

¹Т.А. Гордиенко, ¹Р.А. Суходольская, ²Ю.А. Лукьянова, ¹Д.Н. Вавилов

¹Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, eiseniata@gmail.com

²Национальный парк «Нижняя Кама»

ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА СТРУКТУРНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ ПОЧВЕННОЙ МЕЗОФАУНЫ ПОЙМЕННО-ЛУГОВЫХ СООБЩЕСТВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НИЖНЯЯ КАМА»

В результате прокладки трубопроводов и установки стоек высоковольтной линии электропередач в границах Елабужских и Танаевских лугов национального парка «Нижняя Кама» был нарушен растительный и почвенный покров. В работе проведена оценка сообществ педобионтов нарушенных и контрольных участков лугов. Показано сокращение таксономического состава и обилия мезофауны на трансформированных участках, численность в них педобионтов соответствовала показателям среднего и низкого значения. На контрольных участках обилие и таксономическое разнообразие мезофауны оставалось высоким.

Ключевые слова: Елабужские и Танаевские пойменные луга; национальный парк «Нижняя Кама»; почвенная мезофауна; структура; обилие; многомерный анализ.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.2.12.19>

Введение

По мнению некоторых исследователей, потеря и фрагментация естественных и полуприродных местообитаний представляет основную опасность для биоразнообразия (Bagaria et al., 2015). Исчезновение местообитаний уменьшает площадь, на которой могут селиться стенобионтные виды, а фрагментация уменьшает возможность реализации генного потока на мета-популяционном уровне (Kuussaari et al., 2009; Figueiredo et al., 2019). Потеря местообитаний и фрагментация часто сопровождаются последствиями, ведущими к разрушительным процессам: снижению выживаемости и репродуктивного потенциала стенобионтов, упрочению роли эврибионтов (Clavel et al., 2011). Такие эффекты определяют трансформацию абиотических условий (Kuussaari et al., 2009), прекращение традиционных процессов регуляции (Krauss et al., 2010), возрастающий краевой эффект (Kuussaari et al., 2009; Bagaria et al., 2015), давление эврибионтов и инвазивных видов, которые интенсивно размножаются в окружающем ландшафте (Figueiredo et al., 2019). В результате потери местообитания, его фрагментации и деградации значительно уменьшается численность и приспособленность популяций, что в конечном итоге может привести к локальному исчезновению видов, чувствительных к изменениям в среде (Figueiredo et al., 2019). Замещение стенобионтов эврибионтными видами приводит не толь-

ко к исчезновению представляющих интерес с точки зрения охраны природы видов, но также негативно сказывается на функционировании всей экосистемы вследствие её гомогенизации (Clavel et al., 2011). Потеря функционального разнообразия из-за выпадения видов, приспособленных к определенной среде, может значительно снизить уровень устойчивости и стабильности сообществ, усиливая процессы деградации (Clavel et al., 2011). Хотя популяции стенобионтов в малых по размеру, фрагментированных и нарушенных местообитаниях ослаблены, снижение связанности местообитаний и увеличение нарушенности и деградации экосистемы не всегда ведут к немедленному исчезновению видов. Часто наблюдается отсроченное вымирание определенных видов вследствие дестабилизации сосуществования и реализации конкурентного исключения (Tilman et al., 1994; Kuussaari et al., 2009; Figueiredo et al., 2019). Отсроченное вымирание, именуемое «долгом вымирания», типично для недавно фрагментированных ландшафтов, в которых площадь и/или пространственная конфигурация фрагментов местообитания находится ниже порога вымирания определенных видов (Krauss et al., 2010; Löffler et al., 2020). Среди экосистем умеренной зоны естественные и полуприродные луга наиболее подвержены антропогенной трансформации.

Число исследований, подчеркивающих важность возрождения и охраны луговых экосистем

(Török et al. 2011; Buisson et al. 2019) и включения этой деятельности в широкомасштабные программы охраны биоразнообразия, такие как UN Decade on Ecosystem Restoration (Dudley et al., 2020), растёт, особенно в северном полушарии. На территории Национального парка «Нижняя Кама» в результате работ по прокладке высоковольтной линии электропередач (ВЛЭП) и трубопроводов достаточно обширные участки лугов оказывались трансформированными. На них ведется мониторинг состояния почвенной биоты (Вавилов и др., 2020; Гордиенко и др., 2017; 2020; 2021). Цель данного исследования – сравнить структуру сообществ почвенной мезофауны в пределах Танаевских и Елабужских пойменных лугов национального парка «Нижняя Кама» на трансформированных участках и в сохраняющих естественную структуру биоценозах (контрольных) с применением методов многомерной статистики. Она позволяет: (i) оценить степень различий попарно на участках по типу «контроль–нарушенный»; (ii) оценить степень различий отдельно между всеми нарушенными участками, с одной стороны, и всеми контрольными – с другой; (iii) оценить значимость фактора «локация–антропогенный фактор» в формировании структуры педобионтов на исследуемых территориях.

Материалы и методы исследования

Национальный парк «Нижняя Кама» расположен в Елабужско-Предкамском эрозионно расчлененном районе подтаежных Приуральских широколиственно-пихтово-еловых неморально-травяных, сосново-широколиственных, сосновых травяных и фрагментами заболоченных пойменных лесов и болот Вятско-Камского равнинного

региона темнохвойно-широколиственных лесов, долинных гигрофитных неморальных лесов и болот (Бакин и др., 2000). Территория парка (26455 га) включает в себя обособленные лесные массивы и обширные пойменные угодья (кластеры). Пойменные кластеры – Елабужские (2681 га) и Танаевские (5141 га) луга – являются эталоном пойменных экосистем Среднего Поволжья (Государственный ..., 2007). Данные участки, охватывающие приустьевую, центральную и притеррасную пойму правобережья р. Камы, представлены типичным пойменно-луговым ландшафтом с характерными растительными сообществами.

Елабужские и Танаевские луга включены в состав Национального парка без изъятия из хозяйственной эксплуатации, функционально они отнесены к зоне хозяйственного назначения. Традиционные виды использования лугов – сенокосение, выпас скота, рекреация.

В границах Елабужских и Танаевских лугов расположены линейные объекты: продуктопроводы и ВЛЭП, прокладка и эксплуатация которых обусловили локальное нарушение почв и трансформацию напочвенного покрова. Это выразилось в перемешивании почвенных горизонтов, погребении плодородного слоя, исчезновении луговой растительности.

На нарушенных участках Танаевских лугов исследования проводились в третьей декаде августа 2019 г. и в первой декаде июня 2021 г., на Елабужских лугах – в третьей декаде июня 2016 г. Для сравнения использовали расположенные рядом участки с естественной растительностью и почвами. Схема расположения участков представлена на рисунке 1.

Нарушенные участки Танаевских лугов (участ-

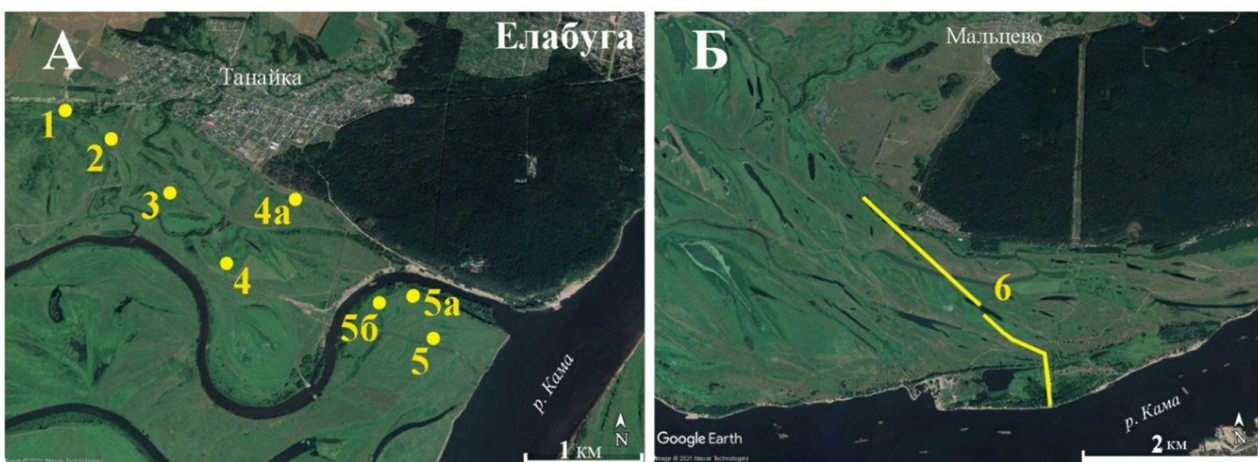


Рис. 1. Карта-схема района исследования Танаевских (А) и Елабужских (Б) лугов национального парка «Нижняя Кама»

Fig. 1. Map of the study area of the Tanayka (A) and Yelabuga (B) meadows in the National Park «Nizhnyaya Kama»

ки 1–5) расположены в полосе отвода газопровода высокого давления, проложенного в осенне-весенний период 2018–2019 гг. (Вавилов и др., 2020; Гордиенко и др., 2021), а также на участке старого водовода, замена которого проводилась в весенне-летний период 2020 г. (участки 4а, 5а, 5б) (рис. 1А). Общая площадь нарушенных земель 17.6 га, из них обследовано 2.4 га.

Нарушенные участки Елабужских лугов приурочены к стойкам опор ВЛЭП, установленным в декабре 2015 г. Общая площадь нарушенных земель 0.58 га, из них обследовано 0.38 га (Гордиенко и др., 2017). Контрольные участки расположены на расстоянии 30–50 м от стоек ВЛЭП (участок 6) (рис. 1Б).

Учёт численности почвенной мезофауны выполнен стандартными почвенно-зоологическими методами (Методы ..., 1975). Отобрано 280 почвенных проб на площадках размером 25×25×15 см.

Контрольные участки представляют собой типичные пойменно-луговые сообщества, без видимых нарушений верхнего почвенного горизонта, с сохранившейся дерниной (табл. 1). Доля луговых видов фоновая (60–80%). В составе сообществ преобладают многолетние травянистые растения. На нарушенных участках увеличена доля терофитов (однолетников), что свидетельствует о недавней трансформации растительного сообщества. Для них характерны сукцессионные процессы. Высока доля рудеральных видов (50% и более).

Результаты и их обсуждение

Нарушенные участки Танаевских и Елабужских лугов имели признаки сходства таксономического состава педобионтов (рис. 2). На обоих участках отмечены представители 4 классов почвенных беспозвоночных (Clitellata, Arachnida, Chilopoda, Insecta), относящихся к двум типам (кольчатые черви Annelida и членистоногие Arthropoda). Помимо вышеперечисленных, на Танаевских лугах встречены представители классов Malacostraca и Diplopoda. Количество выявленных здесь отрядов 10, на Елабужских лугах – 6, при общем количестве таксонов 14 и 11, соответственно. В количественном соотношении на нарушенных участках Танаевских и Елабужских лугов преобладали насекомые (65.9 и 72.2%, соответственно), дождевые черви (17% и 19%), хищные многоножки (8.2% и 3.8%) и пауки (3.3% и 5.1%) (рис. 2). Обилие почвенной мезофауны различалось незначительно: 28.7–30.3 экз./м² (рис. 3).

В отличие от нарушенных, контрольные участки в пределах обоих луговых кластеров

отличались по таксономическому составу и численности педобионтов. На Танаевских лугах мезофауна представлена 2 типами (кольчатые черви Annelida, членистоногие Arthropoda), 4 классами (Clitellata, Malacostraca, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Insecta) и 10 отрядами (18 таксономических групп). На Елабужских лугах – 3 типами (Annelida, Arthropoda и моллюски Mollusca), 5 классами (Clitellata, Gastropoda, Arachnida, Chilopoda, Insecta) и 9 отрядами (14 таксономических групп). На контрольных участках доминировали насекомые (36% и 56.7%, соответственно), дождевые черви (55.7% и 28.9%) и хищные многоножки (5% и 11.2%).

Обилие педобионтов на Танаевских лугах (124.5 экз./м²) было почти в два раза выше по сравнению с Елабужскими (68 экз./м²) (рис. 3). При этом на территории Восточного Предкамья обилие мезофауны лугов низкого уровня в среднем составляет 44 экз./м², лугов среднего уровня – 69 экз./м² (Кадастр ..., 2014).

В трофической структуре лугов различий между Танаевским и Елабужским кластерами не зафиксировано: на нарушенных участках преобладали хищники (40.7% и 38%, соответственно), в меньшей степени были представлены сапрофаги (29.7% и 26.6%) и фитофаги (20.3% и 27.8%) (рис. 4). На контрольных участках лугов трофическая структура оказалась сходной, однако здесь большую роль играли сапрофаги (58.1% и 40%, соответственно). Таким образом, наблюдалась тенденция к увеличению доли хищной группы почвенных организмов мезофауны на нарушенных участках в обоих кластерах и к возрастанию роли сапрофагов в сообществе педобионтов естественной луговой растительности, что характерно для естественных лугов низкого (80%) и среднего (50%) уровня Восточного Предкамья Республики Татарстан (Кадастр ..., 2014).

К.В. Дорохов (Дорохов и др., 2016) отмечает связь уменьшения общей численности и количества таксономических групп мезофауны с рядом антропогенных факторов, обуславливающих деградацию почв, причем как в отдельности, так и в совокупности (низовой пожар, рекреация, рубка, вспашка). Сапрофаги снижают своё доленое участие в комплексе почвенной мезофауны при всех видах воздействия.

Как показал дискриминантный анализ (табл. 2), нарушенные и контрольные участки в пределах одного пойменно-лугового кластера отличаются друг от друга по таксономическому составу, обилию и трофической структуре почвенной мезофауны. При сравнении трофических групп из девяти вариантов только в трёх из них не были

Таблица 1. Основные типы травянистых ассоциаций Елабужских и Танаевских лугов
 Table 1. The main types of herbaceous communities within Elabuga and Tanayka meadows

Участки Plots	Нарушенные Disturbed	Контрольные Control
1	асс. Хвощево-бодяковая (<i>Cirsium setosum</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Trifolium repens</i>)	асс. Мятликовая (<i>Poa pratensis</i> , <i>Carex praecox</i> , <i>Serratula coronata</i>) асс. Мятликовая (<i>Poa angustifolia</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Carex praecox</i>)
2	асс. Бодяковая (<i>Cirsium setosum</i> , <i>Cichorium intybus</i> , <i>Trifolium repens</i>)	асс. Мятликовая (<i>Poa angustifolia</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i>)
3	асс. Бодяковая (<i>Cirsium setosum</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Artemisia abrotanum</i>)	асс. Вейниковая (<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Poa angustifolia</i> , <i>Artemisia abrotanum</i>)
4	асс. Бодяковая (<i>Cirsium setosum</i> , <i>Cirsium incanum</i> , <i>Cichorium intybus</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Bromopsis inermis</i>)	асс. Мятликово-вейниковая (<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Poa angustifolia</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Equisetum arvense</i>) асс. Вейниковая (<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Cirsium setosum</i>)
4а	Травянистый покров отсутствовал	асс. Репешково-мятликсовая (<i>Poa angustifolia</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Agrimonia eupatoria</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Artemisia abrotanum</i>)
5	асс. Хвощево-бодяковая (<i>Cirsium setosum</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Artemisia absinthium</i> , <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Bunias orientalis</i>)	асс. Мятликовая (<i>Poa angustifolia</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Carex praecox</i> , <i>Fragaria viridis</i>)
5а	асс. Бодяковая (<i>Cirsium setosum</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Artemisia absinthium</i> , <i>Bromopsis inermis</i>)	асс. Вейниковая (<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Rubus caesius</i> , <i>Rumex confertus</i>)
5б	асс. Латуковая (<i>Lactuca serriola</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Artemisia vulgaris</i> , <i>Cirsium setosum</i>)	асс. Землянично-вейниковая (<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Rubus caesius</i>)
6	асс. Бодяковая (<i>Cirsium setosum</i> , <i>Equisetum arvense</i> , <i>Artemisia absinthium</i> , <i>Tripleurospermum inodorum</i>)	асс. Мятликовая (<i>Poa angustifolia</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Filipendula vulgaris</i>) асс. Двуклосточниковая (<i>Phalaroides arundinacea</i> , <i>Filipendula ulmaria</i> , <i>Cirsium incanum</i> , <i>Valeriana officinalis</i>)

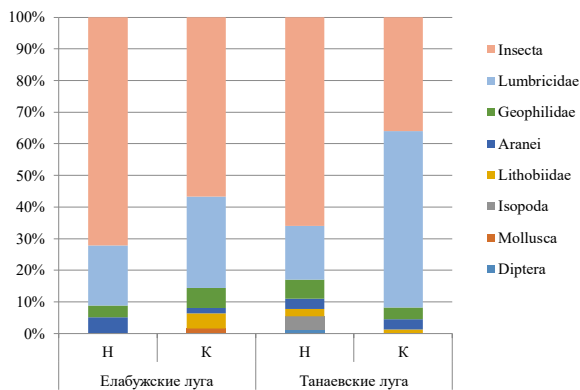


Рис. 2. Соотношение крупных таксонов почвенной мезофауны нарушенных (Н) и контрольных (К) участков лугов
 Fig. 2. Proportional representation of large taxa of soil macrofauna in disturbed (H) and control (K) plots of the meadows

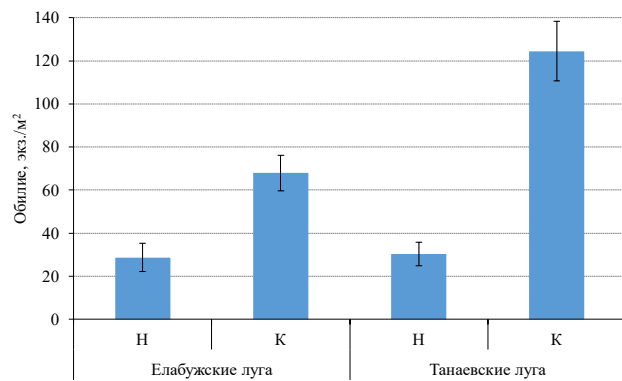


Рис. 3. Обилие почвенной мезофауны на нарушенных (Н) и контрольных (К) участках лугов
 Fig. 3. Soil macrofauna abundance in disturbed (H) and control (K) plots of the meadows

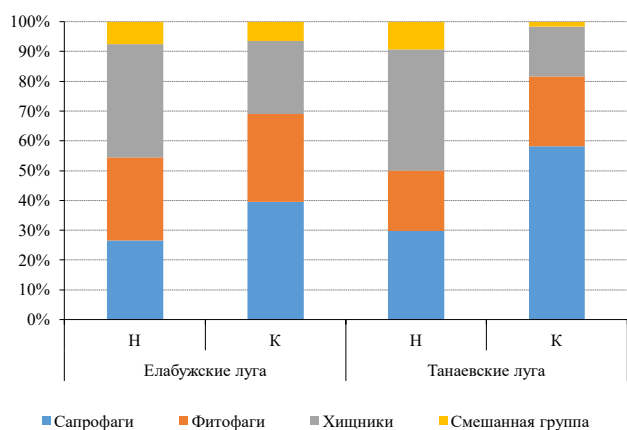


Рис. 4. Соотношение трофических групп почвенной мезофауны на нарушенных (Н) и контрольных (К) участках лугов

Fig. 4. Proportional representation of trophic groups of soil macrofauna in disturbed (H) and control (C) plots of the meadows

отмечены статистически значимые отличия. Наибольший вклад в дискриминацию вносили: дождевые черви (в 7 случаях из 9) и жуки-щелкуны (в 5 случаях). Среди трофических групп большую роль в дискриминации играют фитофаги (в 5 случаях из 7) и сапрофаги (в 3 случаях).

Таблица 2. Результаты попарного сравнения состава педобионтов и их трофических групп нарушенного и контрольного участков

Table 2. Results of pairwise comparison of pedobionts and their trophic groups in disturbed and control areas

Участки Plots	Wilks' Lambda	p-level	Squared Mahalanobis distance	p-level	Таксоны, вносящие наибольший вклад в дискриминацию Taxa that contributed the most according to discrimination
1	0.467	0.007	3.99	0.007	Жужелицы, дождевые черви
	0.488	0.074	3.67	0.074	Сапрофаги
2	0.261	0.000	10.59	0.000	Насекомые, геофилиды
	0.401	0.000	5.60	0.000	Фитофаги, хищники
3	0.509	0.026	3.62	0.003	Клопы, мокрицы, дождевые черви
	0.899	0.561	0.42	0.56	Нет
4	0.228	0.000	12.70	0.000	Пауки, листоеды, дождевые черви, щелкуны, долгоносики
	0.550	0.000	3.06	0.000	Фитофаги, смешанная группа
4a	0.517	0.003	3.85	0.004	Насекомые, дождевые черви
	0.550	0.007	3.37	0.007	Сапрофаги, фитофаги
5	0.378	0.000	6.17	0.000	Щелкуны, хрущи, дождевые черви
	0.510	0.000	3.61	0.001	Фитофаги
5a	0.003	0.000	1013.25	0.000	Дождевые черви, клопы, щелкуны, сетчатокрылые
	0.109	0.000	28.47	0.000	Сапрофаги, смешанная группа
5b	0.321	0.009	7.40	0.009	Щелкуны, пауки
	0.739	0.460	1.24	0.46	Нет
6	0.642	0.0000	2.18	0.000	Дождевые черви, литобииды, долгоносики, щелкуны
	0.804	0.001	0.95	0.001	Фитофаги

Дискриминантный анализ объединенных данных по предиктору «локация–антропогенный фактор» также выявил статистически значимые отличия по таксономическому и трофическому составу педобионтов (табл. 3, рис. 5, 6).

Наибольший вклад в эти различия вносили как наиболее многочисленные таксоны – щелкуны, дождевые черви, сапрофаги, так и малочисленные – моллюски, мягкотелки, двукрылые, пауки, чешуекрылые, фитофаги и смешанная группа. Контрольные участки Елабужских и Танаевских лугов отличались по составу и обилию почвенной мезофауны, в нарушенных участках обоих кластеров подобных отличий не наблюдалось.

Заключение

Таким образом, обилие и таксономическое разнообразие сообщества педобионтов мезофауны нарушенных участков Танаевских и Елабужских лугов национального парка «Нижняя Кама» оказалось статистически значимо меньше по сравнению с контрольными. В их трофической структуре главную роль играли хищники (паукообразные, жуки жужелицы), тогда как на контрольных участках доминировали сапрофаги (дождевые

Таблица 3. Результаты дискриминантного анализа структуры сообществ педобионтов и трофических групп нарушенных и контрольных участков Елабужских и Танаевских лугов
 Table 3. Results of discriminant analysis of the communities structure of pedobionts and trophic groups in disturbed and control plots of the Elabuga and Tanayka meadows

Анализ Analysis	Wilks' Lambda	p	Squared Mahalanobis distance	p	Таксоны, вносящие наибольший вклад в дискриминацию Taxa that contributed the most according to discrimination
По таксономической структуре By taxonomic structure	0.516	0.000	0.42-2.78 (93.3%)	0.00-0.73	Щелкуны, пауки, дождевые черви, моллюски, мягкотелки, двукрылые, чешуекрылые
По трофической структуре By trophic structure	0.734	0.000	0.04-1.42 (93.3%)	0.00-0.90	Смешанная группа, сапрофаги, фитофаги

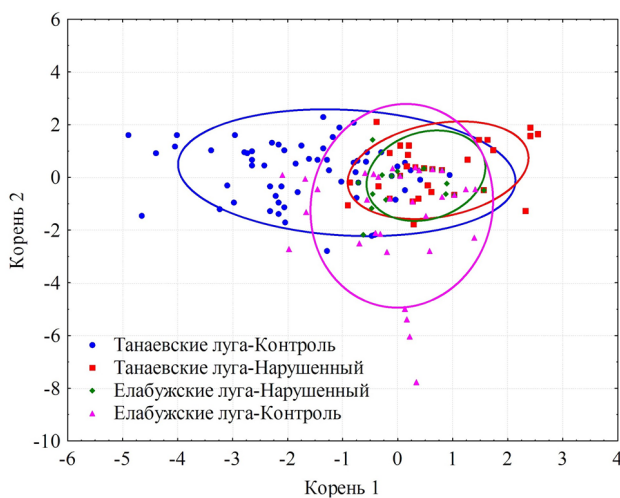


Рис. 5. Ординация сообществ почвенной мезофауны на нарушенных и контрольных участках лугов в плоскости дискриминантных осей

Fig. 5. Ordination of the soil macrofauna communities in the disturbed and control areas of the meadows in the plane of two discriminant axes

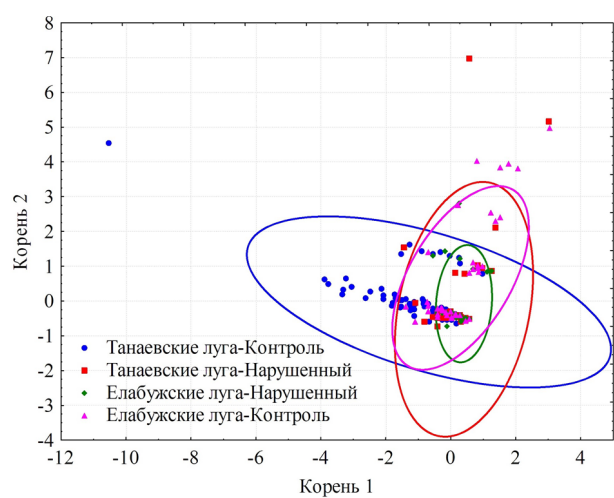


Рис. 6. Ординация трофических групп сообщества почвенной мезофауны на нарушенных и контрольных участках лугов в плоскости дискриминантных осей

Fig. 6. Ordination of trophic groups of the soil macrofauna community in the disturbed and control areas of the meadows in the plane of discriminant axes

черви и личинки двукрылых). По обилию, таксономической и трофической структуре почвенной мезофауны нарушенные участки, независимо от вида произведенных на них хозяйственных работ, не отличаются.

Структура и обилие педобионтов контрольных участков Елабужских и Танаевских лугов различны и соответствуют высоким и средним показателям лугов подтаежной подзоны бореальной ландшафтной зоны Республики Татарстан. В более влажных Елабужских лугах численность педобионтов, равно как и разнообразие крупных таксонов, было ниже по сравнению с Танаевскими. Обилие большинства таксонов на Танаевских лугах оказалось более высоким, за исключением жуков долгоносиков и личинок двукрылых. Эти отличия могут быть связаны с сезонностью взят

тия проб, влажностью почвы, различной продолжительностью паводкового периода.

Список литературы

1. Бакин О.В., Рогова Т.В., Ситников А.П. Сосудистые растения Татарстана. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2000. 496 с.
2. Вавилов Д. Н., Суходольская Р. А., Гордиенко Т. А., Лукьянова Ю.А. Воздействие прокладки инженерных коммуникаций на крупных почвенных беспозвоночных // Российский журнал прикладной экологии. 2020. №2. С. 8–16.
3. Государственный реестр особо охраняемых территорий в Республике Татарстан. Казань: Идел-Пресс, 2007. 408 с.
4. Гордиенко Т.А., Вавилов Д.Н., Лукьянова Ю.А. Структурная организация сообщества наземных и почвенных беспозвоночных на естественных и нарушенных участках Танаевских лугов Национального парка «Нижняя Кама» // Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П.Г. Смидовича. 2021. Вып. 28. С. 38–50.

5. Гордиенко Т.А., Вавилов Д.Н., Суходольская Р.А., Лукьянова Ю.А. Влияние антропогенной трансформации луговых экосистем Национального парка «Нижняя Кама» на сообщества наземных и почвенных беспозвоночных // Российский журнал прикладной экологии. 2017. №3. С. 7–11.

6. Гордиенко Т.А., Суходольская Р.А., Вавилов Д.Н., Лукьянова Ю.А. Устойчивость луговых сообществ педобионтов при антропогенной нагрузке // Концептуальные и прикладные аспекты научных исследований и образования в области зоологии беспозвоночных / Сборник статей V Междунар. конф. Томск: Изд-во Томского государственного ун-та, 2020. С. 59–62.

7. Дорохов К.В., Шелуха В.П., Кистерный Г.А. Сравнительное влияние антропогенных факторов на состав, трофическую структуру и плотность мезофауны // Лесной журнал. 2016. №5. С. 9–21.

8. Кадастр сообществ почвообитающих беспозвоночных (мезофауна) естественных экосистем Республики Татарстан. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2014. 308 с.

9. Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. 280 с.

10. Bagaria G., Helm A., Rodá F., Pino, J. Assessing coexisting plant extinction debt and colonization credit in a grassland-forest change gradient // *Oecologia*. 2015. Vol. 179. P. 823–834. doi: 10.1007/s00442-015-3377-4.

11. Clavel J., Julliard R., Devictor V., Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? // *Frontiers in ecology and the environment*. 2011. Vol. 94. P. 222–228. doi: 10.1890/080216.

12. Figueiredo L., Krauss J., Steffan-Dewenter I., Cabral J.S., Understanding extinction debts: spatio-temporal scales, mechanisms and a roadmap for future research // *Ecography*. 2019. Vol. 42. P. 1973–1990. doi: 10.1111/ecog.04740

13. Krauss J., Bommarco R., Guardioli, M. Habitat fragmentation causes immediate and time delayed biodiversity loss at different trophic levels // *Ecology Letters*. 2010. Vol. 3. P. 597–605. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01457.x

14. Kuussaari M., Bommarco R., Heikkinen R.K. Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation // *Trends in ecology & evolution*. 2009. Vol. 24. P. 564–571. doi: 10.1016/j.tree.2009.04.011

15. Löffler F., Poniatowski D., Fartmann T. Extinction debt across three taxa in well-connected calcareous grasslands // *Biological conservation*. 2020. Vol. 246. P. 108588. doi: 10.1016/j.biocon.2020.108588

16. Buisson E., Fidelis A., Overbeck G.E., Schmidt I.B., Durigan G., Young T.P., Alvarado S.T., Arruda A.J., Boisson S., Bond W., Coutinho A., Kirkman K., Oliveira R.S., Schmitt M.H., Siebert F., Siebert S.J., Thompson D.I., Silveira F.A.O. A research agenda for the restoration of tropical and subtropical grasslands and savannas // *Restoration ecology*. 2021. Vol. 29. P. e13528. doi: 10.1111/rec.13292

17. Török P., Vida E., Deák B., Lengyel S., Tóthmérész B. Grassland restoration on former croplands in Europe: an assessment of applicability of techniques and costs // *Biodiversity and conservation*. 2011. Vol. 20. P. 2311–2332.

References

1. Bakin O.V., Rogova T.V., Sitnikov A.P. Sosudistye rasteniya Tatarstana [Vascular plants of Tatarstan]. Kazan': Kazan state university, 2000. 496 p.

2. Vavilov D.N., Suhodol'skaya R.A., Gordienko T.A., Luk'yanova Yu.A. Vozdeystvie prokladki inzhenernykh kommunikacij na krupnyh pochvennyh bespozvonochnyh [Impact of utility installations on large soil invertebrates] // *Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii* [Russian journal of applied ecology]. 2020. №2. P. 8–16.

3. Gosudarstvennyj reestr osobo ohranyaemyh territorij v Respublike Tatarstan. [State register of specially protected natural areas in the Republic of Tatarstan]. Kazan': Idel-Press, 2007. 408 p.

4. Gordienko T.A., Vavilov D.N., Luk'yanova Yu.A. Strukturnaya organizaciya soobshchestva nazemnyh i pochvennyh bespozvonochnyh na estestvennyh i narushennyh uchastkah Tanaevskih lugov Nacional'nogo parka «Nizhnaya Kama» [Structural organization of the community of terrestrial and soil invertebrates in natural and disturbed areas of the Tanayka meadows of the Nizhnaya Kama National Park] // *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika imeni P.G. Smidovicha* [Proceedings of the Mordovian State Natural Reserve named after P.G. Smidovich]. 2021. Iss. 28. P. 38–50.

5. Gordienko T.A., Vavilov D.N., Suhodol'skaya R.A., Luk'yanova Yu.A. Vliyanie antropogennoj transformacii lugovyh ekosistem nacional'nogo parka «Nizhnaya Kama» na soobshchestva nazemnyh i pochvennyh bespozvonochnyh [Influence of Anthropogenic Transformation of Meadow Ecosystems of the Nizhnaya Kama National Park on Communities of Terrestrial and Soil Invertebrates] // *Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii* [Russian journal of applied ecology]. 2017. №3. P. 7–11.

6. Gordienko T.A., Suhodol'skaya R.A., Vavilov D.N., Luk'yanova Yu.A. Ustojchivost' lugovyh soobshchestv pedobiiontov pri antropogennoj nagruzke [Stability of meadow communities of pedobionts under anthropogenic impact] // *Konceptual'nye i prikladnye aspekty nauchnyh issledovanij i obrazovaniya v oblasti zoologii bespozvonochnyh* [Conceptual and applied aspects of research and education in the field of invertebrate zoology] / *Sbornik statej V Mezhdunar. konf. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020. P. 59–62.

7. Dorohov K.V., Sheluho V.P., Kisternyj G.A. Sravnitel'noe vliyanie antropogennyh faktorov na sostav, troficheskuyu strukturu i plotnost' mezofauny [Comparative influence of anthropogenic factors on the composition, trophic structure and density of mesofauna] // *Lesnoj zhurnal* [Forest journal]. 2016. №5. P. 9–21.

8. Kadastr soobshchestv pochvoobitayushchih bespozvonochnyh (mezofauna) estestvennyh ekosistem Respubliki Tatarstan [Cadastre of communities of soil-dwelling invertebrates (mesofauna) of natural ecosystems of the Republic of Tatarstan]. Kazan': Kazan state university, 2014. 308 p.

9. Bagaria G., Helm A., Rodá F., Pino, J. Assessing coexisting plant extinction debt and colonization credit in a grassland-forest change gradient // *Oecologia*. 2015. Vol. 179. P. 823–834. doi: 10.1007/s00442-015-3377-4.

10. Bagaria G., Helm A., Rodá F., Pino, J. Assessing coexisting plant extinction debt and colonization credit in a grassland-forest change gradient // *Oecologia*. 2015. Vol. 179. P. 823–834. doi: 10.1007/s00442-015-3377-4.

11. Clavel J., Julliard R., Devictor V., Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? // *Frontiers in ecology and the environment*. 2011. Vol. 94. P. 222–228. doi: 10.1890/080216.

12. Figueiredo L., Krauss J., Steffan-Dewenter I., Cabral J.S., Understanding extinction debts: spatio-temporal scales, mechanisms and a roadmap for future research // *Ecography*. 2019. Vol. 42. P. 1973–1990. doi: 10.1111/ecog.04740

13. Krauss J., Bommarco R., Guardioli, M. Habitat fragmentation causes immediate and time delayed biodiversity loss at different trophic levels // *Ecology Letters*. 2010. Vol. 3. P. 597–605. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01457.x

14. Kuussaari M., Bommarco R., Heikkinen R.K. Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation // *Trends in ecology & evolution*. 2009. Vol. 24. P. 564–571. doi: 10.1016/

j.tree.2009.04.011

15. Löffler F., Poniatowsk D., Fartmann T. Extinction debt across three taxa in well-connected calcareous grasslands // *Biological conservation*. 2020. Vol. 246. P. 108588. doi: 10.1016/j.biocon.2020.108588

16. Buisson E., Fidelis A., Overbeck G.E., Schmidt I.B., Durigan G., Young T.P., Alvarado S.T., Arruda A.J., Boisson S., Bond W., Coutinho A., Kirkman K., Oliveira R.S., Schmitt M.H., Siebert F., Siebert S.J., Thompson D.I., Silveira F.A.O. A research agenda for the restoration of tropical and subtropical grasslands and savannas // *Restoration ecology*. 2021. Vol. 29. P. e13528. doi: 10.1111/rec.13292

17. Török P., Vida E., Deák B., Lengyel S., Tóthmérész B. Grassland restoration on former croplands in Europe: an assessment of applicability of techniques and costs // *Biodiversity and conservation*. 2011. Vol. 20. P. 2311–2332.

Gordienko T.A., Sukhodolskaya R.A., Lukyanova Yu.A., Vavilov D.N. **The effect of soil disturbance on the structural organization of soil macrofauna on floodplain-meadow communities of the National park «Nizhnyaya Kama».**

As a result of the laying of pipelines and the installation of pylons of a high-voltage power line within the boundaries of the Yelabuga and Tanayka meadows of the National Park “Nizhnyaya Kama”, the humus horizons of alluvial soils were disturbed. An assessment of pedobiont communities in disturbed and control areas of meadows was carried out. A decrease in the taxonomic composition and abundance of soil macrofauna in the transformed areas was shown, the number of pedobionts in them corresponded to the indicators of medium and low values. In the control plots, the abundance and taxonomic diversity of soil macrofauna remained high.

Keywords: Elabuga and Tanayka floodplain meadows; National park «Nizhnyaya Kama»; disturbed and control areas; soil macrofauna; structure; abundance; multivariate analysis.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 20.04.2022

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 28.04.2022

Принята к публикации / Accepted for publication: 04.05.2022

Информация об авторах

Гордиенко Татьяна Александровна, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: eiseniata@gmail.com.

Суходольская Раиса Анатольевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, ул. Даурская, 28, E-mail: ra5suh@rambler.ru.

Лукьянова Юлия Александровна, заместитель директора по научной работе, Национальный парк «Нижняя Кама», 423603, г. Елабуга, ОПС-3, а/я 241, E-mail: julia-luk@inbox.ru.

Вавилов Дмитрий Николаевич, младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: sabantsev.ipen@gmail.com.

Information about the authors

Tatyana A. Gordienko, Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daurskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: eiseniata@gmail.com.

Raisa A. Sukhodolskaya, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daurskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: ra5suh@rambler.ru.

Yulia A. Lukyanova, Deputy Director, The National Park «Nizhnyaya Kama», Elabuga, 423603, Box 241, Russia, E-mail: julia-luk@inbox.ru.

Dmitriy N. Vavilov, Junior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daurskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: sabantsev.ipen@gmail.com.