

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ АССАМБЛЕЙ ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE) ВЕРХОВОГО БОЛОТА ПРИ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ИХ МЕСТООБИТАНИЙ

Ю. И. НОВИКОВА<sup>1)</sup>, Г. Г. СУШКО<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,  
Московский пр., 33, 210023, г. Витебск, Беларусь

Представленные результаты исследований демонстрируют особенности изменчивости биоразнообразия ассамблей жуков-жужелиц на верховом болоте при различной степени трансформации местообитаний в условиях Белорусского Поозерья. Материал собран с помощью почвенных ловушек на верховом болоте, часть которого осушена сетью мелиоративных каналов. Исследования проводились на малонарушенном участке (контроль) с характерной болотной растительностью и трех участках различной степени трансформации: участок с частично нарушенным сфагновым покровом и нарушенным режимом влажности, фрезерные поля с удаленным сфагновым покровом (открытый торф), осушенные участки с удаленным сфагновым покровом, покрытые древесной и кустарниковой растительностью. Выявлена дифференциация  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразия на участках различной степени антропогенной трансформации. Среднее число видов ( $\chi^2 = 10,72$ ,  $p = 0,01$ ) и особей ( $F = 57,54$ ,  $p = 0,001$ ) в выборках значимо различалось. При нарушении, а также при полном удалении сфагнового покрова число видов снижается по сравнению с контрольными биотопами. Однако при формировании древесного и кустарничкового покрова, наоборот, возрастает. Среднее число особей снижается, за исключением участков с частично нарушенным сфагновым покровом. С увеличением антропогенной трансформации, видовое разнообразие и выравненность возрастают по сравнению с контролем ( $H' = 1,54 \pm 0,05$ ,  $J' = 0,42 \pm 0,03$ ) и достигают максимума на участках с древесной растительностью ( $H' = 2,48 \pm 0,38$ ,  $J' = 0,97 \pm 0,11$ ). Значения индексов разнообразия Шеннона ( $\chi^2 = 14,57$ ,  $p = 0,002$ ) и выравненности Пielу ( $F = 18,44$ ,  $p = 0,001$ ) значимо различались во всех исследованных биотопах. Анализ  $\beta$ -разнообразия продемонстрировал значимые различия видового состава ассамблей жужелиц участков различной степени трансформации (ANOSIM;  $R = 0,90$ ,  $p = 0,0001$ ). Видовой состав и структура доминирования ассамблей жужелиц претерпевают наибольшие изменения при полном удалении сфагнового покрова. При этом состав группы доминантов значительно расширяется. Специализированные виды верховых болот *Agonum ericeti* (Panzer, 1809), *Pterostichus diligens* (Sturm, 1824) и *P. rhaeticus* Heer, 1838 сменяются такими обитателями открытых пространств и эвритопными видами, как *Cicindela sylvatica* Linnaeus, 1758, *Poecilus cupreus* (Linnaeus, 1758), *P. versicolor* (Sturm, 1824), *Agonum sexpunctatum* (Linnaeus, 1758), *Harpalus latus* (Linnaeus, 1758).

**Ключевые слова:** верховое болото;  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразие; жужелицы; антропогенное воздействие.

## BIODIVERSITY VARIABILITY OF THE GROUND BEETLE ASSEMBLAGES (COLEOPTERA, CARABIDAE) OF A PEAT BOG DURING ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF THEIR HABITATS

Yu. I. NOVIKOVA<sup>a</sup>, G. G. SUSHKO<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Vitebsk State University named after P. M. Masharov,  
33 Moscow Avenue, Vitebsk 210015, Belarus

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

### Образец цитирования:

Новикова ЮИ, Сушко ГГ. Изменчивость биоразнообразия ассамблей жужелиц (Coleoptera, Carabidae) верхового болота при антропогенной трансформации их местообитаний. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2023;1:12–19.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-1-12-19>

### For citation:

Novikova YuI, Sushko GG. Biodiversity variability of the ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) of a peat bog during anthropogenic transformation of their habitats. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2023;1:12–19. Russian.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-1-12-19>

### Авторы:

Юлия Игоревна Новикова – аспирант кафедры экологии и географии.

Геннадий Геннадьевич Сушко – доктор биологических наук, профессор; заведующий кафедрой экологии и географии.

### Authors:

Yulia I. Novikova, postgraduate student at the department of ecology and geography.

[julia.novikova9@mail.ru](mailto:julia.novikova9@mail.ru)

Gennadi G. Sushko, doctor of science (biology), full professor; head of the department of ecology and geography.  
[gennadis@rambler.ru](mailto:gennadis@rambler.ru)

The presented research demonstrated the features of the variability of the biodiversity of the carabid assemblages in the peat bog with the different degrees of transformation in the Belarusian Lake District. The material was collected using pitfall traps in a peat bog, part of which was drained by a network of reclamation canals. The studies were carried out on an intact site (control) with specialized peat bog vegetation and on three sites of different degrees of transformation: a site with a partially disturbed sphagnum cover, peat fields with a removed sphagnum cover (open peat), and drained sites with a removed sphagnum mat covered with trees and shrubs. Differentiation of  $\alpha$ - and  $\beta$ -diversity in areas of different degrees of anthropogenic transformation was revealed. The average number of species ( $\chi^2 = 10.72$ ,  $p = 0.01$ ) and individuals ( $F = 57.54$ ,  $p = 0.001$ ) in the samples differed significantly. If the sphagnum cover was disturbed or completely removed, the number of species decreases as compared to the control biotopes. Whereas during the formation of tree and bush cover, on the contrary, species richness increases. The average number of individuals decreases, except for sites with partially disturbed sphagnum cover. With an increase in anthropogenic transformation, species diversity and evenness was higher compared to the control ( $H' = 1.54 \pm 0.05$ ,  $J' = 0.42 \pm 0.03$ ) and reach a maximum in sites with woody vegetation ( $H' = 2.48 \pm 0.38$ ,  $J' = 0.97 \pm 0.11$ ). The values of the Shannon diversity index ( $\chi^2 = 14.57$ ,  $p = 0.002$ ) and the Pielou evenness index ( $F = 18.44$ ,  $p = 0.001$ ) differed significantly in all studied habitats. The analysis of  $\beta$ -diversity demonstrated significant differences in the species composition of ground beetle assemblages in sites with different degrees of transformation (ANOSIM;  $R = 0.90$ ,  $p = 0.0001$ ). The species composition and dominance structure of ground beetle assemblages undergo the greatest changes when the sphagnum cover is completely removed. At the same time, the composition of the group of dominants is significantly expanding. Specialized raised bog species *Agonum ericeti* (Panzer, 1809), *Pterostichus diligens* (Sturm, 1824) and *P. rhaeticus* Heer, 1838 were replaced by open space dwellers and eurytopic species such as *Cicindela sylvatica* Linnaeus, 1758, *Poecilus cupreus* (Linnaeus, 1758), *P. versicolor* (Sturm, 1824), *Agonum sexpunctatum* (Linnaeus, 1758), *Harpalus latus* (Linnaeus, 1758).

**Keywords:** peat bog;  $\alpha$ - and  $\beta$ -diversity; ground beetles; anthropogenic impact.

## Введение

Водно-болотные угодья являются жизненно важными экосистемами для сохранения биоразнообразия бореальной флоры и фауны в умеренной зоне Европы вследствие изменения климата. Около трети из них составляют торфяные болота, характеризующиеся накоплением органического вещества в залежах торфа и кислой, стоячей водой с низким содержанием минеральных веществ. Они обеспечивают несколько таких важных функций, как накопление больших запасов воды и регуляцию гидрологического режима обширных территорий, связывание углерода и снижение эмиссии парниковых газов [1]. Кроме того, они обеспечивают подходящие места обитания для многих специализированных и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и животных, так называемых тирфобионтов и тирфофилов. Площадь верховых болот сокращается во всем мире, но самые серьезные потери произошли в Европе, где они в настоящее время считаются одними из наиболее уязвимых и находящихся под угрозой исчезновения местообитаний [2]. Основными угрозами для сохранения биоразнообразия этих местообитаний являются осушение и добыча торфа. К середине прошлого века в ходе осушения многие болота утратили свои биосферные функции и превратились в природно-антропогенные системы. Ряд болот, на которых были осушены отдельные участки, подверглись частичной трансформации. На таких верховых болотах сохранились места обитания специализированных видов. В Витебской области 52,7 % общей площади верховых болот находится в мало нарушенном состоянии, 40,1 % болот имеют ненарушенные участки разных размеров, 3,2 % осушено полностью и 4,0 % площадей выработано и не используется [3].

При исследовании антропогенной трансформации верховых болот наибольшее внимание уделялось изменениям растительности, а также физико-химических показателей торфа и воды [3]. Однако не менее важно сформировать представление о динамике биоразнообразия консументов, которые также реагируют на изменение экологических условий болотных экосистем в ходе антропогенной трансформации. В их числе значительная доля приходится на беспозвоночных животных и, в частности, на жесткокрылых семейства жуужелиц. Представители данного семейства считаются общепризнанными биоиндикаторами и широко используются для оценки экологического состояния различных местообитаний.

Цель исследования: изучить изменчивость биоразнообразия ассамблей жуужелиц верхового болота при разной степени трансформации.

## Материалы и методы исследования

Исследования проводились в Витебском районе Витебской обл. на верховом болоте «Глоданский мох» (координаты 54°29'N 30°79'E). Площадь болота составляет 2180 га. Южная часть болота (около 600 га) осушена сетью мелиоративных каналов и выработана фрезерным способом. Примерно такой же по площади участок торфодобыче не подвергался и содержит участки со сфагновым покровом и характерной болотной растительностью (сосново-кустарничково-сфагновые и кустарничково-пушицево-сфагновые

фитоценозы), а также участки с частично нарушенным сфагновым покровом и болотной травяно-кустарничковой растительностью (прилегают к фрезерным полям) (рис. 1).

Исследования проводились в следующих биотопах: 1) естественное болото (ЕБ) принято за контроль. Характеризуется высокой влажностью. Сфагновый покров сплошной. В травяном ярусе преобладает пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), в кустарничковом – багульник болотный (*Ledum palustre* L.), мирт болотный (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench) и вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* (L.) Hill.) Также отмечены подбел многолистный (*Andromeda polifolia* L.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.) и водяника черная (*Empetrum nigrum* L.); 2) болото с нарушенным режимом влажности (НБ) расположено между торфоразработками и естественными участками. Прилегающие мелиоративные каналы обеспечивают дренаж, что способствует снижению влажности. Сфагновый покров нарушен. Присутствуют отдельные фрагменты открытого торфа. В травяном ярусе преобладает *E. vaginatum*, в кустарничковом – *C. vulgaris* и *L. palustre*. Также отмечены голубика топяная (*Vaccinium uliginosum* L.) и водяника черная; 3) фрезерные поля (ФП) представляют собой осушенные открытые участки со снятым сфагновым покровом (добыча торфа производилась фрезерным способом). Травяно-кустарничковая растительность отсутствует. Расположены между мелиоративными каналами. Ширина около 20 м. Отдельные участки торфа покрыты мхом политрихом сжатым (*Polytrichum strictum* Bridel, J. Bot. (Schrader)); 4) мелколистный лес (ДК) расположен на осушенных участках со снятым сфагновым покровом, покрытые древесной и кустарниковой растительностью, которые находятся рядом с мелиоративными каналами и по краям фрезерных полей. Древостой представлен в основном березой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и осинкой обыкновенной (*Populus tremula* L.), кустарники – различными видами рода ива (*Salix* spp.). В кустарничковом ярусе присутствуют вереск обыкновенный (*C. vulgaris*), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусника обыкновенная (*V. vitis-idaea* L.) (рис. 1).

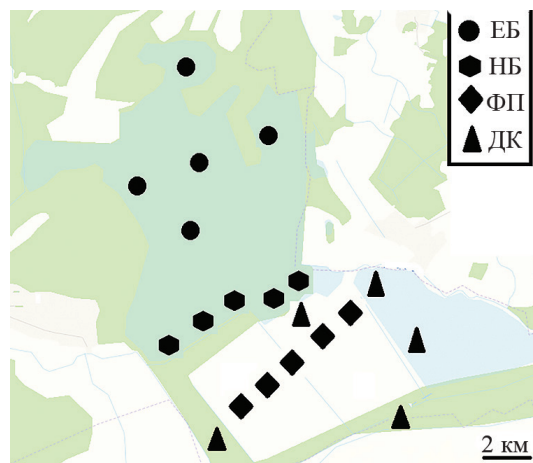


Рис. 1. Размещение стационаров в исследованных биотопах верхового болота «Глоданский мох»:  
ЕБ – естественное болото, НБ – болото с нарушенным режимом влажности,  
ФП – фрезерные поля, ДК – мелколистный лес

Fig. 1. Localization of the study sites on the peat bog «Glodansky mokh». NB – natural bog,  
DB – bog with disturbed moisture regime, MF – milling fields, SLF – small-leaved forest

Сборы жужелиц проводились с 29 апреля до 28 октября в 2020 г. (интервал 10–14 дней) с использованием почвенных ловушек (с фиксатором – 9 % раствором уксусной кислоты). В каждом биотопе было установлено по 15 ловушек (по 3 ловушки на 5 участках, выбранных в случайном порядке). Каждая группа из 3 ловушек была принята за выборочную совокупность. Выбранные участки располагались на расстоянии не менее 50 м от друг от друга. Расстояние между ловушками составляло 5 м.

Структура доминирования в ассамблеях охарактеризована по шкале О. Ренконнена [4], согласно которой виды, на которые приходится более 5 % от общего числа особей, считаются доминантными; 2–5 % – субдоминантными; 1–2 % – рецедентными; менее 1 % – субрецедентными.

Перед выполнением статистического анализа данные были проверены на соответствие закону нормального распределения с использованием теста Шапиро – Уилка. Если данные соответствовали закону нормального распределения, для оценки различий между выборками использовался однофакторный дисперсионный анализ (one-way ANOVA) и апостериорные сравнения с применением теста Тьюки, в противном случае использовали непараметрический тест Краскела – Уолиса и тест Дана для апостериорных сравнений. Для оценки альфа-разнообразия применены индексы Шеннона (H') и Пielу (J'). Дополнительно были рассчитаны значения непараметрического эстиматора видового богатства Chao 2, позволяющего проводить сравнительную оценку выявленного (Sobs) и прогнозируемого возможного (Sest) числа видов.

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 [5]. Для выявления видов, которые вносят наибольший вклад в гетерогенность ассамблей жужелиц различных биотопов, использован тест IndVal (Indicator Value). Анализы выполнены с использованием программы PAST 4.11 [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследований выявлено 28 видов семейства жужелиц (табл. 2). Максимальное число видов (14) зарегистрировано в ассамблеях жужелиц на участках с древесной и кустарниковой растительностью, тогда как наименьшее – на болоте с нарушенным режимом влажности (8 видов). На малонарушенном болоте выявлено 12 видов (табл. 1). Среднее число видов в выборках значимо различалось ( $\chi^2 = 10,72$ ,  $p = 0,01$ ) (рис. 2). Непараметрический эстиматор видового богатства Чhao-2 показал, что выявленное среднее число видов ( $S_{obs}$ ) в выборках составляет от 84,61 до 100 % от прогнозируемого ( $S_{est}$ ) (табл. 1). Это свидетельствует о высоких выборочных усилиях, приложенных во время сбора материала.

Таблица 1

Показатели  $\alpha$ -разнообразия ассамблей жужелиц (Coleoptera, Carabidae) различных биотопов верхового болота «Глоданский мох»

Table 1

Measures of  $\alpha$ -diversity of the ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) in different habitats on the peat bog «Glodansky mokh»

Показатель $\alpha$ -разнообразия	Биотопы			
	естественное болото	болото с нарушенным режимом влажности	фрезерные поля	мелколиственный лес
Выявленное число видов	12	8	11	14
Ожидаемое число видов Чhao-2 ( $S_{est}$ )	13	8	13	16
Соотношение $S_{obs}$ и $S_{est}$ (%)	92,30	100	84,61	87,50
Среднее число видов $S_{mean} \pm SE$	7,00 $\pm$ 0,31	5,20 $\pm$ 0,37	6,00 $\pm$ 1,04	8,80 $\pm$ 0,58
Среднее число особей $N \pm SE$	33,40 $\pm$ 1,72	45,40 $\pm$ 3,81	7,60 $\pm$ 1,36	13,20 $\pm$ 1,46
Индекс разнообразия Шеннона $H' \pm SE$	1,54 $\pm$ 0,05	0,66 $\pm$ 0,07	2,19 $\pm$ 0,51	2,48 $\pm$ 0,38
Индекс выравненности Пielу $J' \pm SE$	0,42 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,01	0,88 $\pm$ 0,17	0,97 $\pm$ 0,11

Примечание. Чhao-2 – эстиматор видового богатства ( $S_{est}$  – предсказанное эстиматором число видов);  $S_{mean} \pm SE$  – среднее число видов  $\pm$  стандартная ошибка;  $N \pm SE$  – среднее число особей  $\pm$  стандартная ошибка;  $H' \pm SE$  – индекс разнообразия Шеннона  $\pm$  стандартная ошибка;  $J' \pm SE$  – индекс выравненности Пielу  $\pm$  стандартная ошибка.

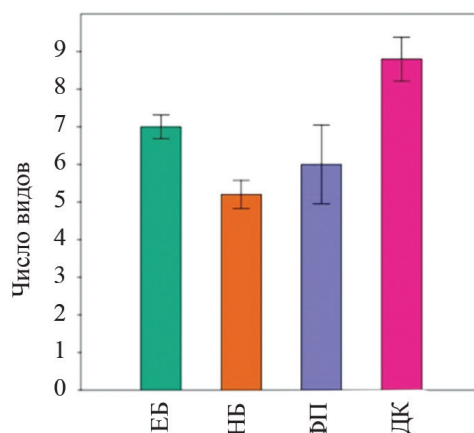


Рис. 2. Средние значения числа видов ( $\pm$  стандартная ошибка) ассамблей жужелиц (Coleoptera, Carabidae) различных биотопов верхового болота «Глоданский мох»: ЕБ – естественное болото, НБ – болото с нарушенным режимом влажности, ФП – фрезерные поля, ДК – мелколиственный лес

Fig. 2. Average values of the number of species ( $\pm$  standard error) of the ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) in different habitats on the peat bog «Glodansky mokh»: NB – natural bog, DB – bog with disturbed moisture regime, MF – milling fields, SLF – small-leaved forest



Среднее число особей в выборках в ассамблеях жуужелиц, соответствующих четырем исследованным биотопам, достоверно различалось ( $F = 57,54, p = 0,001$ ). Наибольшее среднее число особей ( $45,40 \pm 3,81$ ) было зарегистрировано на болоте с нарушенным режимом влажности, наименьшее – на фрезерных полях ( $7,60 \pm 1,36$ ). На малонарушенном болоте данный показатель составил  $33,40 \pm 1,72$  (табл. 1, рис. 3).

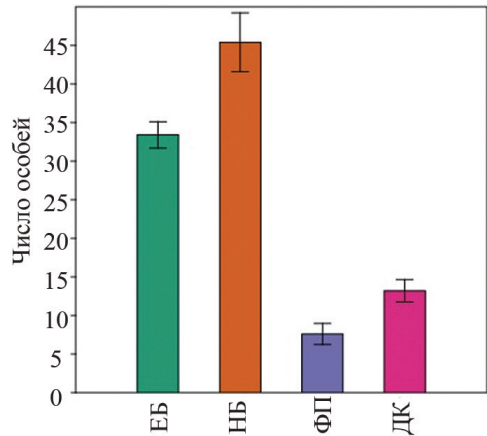


Рис. 3. Средние значения числа особей (± – стандартная ошибка) ассамблей жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) различных биотопов верхового болота «Глоданский мох»: ЕБ – естественное болото, НБ – болото с нарушенным режимом влажности, ФП – фрезерные поля, ДК – мелколиственный лес

Fig. 3. Average values of the number of individuals (± standard error) of the ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) in different habitats on the peat bog «Glodansky mokh»: NB – natural bog, DB – bog with disturbed moisture regime, MF – milling fields, SLF – small-leaved forest

Анализ видового разнообразия, основанный на значениях индекса Шеннона, продемонстрировал наиболее высокое разнообразие в ассамблеях жуужелиц участков болот с развитым древостоем ( $H' = 2,48 \pm 0,38$ ), наименьшее ( $H' = 0,66 \pm 0,07$ ) – на болоте с нарушенным режимом влажности. На малонарушенном болоте данный показатель составил  $1,54 \pm 0,05$  (табл. 2). Значения индекса Шеннона значимо различались ( $\chi^2 = 14,57, p = 0,002$ ). Выравненность видов по обилию, выраженная индексом Пислу, проявила сходный тренд с видовым разнообразием и значимо различалась во всех исследованных биотопах ( $F = 18,44, p = 0,001$ ) (табл. 2).

Таблица 2

Видовой состав и относительное обилие (%) жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) ассамблей жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) различных биотопов верхового болота «Глоданский мох»

Table 2

Species composition and relative abundance (%) of the ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) in different habitats on the peat bog «Glodansky mokh»

Вид	Биотопы			
	естественное болото	болото с нарушенным режимом влажности	фрезерные поля	мелколиственный лес
<i>Cicindela sylvatica</i> Linnaeus, 1758	0	0	7,89	0
<i>Loricera pilicornis</i> (Fabricius, 1775)	0	0	0	4,55
<i>Carabus cancellatus</i> Illiger, 1798	5,95	1,09	7,89	3,02
<i>C. clathratus</i> Linnaeus, 1761	1,00	0	0	0
<i>C. granulatus</i> Linnaeus, 1758	1,00	0	5,27	6,06
<i>Cychrus caraboides</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0	9,09
<i>Leistus ferrugineus</i> (Linnaeus, 1758)	0	1,09	0	0
<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	1,49	0	31,58	0
<i>P. versicolor</i> (Sturm, 1824)	0	1,46	0	19,70
<i>Pterostichus diligens</i> (Sturm, 1824)	15,92	4,76	0	0
<i>P. niger</i> (Schaller, 1783)	1,49	0	5,27	4,55
<i>P. oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787)	0	0	0	4,55
<i>P. rhaeticus</i> Heer, 1838	15,92	0	0	4,55

Окончание табл. 2

Ending table 2

Вид	Биотопы			
	естественное болото	болото с нарушенным режимом влажности	фрезерные поля	мелколиственный лес
<i>Calathus erratus</i> (Sahlberg, 1827)	0	0	0	<b>15,15</b>
<i>Amara brunnea</i> (Gyllenhal, 1810)	1,49	1,09	<b>7,89</b>	0
<i>A. eurynota</i> (Panzer, 1797)	0	0	<b>5,27</b>	0
<i>A. communis</i> (Panzer, 1797)	0	0	0	4,55
<i>Bembidion biguttatum</i> (Fabricius, 1779)	1,00	0	0	0
<i>Anisodactylus binotatus</i> (Fabricius, 1787)	0	0	0	4,55
<i>Agonum ericeti</i> (Panzer, 1809)	<b>52,74</b>	<b>87,96</b>	0	0
<i>A. sexpunctatum</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	<b>5,27</b>	0
<i>A. fuliginosus</i> (Panzer, 1809)	0	0	<b>7,89</b>	0
<i>Limodromus assimilis</i> (Paykull, 1790)	1,00	0	0	0
<i>Harpalus latus</i> (Linnaeus, 1758)	1,00	0	<b>7,89</b>	0
<i>H. rufipes</i> (Degeer, 1774)	0	0	0	<b>13,64</b>
<i>Cymindis vaporariorum</i> (Linnaeus, 1758)	0	1,46	0	3,02
Число отловленных экземпляров	167	227	38	66

В ходе анализа структуры доминирования установлено, что на естественном болоте участках доминировали *Agonum ericeti* (52,74 % от всех отловленных особей), *Pterostichus diligens* и *P. rhaeticus* (по 15,92 %), *Carabus cancellatus* (5,95 %). На участках болота с нарушенным режимом влажности доминировал только один вид *Agonum ericeti* (87,96%). На фрезерных полях состав группы доминантов значительно расширяется и включает такие виды, как *Poecilus cupreus* (31,58 %), *Cicindela sylvatica*, *Carabus cancellatus*, *Pterostichus vernalis*, *Amara brunnea*, *Agonum fuliginosus* и *Harpalus latus* (по 7,89 %), а также *Carabus granulatus*, *Pterostichus niger*, *Amara eurynota* и *Agonum sexpunctatum* (по 5,27 %). На участках с древостоем преобладали *Poecilus versicolor* (87,96 %), *Calathus erratus* (15,15 %), *Harpalus rufipes* (13,64 %), *Cychrus caraboides* (9,09 %) и *C. granulatus* (6,06 %).

Анализ  $\beta$ -разнообразия показал отчетливые и значимые различия видового состава жуужелиц четырех исследуемых биотопов на основании теста ANOSIM ( $R = 0,90$ ,  $p = 0,0001$ ). По результатам ординационного анализа (NMDS), наибольшими различиями видового состава характеризуются ассамблеи жуужелиц естественного болота, фрезерных полей и мелколиственного леса. Ассамблеи жуужелиц болота с нарушенным режимом влажности в наибольшей степени были сходны с ассамблеями фрезерных полей (рис. 4).

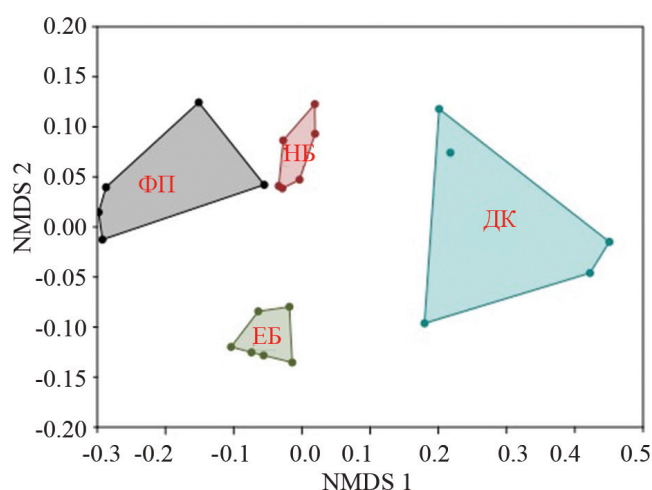


Рис. 4. Диаграмма ординации (NMDS) видового состава ассамблей жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) различных биотопов верхового болота «Глоданий мох»: ЕБ – естественное болото, НБ – болото с нарушенным режимом влажности, ФП – фрезерные поля, ДК – мелколиственный лес

Fig. 4. Ordination diagram (NMDS) of species composition of the ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) in different habitats on the peat bog «Glodansky mokh»: NB – natural bog, DB – bog with disturbed moisture regime, MF – milling fields, SLF – small-leaved forest

Результаты теста IndVal позволяют выявить виды, которые вносят наибольший вклад в гетерогенность ассамблей жуке-жужелиц обследованных биотопов (рис. 5). В каждом из них отмечено от 3 до 8 видов. Однако значимые показатели теста ( $p < 0,05$ ) установлены только для отдельных из них, что демонстрирует наибольшую приуроченность данных видов к определенному биотопу. На контрольных участках в числе таких видов *Pterostichus rhaeticus* (IndVal = 89,89,  $p = 0,01$ ), *P. diligens* (IndVal = 71,11,  $p = 0,01$ ), *Carabus cancellatus* (IndVal = 57,14,  $p = 0,04$ ), на нарушенных участках болот – *Agonum ericeti* (IndVal = 69,45,  $p = 0,01$ ), на участках с древостоем – *Poecilus versicolor* (IndVal = 79,59,  $p = 0,01$ ).

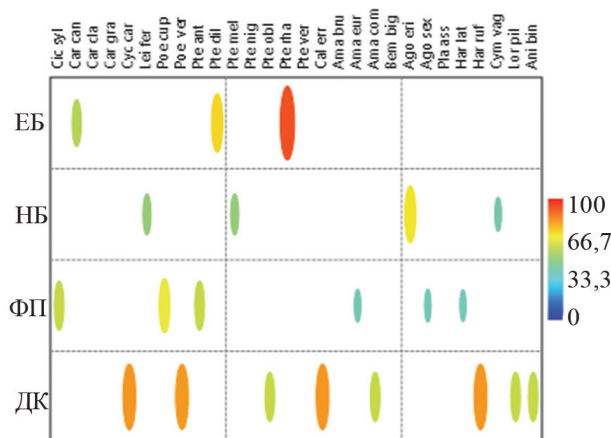


Рис. 5. Результаты теста IndVal ассамблей жуке-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) различных биотопов верхового болота «Глоданий мох» (0–100 – значение показателя IndVal): ЕБ – естественное болото, НБ – болото с нарушенным режимом влажности, ФП – фрезерные поля, ДК – мелколиственный лес

Fig. 5. IndVal test results of the ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) in different habitats on the peat bog «Glodansky mokh» (0–100 – the value of the IndVal): NB – natural bog, DB – bog with disturbed moisture regime, MF – milling fields, SLF – small-leaved forest

Представленные результаты исследований демонстрируют особенности изменчивости биоразнообразия ассамблей жуков-жужелиц на верховом болоте при различной степени трансформации местообитаний в условиях Белорусского Поозерья. Как известно, на верховых болотах, на которых не велась хозяйственная деятельность, в моховом покрове обитает небольшое число, преимущественно специализированных видов жесткокрылых, отличающихся высокой численностью [2]. Сходная тенденция наблюдается на участке исследованного болота, на котором торфоразработки не проводились. Здесь преобладали виды, характерные для верховых болот, такие как *Pterostichus diligens*, *P. rhaeticus* и *Agonum ericeti*. Однако последний характеризовался наиболее высокими показателями численности на болоте с нарушенным режимом влажности, что, вероятно, связано с процессами гомеостаза в популяции данного вида вследствие ухудшения условий обитания. Такой тренд отмечен ранее и для других тирфофильных и тирфобионтных видов на болотах с нарушенным гидрологическим режимом [7].

В ходе сравнительного анализа  $\alpha$ -разнообразия выявлено, что видовое богатство при нарушении режима влажности, а также при полном удалении сфагнового покрова снижается, по сравнению с контрольными биотопами. В первом случае это, вероятно, обусловлено тем, что на примыкающих к торфоразработкам участках, вследствие нарушения гидрологического режима, разрушается сфагновый покров. Это приводит к потере экологических ниш многих гигрофильных болотных видов. В частности, на фрезерных полях появляются не характерные для болот обитатели открытых биотопов *Cicindela sylvatica*, *Poecilus cupreus*, *Agonum sexpunctatum*, *Harpalus latus* и др. Однако зарастание осушенных участков болот деревьями и кустарниками способствует возрастанию числа видов. Среднее число особей при антропогенной трансформации, наоборот, снижалось. Исключение составляли ассамблеи жуке-жужелиц биотопов, расположенных между контрольными участками и фрезерными полями, с нарушенным сфагновым покровом. В первую очередь, это характеризуется возрастанием числа особей стенобионта верховых болот *Agonum ericeti*, что, по всей видимости, связано с процессами гомеостаза в популяции данного вида, вызванными в ответ на относительно не высокое изменение экологических условий местообитания (болотная растительность, включая сфагновый покров, присутствует, хотя и частично нарушена в результате снижения влажности). В данных биотопах также отмечено снижение видового разнообразия и выравненности видов по обилию, по сравнению с контрольными биотопами. В остальных биотопах, характеризующихся большей степенью трансформации, видовое разнообразие и выравненность, наоборот, возрастают, достигая максимума на участках с древесной растительностью. Это обусловлено расширением группы доминантных видов,

в отличие от ассамблей жужелиц биотопов со сфагновым покровом, которые, как показал ряд исследований, характеризуются преобладанием ограниченного числа видов с высокой численностью, адаптированных к экологическим условиям, создаваемым сфагновыми мхами (высокая влажность, кислотность, низкая минерализация) [3].

В наибольшей степени дифференциация ассамблей жужелиц проявилась в различии видового состава. Различными методами статистического (ANOSIM, NMDS) анализа продемонстрированы значимые ( $p < 0,05$ ) отличия ассамблей жужелиц как контрольных участков от трансформированных, так и трансформированных между собой. Выявлены виды, которые вносят наибольший вклад в дифференциацию ассамблей. В биотопах со сфагновым покровом в их числе специализированные обитатели *Pterostichus rhaeticus*, *P. diligens* и *Agonum ericeti*. Индикаторная роль стенобионтного вида *Agonum ericeti* в биотопах с нарушенным сфагновым покровом проявилась в резком возрастании численности. Сходная тенденция была отмечена ранее на постпирогенных участках верховых болот [7]. На фрезерных полях ни один из выявленных видов не проявил значимой приуроченности к данным биотопам, тогда как на участках с древесной растительностью таким видом был *Poecilus versicolor*. Данный вид известен как эвритопный обитатель открытых пространств. Его высокую приуроченность к этим биотопам, по всей видимости, можно объяснить разреженностью и фрагментарностью древостоя в совокупности с небольшой высотой.

### Заключение

Таким образом, ассамблеи жужелиц продемонстрировали дифференциацию  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразия на участках верхового болота различной степени антропогенной трансформации. Видовое богатство при нарушении, а также при полном удалении сфагнового покрова снижается, по сравнению с контрольными биотопами, тогда как при формировании древесного и кустарничкового покрова возрастает. Среднее число особей снижается, за исключением участков с частично нарушенным сфагновым покровом. С увеличением антропогенной трансформации индекс Шеннона возрастает за счет выравнивания и увеличения числа видов, достигая максимума на участках с древесной растительностью. Видовой состав и структура доминирования ассамблей жужелиц претерпевают наибольшие изменения при полном исчезновении сфагнового покрова.

### Библиографические ссылки

1. Rydin H, Jeglum JK. The biology of peatlands. Oxford: Oxford University Press; 2006. 382 p.
2. Spitzer K, Danks HV. Insect biodiversity of boreal peat bogs. *Annual Review of Entomology*. 2006;51:137–161. DOI: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151036
3. Кухарчик ТИ. *Верховые болота Беларуси*. Минск: Навука і тэхніка; 1993. 136 с.
4. Renkonen O. Statistisch-Ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Annales Zoologicae – Botanicae Societatis Fennicae – Vanamo*. 1938;6(1):231.
5. McCune B, Grace JB. Analysis of ecological communities. Gleneden Beach: MjM Software Design; 2002. 300 p.
6. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan RD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1–9.
7. Сушко ГГ. *Фауна и экология жесткокрылых (Ectognatha, Coleoptera) верховых болот Белорусского Поозерья*. Витебск: ВГУ им. П. М. Машерова; 2006. 247 с.

### References

1. Rydin H, Jeglum JK. The biology of peatlands. Oxford: Oxford University Press; 2006. 382 p.
2. Spitzer K, Danks HV. Insect biodiversity of boreal peat bogs. *Annual Review of Entomology*. 2006;51:137–161. DOI: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151036
3. Kukharchik TI. *Verkhovyye bolota Belarusi* [Raised bogs of Belarus]. Minsk: Navuka i tekhnika; 1993. 136 p. Russian.
4. Renkonen O. Statistisch-Ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Annales Zoologicae – Botanicae Societatis Fennicae – Vanamo*. 1938;6(1):231.
5. McCune B, Grace JB. Analysis of ecological communities. Gleneden Beach: MjM Software Design; 2002. 300 p.
6. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan RD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1–9.
7. Sushko GG. *Fauna i ekologiya zhestkokrylykh (Ectognatha, Coleoptera) verkhovykh bolot Belorusskogo Poozer'ya* [Fauna and ecology of beetles (Ectognatha, Coleoptera) of raised bogs of the Belarusian Lakeland]. Vitebsk: VGU im. P. M. Masheroval; 2006. 247 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 16.01.2023.  
Received by editorial board 16.01.2023.