значимости (p): *** – меньше 0,001; ** – меньше 0,01; * – меньше 0,05; н.з. – нет значимого влияния.

Обсуждение результатов исследования

Представленные результаты исследований впервые демонстрируют на примере семейства жужелиц отряда Coleoptera особенности их разнообразия в таких местах обитания, как вырубки линий электропередач в сосновых лесах в условиях Белорусского Поозерья.

Выполненные ранее в Швеции исследования с использованием чешуекрылых насекомых как модельного таксона показали, что вырубки ЛЭП сами по себе являются важными средами обитания независимо от состава прилегающих биотопов (зрелый лес, сплошные вырубки или пахотные земли). Было также отмечено, что вырубки ЛЭП способствуют увеличению видового богатства и численности чешуекрылых, в том числе и на прилегающих территориях [3; 4]. В тоже время для являющихся преимущественно зоофагами жужелиц и пауков на верещатниках, сформированных на вырубках ЛЭП, получены иные результаты. Видовое богатство жужелиц на вересковых пустошах за пределами коридоров линий электропередач значительно выше. Видовой состав жужелиц и пауков также значительно различался в этих двух местах обитания [2].

Результаты наших исследований также продемонстрировали увеличение видового богатства, числа особей и разнообразия в ассамблеях жужелиц просек ЛЭП, однако выровненность видов по обилию была не высока. Число видов в таких местах обитания, поддерживаемых на ранних стадиях сукцессии, повышается за счет миграций обитателей открытых пространств. В их числе были *Poecilus versicolor*, *Pterostichus diligens*, *Amara convexior*, *A. fulva*, *Harpalus tardus*, *H. smaragdinus* и др. Сходные тенденции обнаружены для жужелиц на вырубках в хвойных лесах Северной Европы [19].

Выявлено, что ассамблеи жужелиц поздних стадий сукцессий в лесах включают в основном крупных зоофагов, лесных, гигрофильных и бескрылых видов [20; 21; 22]. Это подтверждается и результатами наших исследований. В исходных лесах преобладали в основном *Carabus coriaceus*, *Carabus hortensis* и *Carabus arvensis*. Число особей данных видов на просеке значительно снижается и возрастает представительство видов, имеющих меньшие размеры, таких как *Pterostichus oblongopunctatus*, *Calathus micropterus* и *Calathus erratus*. Снижение числа особей лесных видов *Calathus micropterus* и *Carabus hortensis* отмечено и на вырубках в Северной Европе [23].

Следует выделить, что за исключением лугово-лесного вида *Calathus erratus* и обитателя лугов и полей *Poecilus versicolor*, в ассамблеях жужелиц просек ЛЭП преобладали лесные виды, однако в большинстве случаев их обилие было ниже. Два указанных вида вносили основной вклад в дифференциацию видового состава жужелиц просек и исходных лесов. Характерной чертой просек исследованных ЛЭП является сочетание обитателей лесов и открытых пространств, но доля последних ниже и, за исключением *Poecilus versicolor*, они представлены единичными особями.

Нами отмечено увеличение α -разнообразия на просеках ЛЭП. В тоже время известно, что разнообразие на ранних стадиях сукцессии ниже и возрастает на более поздних стадиях [24]. Вероятно, выявленная нами тенденция можно объяснить экотонным эффектом, который обуславливает увеличение видового богатства и разнообразия, в том числе и на лесных вырубках [25; 26]. Интересно отметить, что ассамблеи жужелиц просеки ЛЭП были более сходными с ассамблеями сосняка черничного, а не брусничного. Последний, по всей видимости, как место обитания жужелиц характеризуется более контрастными экологическими условиями по сравнению с коридором ЛЭП.

Как видно, жужелицы реагируют на изменение экологических условий на просеках ЛЭП, что отражается на структурной организации их ассамблей. Выполненный дисперсионный анализ продемонстрировал достоверное влияние типа места обитания на показатели биоразнообразия жужелиц. Характеризуя экологические условия просек ЛЭП на территории региона исследований как местообитания жужелиц, следует отметить увеличение здесь видового богатства растений за счет появления ряда видов кустарников и трав, таких как *Rubus caesius* L., *Rubus idaeus* L., *Pteridium aquilinum* (L.), *Knautia arvensis* (L.), *Convallaria majalis* L., *Festuca* sp., *Poa* sp., *Fragaria vesca* L., *Leontodon autumnalis* L., *Hypericum perforatum* L. Однако проективное покрытие трав не высоко. Как и в исходных экосистемах в напочвенном покрове преобладают кустарнички, представленные черникой обыкновенной и брусникой обыкновенной. Проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохового ярусов в целом снижается за счет появления участков открытого грунта вследствие прохождения техники во время ежегодных рубок древесной и кустарниковой растительности. В то же время за счет немногочисленных лиственных деревьев подроста (*Betula pendula* Roth, *Frangula alnus* Mull., *Sorbus aucuparia* L., *Quercus robur* L.) увеличивается толщина подстилки. Также отмечено снижение влажности и кислотности почвы. Последнее, вероятно, обусловлено отсутствием опадения хвои. Таким образом, на вырубках ЛЭП, по сравнению с исходными лесами, повышается инсоляция в результате отсутствия древесного яруса, изменяются pH и влажность почвы с одной стороны, и сохраняются значительные участки кустарничковой растительности, по всей видимости, формирующие на поверхности почвы микроклиматические условия сходные с прилегающими лесами – с другой.

Как показал регрессионный анализ, увеличение рН и толщины мохового покрова в лесах приводят к снижению числа особей, тогда как их увеличение обусловлено повышением проективного покрытия кустарничков и высоты деревьев. Можно предположить, что разрастание мохового яруса затрудняет передвижение жуужелиц. Кустарнички, наоборот, создают благоприятные условия для жуужелиц под своим покровом на поверхности почвы, поддерживая более стабильные микроклиматические показатели. При увеличении высоты сосен, крона которых не характеризуется высокой сомкнутостью, вероятно, увеличивается инсоляция напочвенного покрова, что может влиять на температурный режим местообитаний. На просеке ЛЭП число особей жуужелиц определялось только высотой травяно-кустарничкового яруса, снижаясь при ее увеличении. Высокие растения, в частности травы, в отсутствие древостоя, по всей видимости, были определяющими в снижении инсоляции на поверхности почвы.

Для повышения разнообразия жуужелиц, как и для числа особей, наиболее важным фактором было проективное покрытие кустарничков, поддерживающее благоприятные условия микроклимата, как в исходных лесах, так и в сформированных на их месте просеках. Одним из наиболее важных факторов среды является влажность [24]. Менее стабильные условия влажности почвы на просеке ЛЭП способствовали снижению разнообразия. Режим влажности в лесах более стабилен и значимого влияния на разнообразия жуужелиц не оказал. С другой стороны, открытые участки грунта, не покрытые растительностью, создают на просеках ЛЭП дополнительные экологические ниши, по сравнению с лесами. Это повышает разнообразие за счет обитателей открытых пространств, тогда как с проективным покрытием кустарничков, по всей видимости, связана активность обитателей лесов.

Заключение

Таким образом, на просеках ЛЭП выявлено увеличение видового богатства, числа особей и разнообразия жуужелиц по сравнению с прилегающими лесами (*Pinetum vacciniosum* и *Pinetum myrtillosum*). Кроме того, выявлено изменение видового состава и группы доминантов, в числе которых появляются обитатели открытых пространств *Poecilus versicolor* и *Calathus erratus*. Ассамблеи жуужелиц просеки ЛЭП больше всего отличались от сосняка брусничного. Регрессионный анализ показал отрицательную зависимость числа особей жуужелиц на просеках от высоты травяно-кустарничкового яруса и положительную зависимость видового разнообразия от проективного покрытия кустарничков и отрицательную зависимость от влажности почвы.

Библиографические ссылки

1. Сайт ГПО «Белэнепро» <http://www.energo.by/>
2. Lindholm M, Gunnarsson B & Appelqvist T. Are power-line corridors an alternative habitat for carabid beetle (Coleoptera: Carabidae) and wolf spider (Araneae: Lycosidae) heathland specialists? *Journal of Insect Conservation*. 2019.
3. Berg Å, Åhrne K, Öckinger E, Svensson R, Wissman J. Butterflies in semi-natural pastures and power-line corridors – effect of flower richness, management and structural characteristics. *Insect Conserv Divers*. 2013; 6:639–657.
4. Berg Å, Bergman KO, Wissman J, Zmihorski M, Öckinger E. Power-line corridors as source habitat for butterflies in forest landscapes. *Biological Conservation*. 2016;201:320–326.
5. Гельман ВС. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1982. 326 с.
6. Brown N, Jennings S, Wheeler P, Nabe-Nielsen J. An improved method for the rapid assessment of forest understorey light environments. *Journal of Applied Ecology*. 2000;37:1044–1053.
7. Ипатов ВС, Мирин ДМ. Описание фитоценоза: Методические рекомендации. Учебно-методическое пособие. СПб, 2008. 71 с.
8. Федоренко НГ, Медведева МВ. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
9. Chao A, Gotelli NJ, Hsieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK & Ellison AM. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*. 2014;84:45–67.
10. Magurran AE. The standard reference for conceptual and quantitative aspects of diversity measurement. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell Publishing; 2004.
11. Gotelli NJ, Colwell RK. Estimating species richness. *Journal Biological diversity: frontiers in measurement and assessment* (Magurran AE and McGill B J, eds). Oxford (UK): Oxford University Press; 2010, p. 39–54.
12. McCune B, Grace JB. Analysis of ecological communities. *MjM Software Design*. Gleneden Beach, 2002.
13. Zuur AF, Ieno IN, Walker NJ, Saveliev AA and Smith GM. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Berlin: Springer, 2009. 574 p.
14. Zuur AF, Ieno EN and CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*. Elphick, 2010;1:3–14.
15. R: a language and environment for statistical computing. R Development Core Team. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011.
16. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4:1–9.
17. Colwell RK. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. 2013. Version 9.1: <http://purl.oclc.org/estimates>.
18. Chao A, Ma KH, and Hsieh TC. iNEXT Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. 2016. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/

19. Koivula M, Niemela J. Boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in managed spruce forests – a summary of Finnish case studies. *Silva Fennica*. 2002;36:423–436.
20. Zysko J. State of Carabidae (Col.) fauna in fresh pine forest and tentative valorisation of this environment. *Treatises and Monographs*. 1983;28:1–80.
21. Sushko G. Spatial distribution of epigeic beetles (Insecta, Coleoptera) in the “Yelnia” peat bog. *Baltic Journal of Coleopterology*. 2014;14(2):151–161.
22. Skłodowski J. Consequence of the transformation of a primeval forest into a managed forest for carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) – a case study from Białowieża (Poland). *European Journal Entomology*. 2014;111(5):639–648. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.088>.
23. Koivula M. Alternative harvesting methods and boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). *Forest Ecology and Management*. 2002;167:103–121.
24. Begon M, Harper JL, Townsend CR. Ecology: Individuals, Populations and Communities. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1986. Volume 2. 477 p.
25. Murcia C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 1995;10:58–62.
26. Risser P. The status of science examining ecotones. *BioScience*. 1995;45:318–325.

References

1. Site of State Production Association “Belenergo” <http://www.energo.by/>
2. Lindholm M, Gunnarsson B & Appelqvist T. Are power-line corridors an alternative habitat for carabid beetle (Coleoptera: Carabidae) and wolf spider (Araneae: Lycosidae) heathland specialists? *Journal of Insect Conservation*. 2019.
3. Berg Å, Åhrne K, Öckinger E, Svensson R, Wissman J. Butterflies in semi-natural pastures and power-line corridors – effect of flower richness, management and structural characteristics. *Insect Conserv Divers*. 2013;6:639–657.
4. Berg Å, Bergman KO, Wissman J, Zmihorski M, Öckinger E. Power-line corridors as source habitat for butterflies in forest landscapes. *Biological Conservation*. 2016;201:320–326.
5. Geltman VS. *Geograficheskiy i tipologicheskiy analiz lesnoy rastitelnosti Bielorusii* [Geographic and typological analysis of forest vegetation in Belarus]. Minsk: Science and technology; 1982. 326 p. Russian.
6. Brown N, Jennings S, Wheeler P, Nabe-Nielsen J. An improved method for the rapid assessment of forest understorey light environments. *Journal of Applied Ecology*. 2000;37:1044–1053.
7. Ipatov VS, Mirin DM. *Opisanie fitotsenoza. Metodicheskie rekomendatsii*. [Description of phytocenosis. Methodical recommendations]. *Uchebno-metodicheskoe posobiye*. [Study guide]. SPb, 2008. 71 p. Russian.
8. Fedorets NG, Medvedeva MV. *Metodika issledovaniya pochv urbanizirovannykh territoriy*. [Methods of studying soils of urbanized territories]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2009. 84 p. Russian.
9. Chao A, Gotelli NJ, Hsieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK & Ellison AM. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*. 2014;84:45–67.
10. Magurran AE. The standard reference for conceptual and quantitative aspects of diversity measurement. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell Publishing; 2004.
11. Gotelli NJ, Colwell RK. Estimating species richness. *Journal Biological diversity: frontiers in measurement and assessment* (Magurran AE and McGill B J, eds). Oxford (UK): Oxford University Press; 2010, p. 39–54.
12. McCune B, Grace JB. Analysis of ecological communities. *MjM Software Design*. Gleneden Beach, 2002.
13. Zuur AF, Ieno IN, Walker NJ, Saveliev AA and Smith GM. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Berlin: Springer, 2009. 574 p.
14. Zuur AF, Ieno EN and CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*. Elphick, 2010;1:3–14.
15. R: a language and environment for statistical computing. R Development Core Team. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011.
16. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4:1–9.
17. Colwell RK. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. 2013. Version 9.1: <http://purl.oclc.org/estimates>.
18. Chao A, Ma KH, and Hsieh TC. iNEXT Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. 2016. Program and User’s Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/
19. Koivula M, Niemela J. Boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in managed spruce forests – a summary of Finnish case studies. *Silva Fennica*. 2002;36:423–436.
20. Zysko J. State of Carabidae (Col.) fauna in fresh pine forest and tentative valorisation of this environment. *Treatises and Monographs*. 1983;28:1–80.
21. Sushko G. Spatial distribution of epigeic beetles (Insecta, Coleoptera) in the “Yelnia” peat bog. *Baltic Journal of Coleopterology*. 2014;14(2):151–161.
22. Skłodowski J. Consequence of the transformation of a primeval forest into a managed forest for carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) – a case study from Białowieża (Poland). *European Journal Entomology*. 2014;111(5):639–648. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.088>.
23. Koivula M. Alternative harvesting methods and boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). *Forest Ecology and Management*. 2002;167:103–121.
24. Begon M, Harper JL, Townsend CR. Ecology: Individuals, Populations and Communities. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1986. Volume 2. 477 p.
25. Murcia C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 1995;10:58–62.
26. Risser P. The status of science examining ecotones. *BioScience*. 1995;45:318–325.

Статья поступила в редколлегию 30.10.2020.
Received by editorial board 30.10.2020.