

УДК 595.762.12(476.5)

Г. Г. СУШКО, А. А. ЛАКОТКО, Т. Н. СУШКО

## ВЛИЯНИЕ НАРУШЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАЗРЫВОВ В СОСНЯКАХ МШИСТЫХ И ЧЕРНИЧНЫХ В БЕЛОРУССКОМ ПООЗЕРЬЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАЗНООБРАЗИЯ ЖУЖЕЛИЦ (*COLEOPTERA*, *CARABIDAE*)

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова, Витебск, Беларусь,  
e-mail: gennadis@rambler.ru*

**Аннотация.** Противопожарные просеки с минерализованной полосой в лесах имеют значительную протяженность и отличаются специфическими экологическими условиями по сравнению с лесом. Удаление деревьев и регулярное вспахивание способствует изменению уровня освещенности и микроклиматических условий на поверхности почвы, в том числе из-за отсутствия кустарничкового яруса, широко представленного в Белорусском Поозерье видами *Vaccinium myrtillus* L. и *V. vitis-idaea* L. В составе растительного покрова возрастает участие *Rubus nessensis* Hall и всходов *Betula pendula* Roth, а также ряда рудеральных растений.

Рассмотрены широко распространенные в Белорусском Поозерье сосняки мшистые (*Pinetum pleurozium*) и черничные (*Pinetum myrtillosum*). Выявлены основные направления изменений  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразия жуужелиц. В частности, на просеках отмечено возрастание их обилия с одной стороны и снижение разнообразия – с другой, по сравнению с сосняками мшистыми и черничными. Различался и видовой состав на просеках и в лесах. Основные различия вносят несколько видов с высоким обилием, обитатели преимущественно открытых биотопов, среди которых высоко представительство ксерофилов. Тогда как в контрольных сосняках мшистых и черничных преобладали лесные мезофильные виды.

**Ключевые слова:** сосновые леса, просеки, противопожарный разрыв, растительный покров, биоразнообразиие, жуужелицы.

G. G. SUSHKO, A. A. LAKOTKO, T. N. SUSHKO

## DISTURBANCE VEGETATION COVER INFLUENCE OF FIRE-BREAKS IN MOSSY AND BLUEBERRY PINE FORESTS IN THE BELARUSIAN LAKE REGION ON THE DIVERSITY INDICATORS OF GROUND BEETLES (*COLEOPTERA*, *CARABIDAE*)

*Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Belarus, e-mail: gennadis@rambler.ru*

**Annotation.** Fire-protection breaks with a mineralized strip of open ground in forests are of considerable length and have specific ecological conditions. Removal of the tree stand and regular plowing contribute to changes in the level of illumination and microclimatic conditions, including due to the absence of the dwarf shrub layer widely represented in the Belarusian Lakeland by *Vaccinium myrtillus* L. and *V. vitis-idaea* L. The proportion of *Rubus nessensis* Hall and seedlings of *Betula pendula* Roth, as well as a number of ruderal plants, increases in the vegetation cover.

Pine forests, such as *Pinetum pleurozium* and *Pinetum myrtillosum*, widespread in the Belarusian Lakeland, are considered. The main directions of changes in the  $\alpha$ - and  $\beta$ -diversity of ground beetles are revealed. In particular, in the clearings an increase in their abundance on the one hand and a decrease in diversity on the other hand were noted, compared to the pine forests. The species composition also differed in the clearings and in the forests. The main differences are introduced by several species with high abundance, inhabitants of mainly open biotopes, among which xerophiles are highly represented. Whereas in the control pine forests (*Pinetum pleurozium* and *Pinetum myrtillosum*), forest mesophilic species prevailed.

**Key words:** pine forests, clearings, fire-protection breaks, plant cover, biodiversity, ground beetles.

### ВВЕДЕНИЕ

Борьба с лесными пожарами является важной составляющей лесохозяйственной деятельности, так как в результате пожаров сокращаются площади лесов и уничтожаются ценные биологические ресурсы. Кроме того, пожары негативно влияют на биологическое разнообразие, приводя

к фрагментации или полному уничтожению местообитаний. Согласно правилам пожарной безопасности, в лесах создают противопожарные разрывы, представляющие собой барьеры для возможного пожара в виде просек с минерализованной полосой. Для обнажения минерального

грунта проводят регулярное удаление горючих материалов, растений и вспахивание таких просек. Ширина просеки может составлять до 20 м, а очищенная минерализованная полоса в пределах просеки должна быть шириной не менее 2,5 м [1, 2]. Противопожарные разрывы присутствуют во всех лесных массивах и имеют значительную протяженность.

Удаление живого напочвенного покрова производят на регулярной основе. В результате на просеках формируются экологические условия, отличающиеся от таковых в лесах: изменяется температурный режим, освещенность, влажность. Уничтожение растений, подстилки и гумусового слоя, а также последующая варибельность видового состава растений в ходе вторичной сукцессии может привести к перестройкам трофических сетей исходной экосистемы. Нарушение растительного покрова способствует и изменению микроклиматических условий на поверхности почвы, в том числе из-за отсутствия на просеках кустарничкового яруса, широко представленного в Белорусском Поозерье видами *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*. Таким образом, противопожарные разрывы можно рассматривать как постоянные, поддерживаемые человеком местообитания, по крайней мере, для организмов с невысокой мобильностью.

### ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в Белорусском Поозерье в сосновых лесах, расположенных в Витебской области (Миорский район, окр. д. Волковщина; координаты N 55°56'65.17", E 27°43'60.53"). В качестве стационаров выбраны сосняки мшистые (*Pinetum pleurozium*) и сосняки черничные (*Pinetum myrtillosum*), которые характеризуются различиями в условиях обитания вследствие различного фитоценологического состава и микроклиматических показателей, формируемых кустарничковым ярусом. Использование данных фитоценозов в качестве контроля позволит более детально охарактеризовать изменчивость экологических условий при сравнении с просеками. Просеки, шириной около 20 метров, отличались от исходных типов леса мозаичной структурой с наличием участков открытого грунта, участков, покрытых кустарниками, кустарничками и травами, а также молодой древесной порослью (рис. 1).

Сборы жужелиц проводили с конца апреля до конца октября в 2021 г., с интервалом 10–14 дней, с использованием метода почвенных ловушек на 15 выбранных в случайном порядке участках (по пять в каждом биотопе). Ловушки устанавливали на линейных трансектах: на про-

Мы предполагаем, что создание противопожарных разрывов с минеральными полосами может оказать влияние на состав и структуру комплексов эпигейных беспозвоночных, обладающих невысокой мобильностью и тесно связанных с микроклиматическими условиями, которые формируют лесная подстилка, моховый, травяной и кустарничковый ярусы. Одной из наиболее обширных групп беспозвоночных животных, обитающих на поверхности почвы, являются жесткокрылые насекомые семейства жужелицы. Вследствие изученности их биологии, высокого видового богатства и численности, жужелицы часто используют для биоиндикации и экологического мониторинга [3].

Влияние лесных дорог на пространственное распространение жужелиц и изменение разнообразия ассамблей жужелиц в лесах на просеках уже обсуждено в ряде публикаций [4-7]. Однако, оценку влияния ежегодно обновляемых противопожарных разрывов на биоразнообразие почвенных беспозвоночных, включая жужелиц, до настоящего времени в Беларуси не выполняли.

В связи с этим цель данной работы – дать сравнительную характеристику  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразия жужелиц просек с противопожарным разрывом и исходных биотопов на примере сосновых лесов.

секах – по центру, на контрольных лесных участках – в 50 метрах от просеки (для избегания влияния экотонного эффекта). Расстояние между ловушками составляло 5 м. На каждом участке устанавливали по 3 ловушки, представляющих собой пластиковые стаканчики объемом 250 мл, на треть заполненных 9% раствором уксусной кислоты. Таким образом, в трех типах биотопов эксперимент выполнен в пятикратной повторности.

В каждом типе биотопа для характеристики условий обитания жужелиц на пяти учетных площадках рядом с установленными ловушками, размером 1×1 м, выполнена оценка видового состава, числа видов, проективного покрытия и высоты живого напочвенного покрова в период максимального развития травостоя по общепринятой методике [8].

Различия между показателями  $\alpha$ -разнообразия, такими как видовое богатство, обилие (число особей в выборках), индексы Шеннона и Пielу, проверены с использованием теста Краскела-Уоллиса с апостериорным тестом Данна. Перед анализом данные проверены с использованием теста Шапиро-Уилка, нормальное распределение не обнаружено [9].



**Рис. 1.** Противопожарный разрыв в сосновом лесу

**Fig. 1.** Fire protection break in pine forest

Для оценки истинного видового богатства и разнообразия жужелиц построены кривые разрежения и экстраполяции на основе чисел Хилла с

использованием пакета iNEXT.4steps [10]. Первое число Хилла ( $q=0$ ) описывает видовое богатство. Другие числа Хилла характеризуют разнообразие и представлены модифицированными индексами:  $q=1$  – экспоненциальный индекс Шеннона,  $q=2$  – инверсный индекс Симпсона ( $1-D$ ). Кривые разрежения и экстраполяции, а также охвата выборки на основе матрицы данных обилия построены с 95% доверительными интервалами, которые получены методом бутстрепа на основе 100 репликаций [11]. Модели распределения обилия (кривые ранг-обилие) построены с использованием PAST 4.16c [12].

Для оценки  $\beta$ -разнообразия применен тест ANOSIM на основе меры различия Брея-Кертиса с 999 перестановками. Визуализация различий в видовом составе жужелиц трех исследованных биотопов выполнена с помощью неметрического многомерного шкалирования (NMDS) на основе расстояния Брея-Кертиса. Обилие видов (число особей в выборках) преобразовано  $\log(x+1)$  перед NMDS. Наиболее характерные виды для изученных типов местообитаний выявлены с помощью SIMPER теста [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Изменение в составе живого напочвенного покрова*

Экологические условия просек отличаются от контрольных лесных местообитаний, которые в свою очередь также имеют различия, прежде всего из-за изменения фитоценологических показателей. Просеки характеризовались увеличением видового богатства высших сосудистых растений в живом напочвенном покрове. Здесь выявлено 23 вида, тогда как в контрольных сосняках черничных и мшистых видовое богатство вдвое ниже (по 11 видов в каждом) (табл. 1). Следует подчеркнуть и качественные изменения видового состава растений за счет появления на просеках видов открытых биотопов, рудеральных видов и уменьшения представительства лесных видов. В отличие от контрольных сосняков, в напочвенном покрове здесь чаще встречаются *Calamagrostis epigejos*, *Festuca ovina*, *Solidago virgaurea*, *Erigeron canadensis*. В составе растительного покрова возрастает участие всходов *Betula pendula* и *Rubus nessensis*, а также ряда рудеральных растений, включая *Rumex acetosella* и *Urtica dioica*. Кустарнички *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea* отмечены фрагментарно. Моховый ярус практически отсутствует. Значительные изменения на просеках претерпела и высота напочвенного покрова, которая составила  $68,15 \pm 2,08$  см. Тогда как в контрольных сосняках этот показатель ниже –  $39,0 \pm 2,90$  см в сосняке черничном и  $44,93 \pm 0,87$  см в сосняке мшистом.

В напочвенном покрове контрольных сосняков мшистых преобладают зеленые мхи *Pleurozium schreberi* и *Dicranum sp.* (проективное покрытие мохового яруса  $97,0 \pm 0,36\%$ ). Травяно-кустарничковый ярус выражен слабо (проективное покрытие  $6,45 \pm 0,43\%$ ). Наиболее характерны здесь *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Melampyrum sylvaticum* и *Convallaria majalis*. Древостой монодоминантный с преобладанием *Pinus sylvestris* (более 90%) и небольшой примесью *Betula pendula*. Высота древостоя составила  $23,30 \pm 1,65$  м.

Контрольные сосняки черничные также, как и мшистые, в отличие от просек, имели выраженный моховый ярус, проективное покрытие которого составило  $89,20 \pm 2,0\%$ , представленный преимущественно *Pleurozium schreberi* и *Dicranum sp.* Травяно-кустарничковый ярус хорошо выражен (проективное покрытие  $53,60 \pm 9,09\%$ ). Среди высших сосудистых растений, кроме доминирующего вида *Vaccinium myrtillus*, здесь отмечены *V. vitis-idaea*, *Calamagrostis epigeios*, *Melampyrum sylvaticum* и др. Древостой монодоминантный с преобладанием *Pinus sylvestris* (около 90%) и небольшой примесью *Betula pendula*. Высота древостоя составила  $20,57 \pm 1,13$  м.

Следовательно, не сложно предположить, что, изменение фитоценологических условий на просеках, может оказывать воздействие на комплексы

эпигейных беспозвоночных за счет изменения микроклиматических условий, которые обусловлены отсутствием древостоя и нарушением живого напочвенного покрова. С другой стороны,

изменчивость видового состава растений может привести и к преобразованию трофических сетей, так как меняется соотношения фитофагов, особенно монофагов и олигофагов и зоофагов.

**Таблица 1.** Видовой состав высших сосудистых растений живого напочвенного покрова противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

**Table 1.** Species composition of higher vascular plants of the living ground cover of fire protection breaks and control pine forests

| Наименование вида                                     | Просека | Сосняк мшистый | Сосняк черничный |
|---|---------|----------------|------------------|
| <i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull                     | +       | +              | +                |
| <i>Rubus idaeus</i> L.                                | +       | .              | .                |
| <i>Rubus nessensis</i> Hall                           | +       | .              | .                |
| <i>Vaccinium myrtillus</i> L.                         | +       | +              | +                |
| <i>V. vitis-idaea</i> L.                              | +       | +              | +                |
| <i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth            | .       | .              | +                |
| <i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth               | +       | +              | +                |
| <i>Dactylis glomerata</i> L.                          | .       | +              | .                |
| <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.           | .       | .              | +                |
| <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski                   | +       | .              | .                |
| <i>Festuca ovina</i> L.                               | +       | .              | .                |
| <i>Festuca pratensis</i> Huds.                        | .       | +              | .                |
| <i>Festuca rubra</i> L.                               | +       | +              | +                |
| <i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench                   | .       | .              | +                |
| <i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.                 | .       | +              | .                |
| <i>Artemisia campestris</i> L.                        | +       | .              | .                |
| <i>Convallaria majalis</i> L.                         | .       | .              | +                |
| <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.          | +       | .              | .                |
| <i>Erigeron canadensis</i> L.                         | +       | .              | .                |
| <i>Galium verum</i> L.                                | +       | .              | .                |
| <i>Jasione montana</i> L.                             | +       | .              | .                |
| <i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.                   | +       | .              | .                |
| <i>Leontodon hispidus</i> L.                          | +       | .              | .                |
| <i>Lysimachia europaea</i> (L.) U. Manns & Anderb.    | .       | .              | +                |
| <i>Melampyrum sylvaticum</i> L.                       | +       | .              | +                |
| <i>Oenothera biennis</i> L.                           | +       | .              | .                |
| <i>Pilosella officinarum</i> F.W. Schultz & Sch. Bip. | .       | +              | .                |
| <i>Pyrola minor</i> L.                                | .       | +              | .                |
| <i>Rumex acetosella</i> L.                            | +       | .              | .                |
| <i>Sedum acre</i> L.                                  | +       | .              | .                |
| <i>Scorzonera humilis</i> L.                          | .       | +              | .                |
| <i>Solidago virgaurea</i> L.                          | +       | .              | .                |
| <i>Thymus serpyllum</i> L.                            | +       | .              | .                |
| <i>Urtica dioica</i> L.                               | +       | .              | .                |

### Изменения в биоразнообразии эпигейных жужелиц

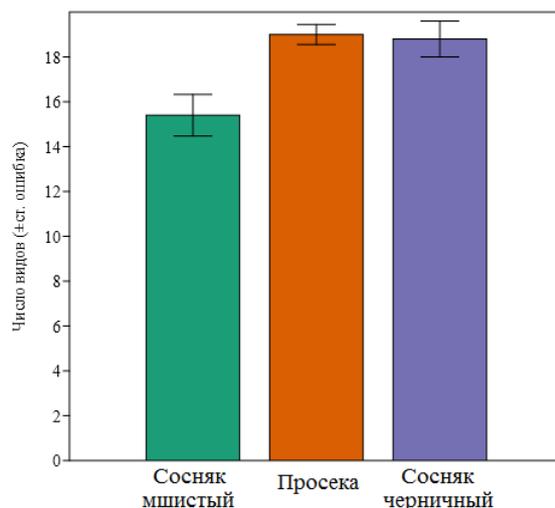
Выявлено 2647 особей жесткокрылых семейства жужелиц, принадлежащих к 14 родам и 43 видам (табл. 2). Общее число видов, выявленных на просеках, составило 28. Столько же видов обнаружено в сосняках черничных, несколько меньше – в сосняках мшистых. Среднее число видов в выборках не различалось значимо ( $\chi^2 = 5,58$ ,  $p = 0,057$ ), однако апостериорные сравнения продемонстрировали значимо ( $p < 0,05$ ) более высокое видовое богатство жужелиц на просе-

ках, по сравнению с сосняками мшистыми (рис. 2). Асимптотическая оценка видового богатства жужелиц просеки с использованием числа Хилла  $q = 0$  показала достаточно высокую полноту выборочных усилий, так как кривая на основе разрежения и экстраполяции близка к асимптоте (рис. 3). С другой стороны, неасимптотический анализ, демонстрирующий охват выборки ( $S_{max} = 0,95$ ), указывает на то, что доля невыявленных видов составляет не более 5% (рис. 4).

**Таблица 2.** Параметры  $\alpha$ -разнообразия ассамблей жужелиц противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

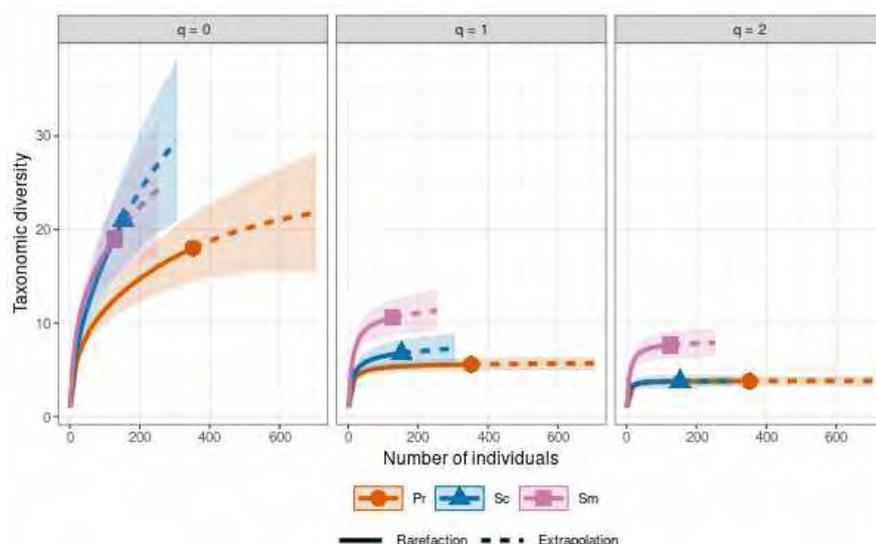
**Table 2.** The  $\alpha$ -diversity metrics of ground beetle assemblages of fire protection breaks and control pine forests

| Параметры разнообразия                             | Просека   | Сосняк мшистый | Сосняк черничный |
|--|-----------|----------------|------------------|
| Общее число выявленных видов                       | 28        | 23             | 28               |
| Среднее число видов в выборках                     | 19±0,37   | 15±1,93        | 18±0,89          |
| Среднее число особей в выборках                    | 259±34,48 | 105±10,59      | 164±8,28         |
| Среднее значение индекса разнообразия Шеннона (H') | 1,96±0,13 | 2,32±0,03      | 2,11±0,05        |
| Среднее значение индекса выравненности Пielу (J')  | 0,39±0,06 | 0,67±0,02      | 0,46±0,03        |



**Рис. 2.** Средние значения ( $\pm$ ст. ошибка) видового богатства ассамблей жужелиц противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

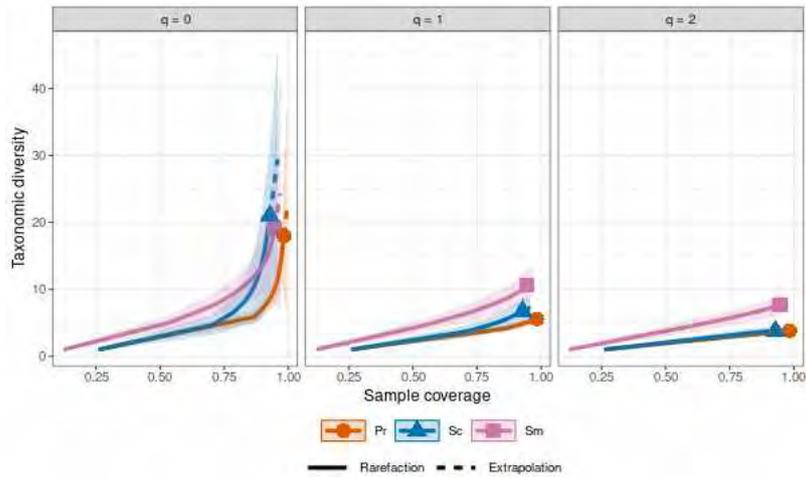
**Fig. 2.** Mean values ( $\pm$ SE) of species richness of ground beetle assemblages of fire protection breaks and control pine forests



**Рис. 3.** Асимптотическая оценка разнообразия ассамблей жужелиц, основанная на числах Хилла, противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов:

Pr – просека, Sc – сосняк черничный, Sm – сосняк мшистый; q = 0 – видовое богатство, q = 1 – экспоненциальный индекс Шеннона, q = 2 – инверсный индекс Симпсона

**Fig. 3.** Asymptotic assessment of the diversity of ground beetle assemblages based on Hill numbers, fire protection breaks and control pine forests: Pr – fire break, Sc – *Pinetum myrtillosum*, Sm – *Pinetum pleurozium*; q = 0 – species richness, q = 1 – Shannon exponential index, q = 2 – inverse Simpson index

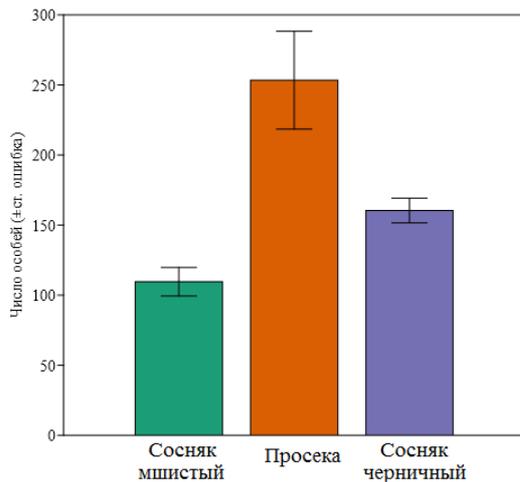


**Рис. 4.** Неасимптотическая оценка (охват выборки) разнообразия ассамблей жужелиц, основанная на числах Хилла, противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов: Pr – просека, Sc – сосняк черничный, Sm – сосняк мшистый; q = 0 – видовое богатство, q = 1 – экспоненциальный индекс Шеннона, q = 2 – инверсный индекс Симпсона

**Fig. 4.** Non-asymptotic (sample coverage) assessment of the diversity of ground beetle assemblages based on Hill numbers, fire protection breaks and control pine forests: Pr – fire break, Sc – *Pinetum myrtillosum*, Sm – *Pinetum pleurozium*; q = 0 – species richness, q = 1 – Shannon exponential index, q = 2 – inverse Simpson index

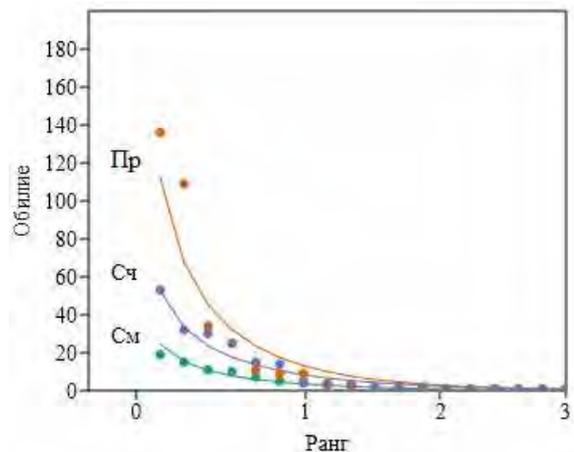
Среднее число особей в выборках различалось значимо ( $\chi^2 = 11,87, p = 0,002$ ) среди исследованных местообитаний (см. табл. 2). При этом на просеках, по результатам апостериорных сравнений, оно выше ( $p < 0,05$ ) тогда как различий между показателями численности жужелиц исходных сосняков не обнаружено ( $p > 0,05$ ) (рис. 5).

Модель распределения видов по обилию на просеках демонстрирует более быстрое снижение в обилии видов по рангам, по сравнению с лесами (рис. 6). Кривая ранг-обилие, соответствующая просекам, имеет крутой наклон, что соответствует сообществам с невысоким разнообразием и преобладанием нескольких видов, в наибольшей степени адаптированных к определенным экологическим условиям [8].



**Рис. 5.** Средние значения ( $\pm$ ст. ошибка) обилия ассамблей жужелиц противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

**Fig. 5.** Mean values ( $\pm$ SE) of abundance of ground beetle assemblages of fire protection breaks and control pine forests



**Рис. 6.** Модели распределения обилия ассамблей жужелиц противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов: Пр – просека, Сч – сосняк черничный, См – сосняк мшистый

**Fig. 6.** Abundance distribution models in ground beetle assemblages of fire protection breaks and control pine forests: Пр – fire break, Сч – *Pinetum myrtillosum*, См – *Pinetum pleurozium*

Значение индекса разнообразия Шеннона в исследованных ассамблеях жуужелиц значимо ( $\chi^2 = 7,28$ ,  $p = 0,02$ ) различается и, по результатам апостериорных сравнений, на просеках ниже ( $p > 0,05$ ) (рис. 7, см. табл. 2). Это в первую очередь обусловлено снижением выравненности видов по обилию, о чем свидетельствует среднее значение индекса Пиелу ( $0,39 \pm 0,06$ ). В лесах данный показатель значимо выше ( $\chi^2 = 9,78$ ,  $p = 0,007$ ) (рис. 8, см. табл. 2). Снижение выравненности обусловлено преобладанием нескольких видов, которые характеризуются наиболее высоким относительным обилием. Это *Calathus erratus* (39,82%), *Amara fulva* (22,31%). В составе группы доминантов также *Pterostichus niger* (8,24%), *Broscus cephalotes* (8,47%), *Poecilus versicolor* (6,61%). В отличие от просек, в прилегающих лесах относительное обилие видов распределено более равномерно. В частности, в сосняках мшистых доминировали *Pterostichus oblongopunctatus* (23,70%), *Carabus arvensis* (15,90%), *Carabus violaceus* (14,74%), *Calathus micropterus* (11,27%), *Carabus hortensis* (7,23%), *Calathus erratus* (5,78%), в сосняках черничных – *Calathus micropterus* (24,30%), *Pterostichus oblongopunctatus* (21,49%), *Carabus arvensis* (13,45%), *Carabus hortensis* (7,43%), *Carabus violaceus* (6,83%), *Pterostichus niger* (13,65%) (табл. 3).

Оценка показателей разнообразия выполнена с применением чисел Хилла  $q_1$  и  $q_2$ , которые соответствуют экспоненциальному индексу Шеннона и инверсному индексу Симпсона. Построенные кривые разрежения и экстраполяции, на основе значений данных индексов, в трех рассматриваемых биотопах достигли асимптоты (рис. 3, 4). Следовательно, полученные результаты вполне соответствуют истинному разнообразию жуужелиц. Это подтверждают и результаты оценки с помощью методики расчета охвата выборки. Таким образом, все наиболее характерные и доминирующие виды, демонстрирующие разнообразие выявлены в ходе исследований.

Как показал тест ANOSIM, примененный для оценки  $\beta$ -разнообразия, видовой состав жуужелиц в трех биотопах различался значимо ( $R = 0,84$ ,  $p = 0,0001$ ). Ординация (NMDS) показала отчетливые различия видовой состава жуужелиц просек в отличие от лесов с одной стороны, и некоторое сходство в лесах – с другой (рис. 9).

Шесть видов *Calathus erratus*, *Amara fulva*, *Broscus cephalotes*, *Poecilus versicolor*, *Poecilus lepidus* и *Harpalus rufipes*, ассоциированных с просеками, вносят основной вклад в дифференциацию видовой состава в трех сравниваемых биотопах. Тогда как в прилегающих лесных био-

топах такими видами были *Pterostichus oblongopunctatus*, *Calathus micropterus*, *Pterostichus niger*, *Carabus violaceus*, *Carabus hortensis*, *Amara brunnea* (табл. 4). Среди последней группы видов, за исключением вида *Pterostichus niger*, который характеризуется достаточно широкой экологической пластичностью, большинство составляли лесные мезофилы [13, 14].

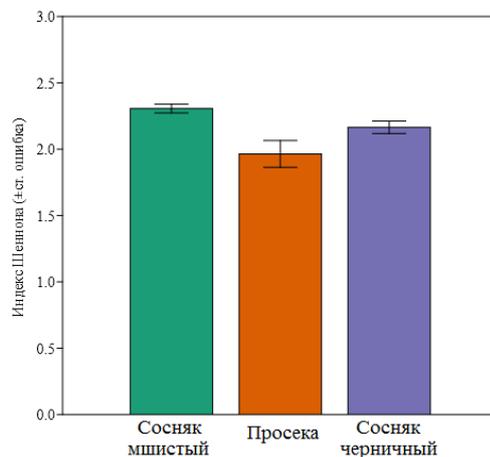


Рис. 7. Средние значения ( $\pm$ ст. ошибка) индекса разнообразия Шеннона ассамблей жуужелиц противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

Fig. 7. Mean values ( $\pm$ SE) of Shannon diversity index of ground beetle assemblages of fire protection breaks and control pine forests

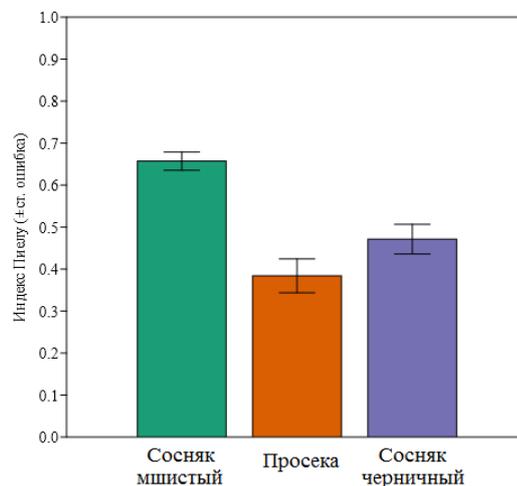


Рис. 8. Средние значения ( $\pm$ ст. ошибка) индекса выравненности Пиелу ассамблей жуужелиц противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

Fig. 8. Mean values ( $\pm$ SE) of Pielou evenness index of ground beetle assemblages of fire protection breaks and control pine forests

**Таблица 3.** Видовой состав и относительное обилие (%) жуужелиц  
противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

**Table 3.** Species composition and relative abundance (%) of ground beetles  
in the fire protection breaks and control pine forests

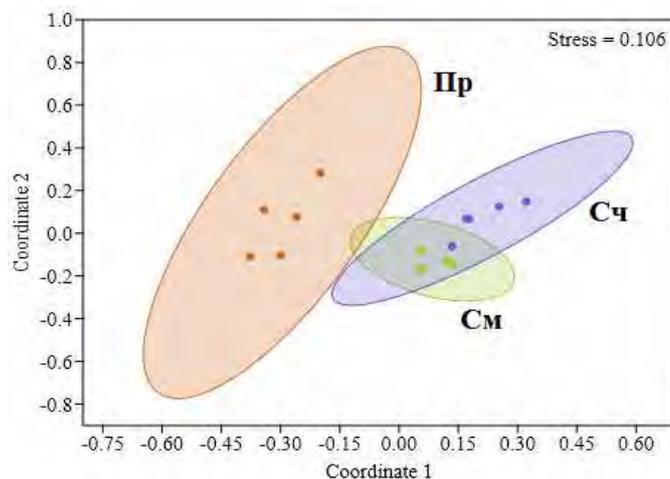
| Вид  | Сосняк зелено-мошный | Просека | Сосняк чернич-ный |
|--|----------------------|---------|-------------------|
| <i>Cicindela hybrida</i> Linnaeus, 1758                | 0                    | 0,11    | 0                 |
| <i>Carabus violaceus</i> Linnaeus, 1758                | 14,74                | 0,11    | 6,83              |
| <i>Carabus glabratus</i> Paykull, 1790                 | 0,29                 | 0,23    | 0,20              |
| <i>Carabus convexus</i> Fabricius, 1779                | 0                    | 0,80    | 0                 |
| <i>Carabus hortensis</i> Linnaeus, 1758                | 7,23                 | 2,06    | 7,43              |
| <i>Carabus granulatus</i> Linnaeus, 1758               | 0                    | 0       | 0,40              |
| <i>Carabus arvensis</i> Herbst, 1784                   | 15,90                | 0       | 13,45             |
| <i>Cychris caraboides</i> Linnaeus, 1758               | 0,58                 | 0       | 1,00              |
| <i>Leistus ferrugineus</i> Linnaeus, 1758              | 0                    | 0,23    | 0,40              |
| <i>Notiophilus aquaticus</i> Linnaeus, 1758            | 0,29                 | 0       | 0                 |
| <i>Broscus cephalotes</i> Linnaeus, 1758               | 0,29                 | 8,47    | 0                 |
| <i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758                 | 2,60                 | 0,34    | 0,20              |
| <i>Poecilus lepidus</i> Leske, 1785                    | 0,87                 | 3,43    | 0,40              |
| <i>Poecilus versicolor</i> (Sturm, 1824)               | 1,45                 | 5,61    | 1,00              |
| <i>Pterostichus oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787) | 23,70                | 1,03    | 21,49             |
| <i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)             | 4,05                 | 8,24    | 13,65             |
| <i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger, 1798)         | 0,29                 | 0       | 0,60              |
| <i>Pterostichus aethiops</i> (Panzer, 1797)            | 2,89                 | 0,11    | 0,80              |
| <i>Pterostichus nigrita</i> (Paykull, 1790)            | 0                    | 0       | 0,20              |
| <i>Pterostichus quadriveolatus</i> Letzner, 1852       | 0,58                 | 0       | 0,60              |
| <i>Pterostichus minor</i> (Gyllenhal, 1827)            | 0                    | 0       | 0,20              |
| <i>Pterostichus vernalis</i> (Panzer, 1796)            | 0                    | 0       | 0,20              |
| <i>Pterostichus strenuus</i> (Panzer, 1797)            | 0                    | 0       | 0,20              |
| <i>Calathus micropterus</i> (Duftschmid, 1812)         | 11,27                | 0,69    | 24,30             |
| <i>Calathus melanocephalus</i> Linnaeus, 1758          | 0,58                 | 0       | 0                 |
| <i>Calathus erratus</i> (Sahlberg, 1827)               | 5,78                 | 39,82   | 2,01              |
| <i>Amara communis</i> (Panzer, 1797)                   | 0,29                 | 0       | 0                 |
| <i>Amara convexior</i> Stephens, 1828                  | 0                    | 0       | 0,40              |
| <i>Amara aenea</i> (Degeer, 1774)                      | 0                    | 0,11    | 0                 |
| <i>Amara fulva</i> (Degeer, 1774)                      | 0                    | 22,31   | 0                 |
| <i>Amara similata</i> (Gyllenhal, 1810)                | 0                    | 0,23    | 0,40              |
| <i>Amara littorea</i> Thomson, 1857                    | 0                    | 0,11    | 0                 |
| <i>Amara brunnea</i> (Gyllenhal, 1810)                 | 4,91                 | 0       | 2,21              |
| <i>Amara eurynota</i> (Panzer, 1797)                   | 0,29                 | 0,34    | 0,20              |
| <i>Harpalus rufipes</i> (Degeer, 1774)                 | 0,58                 | 2,63    | 0,20              |
| <i>Harpalus laevipes</i> Zetterstedt, 1828             | 0                    | 0,57    | 0,80              |
| <i>Harpalus affinis</i> Schrank, 1781                  | 0                    | 0,46    | 0                 |
| <i>Harpalus tardus</i> (Panzer, 1797)                  | 0                    | 0,69    | 0                 |
| <i>Harpalus smaragdinus</i> (Duftschmid, 1812)         | 0                    | 0,34    | 0                 |
| <i>Harpalus progrediens</i> Schauberger, 1922          | 0                    | 0,11    | 0                 |
| <i>Cymindis vaporariorum</i> (Linnaeus, 1758)          | 0                    | 0       | 0,20              |
| <i>Synuchus vivalis</i> (Illiger, 1798)                | 0,58                 | 0,34    | 0                 |
| <i>Nebria brevicollis</i> (Fabricius, 1792)            | 0                    | 0,46    | 0                 |

В числе видов, формирующих, вследствие высокого обилия, фаунистический облик просек были обитатели преимущественно открытых биотопов, среди которых следует выделить ксерофилов *Calathus erratus*, *Broscus cephalotes* и *Poecilus lepidus* [14]. Также следует упомянуть псаммофильный вид *Cicindela hybrida*, отмеченный только на просеках. Как видно, на просеках значительные изменения претерпевает не только

видовой состав, но и меняется соотношение видов по экологическим предпочтениям. Такая вариативность, по всей видимости, обусловлена значительным изменением на просеках экологических условий. В частности, просеки, вследствие отсутствия древостоя, лучше прогреваются и освещаются. С другой стороны, они неравномерно зарастают после регулярного вспахивания, и характеризуются наличием целого ряда

микроместообитаний, таких как, участки открытого грунта, участки, покрытые кустарниками, травами и молодой древесной порослью. Как следствие, увеличение числа видов растений, особенно представителей семейства злаковые, может объяснить увеличение представительства

миксофитофагов (зоофитофагов) рода *Amara* и *Harpalus* [13, 14]. С другой стороны, на просеках снижается относительное обилие крупных зоофагов, широко распространенных в исследуемых лесах, особенно в сосняках мшистых, принадлежащих к роду *Carabus*.



**Рис. 9.** Неметрическое многомерное шкалирование (NMDS) ассамблей жулици противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов: Пр – просека, Сч – сосняк черничный, См – сосняк мшистый

**Fig. 9.** Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of ground beetle assemblages in the fire protection breaks and control pine forests: Пр – fire break, Сч – *Pinetum myrtillosum*, См – *Pinetum pleurozium*

**Таблица 4.** Результаты SIMPER теста для оценки вклада видов жулици в различия видового состава ассамблей противопожарных разрывов и контрольных сосновых лесов

**Table 4.** Results of the SIMPER test to assess the contribution of ground beetle species to differences in species composition between of fire protection breaks and control pine forests assemblages

| Вид                                  | Коэффициент различия | Вклад в различие, % | Среднее значение обилия для сосняка мшистого | Среднее значение обилия для просеки | Среднее значение обилия для сосняка черничного |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------|--|-------------------------------------|--|
| <i>Calathus erratus</i>              | 15,89                | 23,49               | 6,20   | 98,20                               | 3,00   |
| <i>Amara fulva</i>                   | 9,27                 | 13,70               | 0,00   | 55,60                               | 0,00   |
| <i>Pterostichus oblongopunctatus</i> | 6,83                 | 10,10               | 26,80  | 2,40                                | 36,60  |
| <i>Calathus micropterus</i>          | 6,31                 | 9,33                | 13,20  | 2,40                                | 33,80  |
| <i>Pterostichus niger</i>            | 5,15                 | 7,61                | 4,60   | 22,20                               | 25,40  |
| <i>Carabus arvensis</i>              | 4,16                 | 6,15                | 16,60  | 0,00                                | 20,00  |
| <i>Broscus cephalotes</i>            | 4,02                 | 5,94                | 0,40   | 23,40                               | 0,00   |
| <i>Carabus violaceus</i>             | 2,98                 | 4,40                | 15,80  | 0,40                                | 10,60  |
| <i>Poecilus versicolor</i>           | 2,04                 | 3,02                | 1,80   | 10,40                               | 1,80   |
| <i>Carabus hortensis</i>             | 1,75                 | 2,58                | 8,40   | 5,80                                | 13,40  |
| <i>Poecilus lepidus</i>              | 1,59                 | 2,36                | 0,60   | 9,20                                | 0,40   |
| <i>Harpalus rufipes</i>              | 1,32                 | 1,96                | 0,60   | 7,60                                | 0,20   |
| <i>Amara brunnea</i>                 | 1,06                 | 1,57                | 4,80   | 0,00                                | 3,40   |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Искусственные противопожарные просеки с минерализованной полосой открытого грунта в лесах можно охарактеризовать как местообитания антропогенного происхождения, постоянно поддерживаемые на определенном уровне трансформации. Их экологические условия способ-

ствуют формированию специфических ассамблей жулици, отличающихся по показателям разнообразия. Представленные исследования, выполненные в наиболее распространенных в Белорусском Поозерье экосистемах сосновых лесов, позволили выявить основные направления

изменений  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразия жужелиц. В частности, отмечено возрастание обилия с одной стороны и снижение разнообразия – с другой, по сравнению с контрольными биотопами в лесах. Ассамблеи характеризовались относительно невысоким разнообразием ( $H' = 1,96 \pm 0,13$ ) и выравниваемостью по обилию ( $J' = 0,39 \pm 0,06$ ). Видовой состав жужелиц просек и исходных лесов различался значительно по результатам теста ANOSIM ( $R = 0,84$ ,  $p = 0,0001$ ). Ординация

(NMDS) показала отчетливые различия видового состава жужелиц просек в отличие от лесов. Основной вклад в дифференциацию ассамблей вносят несколько видов с высоким обилием, обитателей преимущественно открытых биотопов, среди которых высоко представительство ксерофильных видов *Calathus erratus*, *Brosicus cephalotes* и *Poecilus lepidus*. Тогда как в контрольных биотопах основу ассамблей жужелиц составляли лесные мезофильные виды.

### БЛАГОДАРНОСТИ

*Исследование выполнено при поддержке государственной программы научных исследований (ГПНИ) на 2021–2025 годы «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма 10.2 (№ ГР 20210710 от 14.04.2021).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила пожарной безопасности в лесах Республики Беларусь Постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 19.12.2016 № 70. – 19 с.
2. Усеня, В. В. Совершенствование противопожарного устройства лесов Беларуси / В. В. Усеня, Е. Н. Каткова // Лесное и охотничье хозяйство. – 2009. – № 3. – С. 24–27.
3. Koivula, M. J. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (*Coleoptera*, *Carabidae*) reflecting environmental conditions / M. J. Koivula // ZooKeys. – 2011. – Vol. 100. – P. 287–317.
4. Koivula, M. Gap Felling as a Forest Harvesting Method in Boreal Forests: Responses of Carabid Beetles (*Coleoptera*, *Carabidae*) / M. Koivula, J. Niemelä // Ecography. – 2003. – Vol. 26, № 2. – P. 179–187.
5. Koivula, M. Boreal carabid-beetle (*Coleoptera*, *Carabidae*) assemblages along the clear-cut originated succession gradient / M. Koivula, J. Kukkonen, J. Niemelä // Biodiversity and Conservation. – 2002. – Vol. 11, № 7. – P. 1269–1288.
6. Lindholm, M. Are power-line corridors an alternative habitat for carabid beetle (*Coleoptera*: *Carabidae*) and wolf spider (*Araneae*: *Lycosidae*) heathland specialists? / M. Lindholm, B. Gunnarsson, T. Appelqvist // Journal of Insect Conservation. – 2019. – Vol. 23, № 3. – P. 525–534.
7. Лакотко, А. А. Вырубки линий электропередач в сосновых лесах Белорусского Поозерья – как места обитания жужелиц (*Coleoptera*, *Carabidae*) / А. А. Лакотко, Г. Г. Сушко // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. – 2021. – № 1. – С. 15–28.
8. Воронов, А. Г. Геоботаника : учеб. пособ. для ун-тов и пед. ин-тов / А. Г. Воронов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Высшая школа, 1973. – 384 с.
9. McCune, B. Analysis of ecological communities / B. McCune, J. B. Grace / MJM Software. – Gleneden Beach, Oregon. – 304 p
10. Chao, A. iNEXT.4steps software. Anne Chao's Web site. Available from [http://www.chao.shinyapps.io/iNEXT\\_4steps](http://www.chao.shinyapps.io/iNEXT_4steps)
11. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies / A. Chao, N. J. Gotelli, T. C. Hsieh [et al.] // Ecological Monographs 84: 45–67. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. – 2014. – Vol. 84, № 1. – P. 45–67.
12. Hammer, Ø. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis / Ø. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // Palaeontologia Electronica. – 2001. – Vol. 4, № 1. 1–9.
13. Александрович, О. Р. Жужелицы (*Coleoptera*, *Carabidae*) запада лесной зоны Русской равнины: фауна, зоогеография, экология, фауногенез / О. Р. Александрович. – Saarbrücken : LAMBERT Acad. Publ., 2014. – 456 с.
14. Солодовников, И. А. Жужелицы (*Coleoptera*, *Carabidae*) Белорусского Поозерья: с каталогом видов жужелиц Беларуси и сопредельных государств : моногр. / И. А. Солодовников ; М-во образования Респ. Беларусь, Витеб. гос. ун-т, Каф. зоологии. – Витебск : ВГУ, 2008. – 325 с.

*Поступила в редакцию 25.02.2025*

*Принята к публикации 10.06.2025*

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сушко Геннадий Геннадьевич** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и географии Учреждения образования «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова»

**Лакотко Анатолий Аркадьевич** – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и географии Учреждения образования «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова»

**Сушко Татьяна Николаевна** – магистрант кафедры экологии и географии Учреждения образования «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова»

Сушко, Г. Г. Влияние нарушенности растительного покрова противопожарных разрывов в сосняках мшистых и черничных в Белорусском Поозерье на показатели разнообразия жужелиц (*Coleoptera*, *Carabidae*) / Г. Г. Сушко, А. А. Лакотко, Т. Н. Сушко // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Минск, 2025. – Вып. 55. – С. 164–173.