

УДК 595.61(470.62)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНВАЗИИ САМШИТОВОЙ ОГНЁВКИ (*CYDALIMA PERSPECTALIS*, LEPIDOPTERA, CRAMBIDAE) НА ФАУНУ ДВУПАРНОНОГИХ МНОГОНОЖЕК (DIPLOPODA) КАВКАЗСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

© 2025 А. П. Евсюков<sup>а, \*</sup>, Ю. А. Чумаченко<sup>б, с, \*\*</sup>, И. В. Попов<sup>а, \*\*\*</sup>

<sup>а</sup> Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, 344003 Россия

<sup>б</sup> Кавказский государственный природный биосферный заповедник имени Х.Г. Шапошникова, Майкоп, 385000 Россия

<sup>с</sup> Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, 385000 Россия

\*e-mail: aevsukov@mail.ru

\*\*e-mail: ychumachenko73@mail.ru

\*\*\*e-mail: ipopov@donstu.ru

Поступила в редакцию 19.03.2024

После доработки 16.10.2024

Принята к публикации 18.10.2024

Исследованы изменения видового состава и численности диплопод на участке самшитника тисо-самшитовой рощи, возникшие в результате инвазии самшитовой огневки. Выявлено исчезновение или сокращение численности ряда видов, смена доминантов и субдоминантов на исследуемой площадке. Показаны статистически значимые снижение альфа-разнообразия по индексу Шеннона, изменение бета-разнообразия и обилия отдельных видов.

**Ключевые слова:** диплоподы, инвазия, самшитовая огневка, разнообразие, динамическая плотность, статистический анализ

**DOI:** 10.31857/S0044513425010038, **EDN:** syxbvi

Самшитовая огневка (*Cydalima perspectalis* (Walker 1859)) была завезена на территорию Большого Сочи в 2012 г. в ходе озеленения территории в 2012 г. из Италии. В 2013 г. этот вид проник в абригенные леса окрестностей города Сочи (Гниенко и др., 2014). Результаты проведенных ранее исследований показали, что после инвазии произошли значительные изменения в видовом богатстве и численности как растений, так и беспозвоночных животных.

Для большинства групп герпетобионтных членистоногих, начиная с 2015 г., зафиксировано значительное снижение численности по сравнению с данными, полученными в 2006 г. (до проникновения самшитовой огневки). В дальнейшем, в 2017 и 2018 гг., было отмечено повышение численности мокриц (Isopoda), котянок (Lithobiomorpha) и пауков (Aranei) до значений, превышающих значения 2006 г. Повышение численности сопровождалось сменой доминантных видов. Однако для сенокосцев (Opiliones) и кивсяков (Julida) численность не достигла прежних значений (Снеговая,

Чумаченко, 2018; Пономарев, Чумаченко, 2019; Резчикова и др., 2022).

Ранее на основе материала 2013 г. был проведен анализ фауны диплопод тисо-самшитовой рощи (Чумаченко, 2016). На участке самшитника в 2013 г. было обнаружено 27 видов диплопод, и на основе этого материала были описаны 2 вида, пока найденные только в тисо-самшитовой роще: *Flagellophorella hoffmani* Antić et Makarov 2016 и *Micropachyiulus caucasicus* Vagalinski, Evsyukov, Chumachenko et Zabiyaка 2023. Данные, полученные в 2013 г., исключены из дальнейшего обсуждения, поскольку сборы были проведены на участке, находящемся западнее модельной площадки.

Таким образом, сведения по изменению видового состава и численности диплопод после инвазии самшитовой огневки до настоящего времени отсутствовали. Для оценки влияния инвазии нами были произведены специальные исследования в тисо-самшитовой роще Кавказского биосферного заповедника.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

## Статистическая обработка данных

## Сбор полевого материала

Сбор материала проводили с марта по октябрь в 2006 (до инвазии), 2015–2018 и с марта по август в 2021 г. (после инвазии) почвенными ловушками Барбера на постоянной площадке в самшитнике на территории тисо-самшитовой рощи Кавказского биосферного заповедника (окрестности города Хоста). На каждой площадке было выставлено по 10 ловушек – пластиковых стаканов объемом 500 мл с фиксирующей жидкостью (4% раствор формальдегида). Установку ловушек осуществляли ежемесячно с первого по третье число, проверку с 28-го по 30-е число. Двупарноногих многоножек фиксировали 70% спиртом для дальнейшего определения.

## Характеристика площадки

Верхний ярус растительности на площадке занимает ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*) и, единично, липа бегониелистная (*Tilia begoniifolia*). Второй ярус представлен самшитом колхидским (*Buxus colchica*), проективное покрытие которого в 2006 г. доходило до 100%, к 2015 г. этот показатель снизился до 30%, а в 2016 самшит исчез из второго яруса. Кроме того, самшит встречался в ярусе подроста, где с 2015 по 2021 г. его проективное покрытие составляло около 10%. Кустарниково-кустарничковый ярус на исследуемой площадке появился с 2016 г. и представлен иглицей колхидской (*Ruscus colchicus*) и ежевикой азиатской (*Rubus anatolicus*). С 2015 г. стали появляться такие виды, как осот *Sonchus oleraceus*, лаконос *Phytolacca* sp., заразиха *Orobancha* sp., гравилат *Geum rivale*, герань *Geranium robertianum*, зубянки *Dentaria quinquefolia*, *D. bulbifera*, мелкоцветник *Erigeron* sp., плющ *Hedera colchica*, сассапариль *Smilax excelsa* и др. (Пономарев, Чумаченко, 2019). Таким образом, изреживание самшитового полога привело к увеличению обилия и проективного покрытия кустарниково-кустарничковых и травянистых растений (табл. 1).

Данные по динамической плотности суммировались по годам и сезонам: весна (март, апрель, май), лето (июнь, июль, август), осень (сентябрь, октябрь). Таким образом, общее количество наблюдений составило 17 (табл. 2).

Статистический анализ полученных данных был проведен с использованием языка статистического программирования R версии 4.2.3 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Индексы разнообразия были определены и проанализированы с использованием пакета *vegan* (Oksanen et al., 2022). Для определения альфа-разнообразия были использованы индексы разнообразия Шеннона (Shannon, Weaver, 1949) и Симпсона (Simpson, 1949), а также индекс выравненности экологических сообществ Пиелу (Pielou, 1966). Так как полученные данные по индексам альфа-разнообразия и обилию диплопод не подчинялись нормальному распределению согласно критерию Шапиро–Уилка ( $p < 0.05$ ), для определения различий между годами и сезонами был использован критерий Краскела–Уоллиса с последующим применением критерия Данна. Для определения корреляций между показателями альфа-разнообразия, численностью диплопод и изменениями в растительном покрове применен критерий Спирмена. Бета-разнообразие оценивали с использованием индекса несходства Брея–Кертиса (Bray, Curtis, 1957). Показатели бета-разнообразия были сравнены с применением попарного пермутационного многомерного дисперсионного анализа (pairwise PERMANOVA) с количеством пермутаций при каждом сравнении, равном 999. Все результаты множественных проверок гипотез были скорректированы с использованием процедуры Беньямини–Хохберга для контроля частоты ложноположительных результатов. Результаты считались статистически значимыми при  $p < 0.05$ . Результаты статистического анализа были визуализированы в виде ящиков с усами, графиков главных компонент с использованием пакета *ggplot2* (Wickham, 2016).

Таблица 1. Геоботаническая характеристика площадки

Ярусы	Проективное покрытие (сомкнутость полога), %					
	2006	2015	2016	2017	2018	2021
1 ярус	50	50	50	50	50	50
2 ярус	70	30	10	10	10	10
Кустарниково-кустарничковый ярус	0	0	20	20	40	40
Подрост	20	5	60	20	30	30
Травянистый ярус	10	40	40	60	90	90

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

## Видовое разнообразие и динамическая плотность

За весь период исследования на участке самшитника в тисо-самшитовой роще Кавказского биосферного заповедника было выявлено 26 видов диплопод, относящихся к десяти семействам и пяти отрядам (табл. 2). В 2006 г., до наступления изменений, вызванных инвазией самшитовой огневки, было зафиксировано 23 вида, динамическая плотность достигала 102.52 экз./100 ловушко-суток (рис. 1). После инвазии оба показателя существенно снизились — максимальное количество видов наблюдалось в 2016 и 2021 гг. (14 и 13 видов соответственно), максимальная динамическая плотность в 2021 г. (51.85 экз./100 ловушко-суток).

Семь видов диплопод отмечались только в 2006 г. и при последующих наблюдениях не были обнаружены (табл. 2):

*Typhloglomeris caucasica* Golovatch 1975 — троглофил, описан из нескольких пещер в окр. Сочи, в тисо-самшитовой роще впервые обнаружен в почве вне пещер (Головач, 1975; Golovatch, 1989a; Golovatch, Chumachenko, 2013; Чумаченко, 2016). Один экземпляр был отмечен летом 2006 г.

*Trachysphaera radiosa* Lignau 1911 — широко распространенный вид, отмечавшийся в тисо-самшитовой роще в окр. Хосты, Абхазии и Грузии (Головач, 1976; Таликадзе, 1984; Golovatch, 1989b; Чумаченко, 2016). Один экземпляр был отмечен летом 2006 г.

*Polydesmus abchasius* Attems 1898 — широко распространен на Западном и Северо-Западном Кавказе (Таликадзе, 1984; Golovatch et al., 2016, 2021; Golovatch, 2021). Один экземпляр был отмечен осенью 2006 г.

*Colchiobrachiulus dioscoriadis* (Lignau 1915) — ранее отмечался в Абхазии, Карачаево-Черкессии и тисо-самшитовой роще (Lohmander, 1936; Кобахидзе, 1965; Таликадзе, 1984; Чумаченко, 2016; Vagalinski, Golovatch, 2021). Один экземпляр был собран летом 2006 г.

*Pachyiulus krivolutskyi* Golovatch 1977 — западнокавказский вид, самый крупный вид диплопод на Кавказе (Lohmander, 1936; Кобахидзе, 1965; Головач, 1977; Таликадзе, 1984; Evsyukov, 2016; Golovatch et al., 2021; Evsyukov et al., 2022). По одному экземпляру отмечены весной и летом 2006 г.

*Caucaseuma variabile* Antić et Makarov 2016 — распространен в Северной Осетии, Ставропольском и Краснодарском Краях, Грузии (Antić, Makarov, 2016; Golovatch, Antipova, 2022; Evsyukov et al., 2022). Отмечался весной (3 экз.) и летом (1 экз.) 2006 г.

*Flagellophorella hoffmani* Antić, Makarov 2016 — известен только из тисо-самшитовой рощи (Antić, Makarov, 2016). Отмечены 4 экз. весной 2006 г.

Пять видов отмечались во время исследования ежегодно (табл. 2). Эти виды были доминантными или субдоминантными, но их динамическая плотность менялась как между сезонами, так и в разные годы наблюдений:

*Cylindroiulus pterophylacum* Read 1992 — широко распространенный на Кавказе вид, отмечен в Адыгее, Краснодарском и Ставропольском краях, Абхазии и Грузии (Read, 1992; Zuev, 2014, 2021; Чумаченко, 2016; Golovatch, 2021; Evsyukov et al., 2022). Субдоминант в весенний период 2006, 2015 и 2016 гг., а с 2017 г. встречался реже.

*Julus colchicus* Lohmander 1936 — широко распространенный субэндемик Кавказа, отмечался в Адыгее, Краснодарском и Ставропольском краях, Карачаево-Черкессии, Абхазии, Грузии и Турции (Lohmander, 1936; Кобахидзе, 1965; Головач, 1977; Таликадзе, 1984; Enghoff, 2006; Чумаченко,

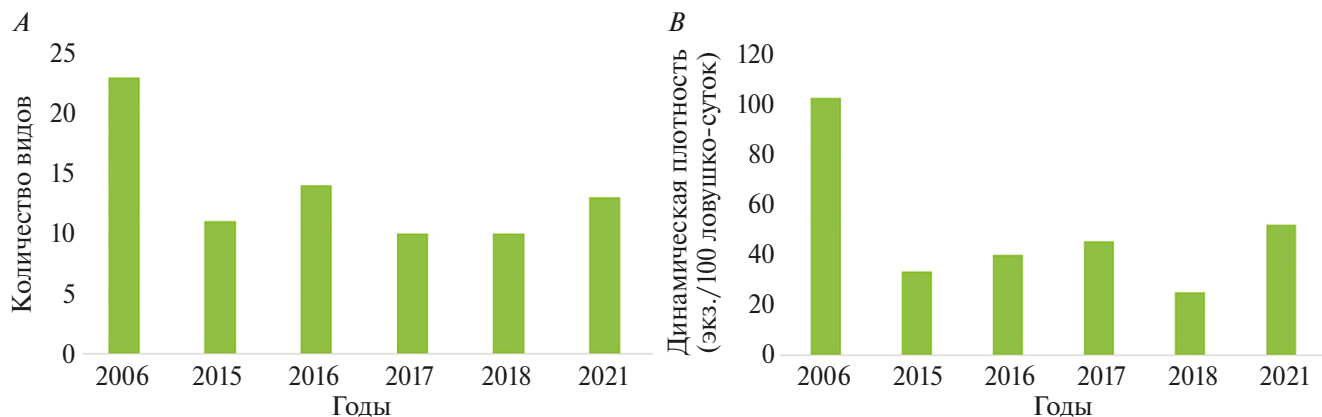


Рис. 1. Количество видов (А) и динамическая плотность (В) двупарноногих многоножек в разные годы.

Таблица 2. Видовой состав и динамическая плотность (экз./100 ловушко-суток) диплопод на участке самшитника тисо-самшитовой роще в 2006, 2015–2018 и 2021 гг.

№	Таксоны	2006			2015			2016			2017			2018			2021	
		Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето
Отряд Glomerida																		
Семейство Glomeridellidae																		
1	<i>Typhloglomeris caucasica</i> Golovatch 1975		0.37															
Семейство Glomeridae																		
2	<i>Hyleoglomeris awchasica</i> (Brandt 1840)													0.30				
3	<i>Trachysphaera costata</i> (Waga 1857)		0.66		0.57	0.50		1.46				1.09					0.76	0.34
4	<i>Trachysphaera radiosa</i> Lignau 1911		0.37															
Отряд Polyxenida																		
Семейство Lophoproctidae																		
5	<i>Lophoproctus coecus</i> Pocock 1895	0.33						0.76	0.29								0.76	2.76
Семейство Polyxenidae																		
6	<i>Propolyxenus argentifer</i> (Verhoeff 1921)				0.86													
Отряд Polydesmida																		
Семейство Polydesmidae																		
7	<i>Brachydesmus furcatus</i> Lohmander 1936	3.53															1.93	2.12
8	<i>Brachydesmus kalischewskyi</i> Lignau 1914	10.73	4.88	2.62				0.28										
9	<i>Brachydesmus</i> sp.	0.31									1.82	1.05		0.91	1.52			
10	<i>Polydesmus abchasius</i> Attems 1898			0.33														
11	<i>Polydesmus lignai</i> Lohmander 1936													0.24				
Семейство Paradoxosomatidae																		
12	<i>Strongylosoma kordylamythrum</i> Attems 1898	0.31			0.57			0.83		0.31		3.01		1.32	0.83			0.34
Отряд Julida																		
Семейство Julidae																		
13	<i>Colchiobrachyiulus dioscoriadis</i> (Lignau 1915)		0.29															
14	<i>Cylindroiulus placidus</i> (Lignau 1903)	1.31			2.96	0.21				0.31		0.91						1.52

Таблица 2. Окончание

№	Таксоны	2006			2015			2016			2017			2018			2021	
		Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето
Семейство Julidae																		
15	<i>Cylindroiulus pterophylacum</i> Read 1992	9.40	1.91		4.40	0.50	0.45	6.82	0.83	0.31			0.26	2.20			2.47	
16	<i>Cylindroiulus ruber</i> (Lignau 1903)							0.35			1.85							
17	<i>Julus colchicus</i> Lohmander 1936	13.96	2.92	1.48	5.70	0.78		2.71	0.59	1.32	1.09	2.73		5.04	1.14		11.62	4.22
18	<i>Kubaniulus lativelatus</i> Evsyukov, Golovatch, Reip et VandenSpiegel 2020	1.32	1.11	0.33	2.01			1.05	0.21	0.69	2.17	0.91		4.76			5.56	2.56
19	<i>Omobrachiulus curvicaudatus</i> (Lohmander 1936)	0.33		0.48	0.57													
20	<i>Omobrachiulus implicitus</i> (Lohmander 1936)	26.58	2.34	0.95	6.98	2.82	1.72	14.02	1.94	3.13	20.33		2.68	1.43		2.27		
21	<i>Omobrachiulus</i> sp.		0.86	0.81	0.66		0.81	0.35				4.34	1.05	0.61	2.95	1.15		7.77
22	<i>Pachyiulus krivoluskyi</i> Golovatch 1977	0.33	0.29															
Семейство Nemasomatidae																		
23	<i>Nemasoma caucasicum</i> (Lohmander 1932)	0.65				0.21		0.70									1.52	0.58
Семейство Blaniulidae																		
24	<i>Nopoiulus kochii</i> (Gervais 1847)							0.35									1.52	
Отряд Chordeumatida																		
Семейство Anthroleucosomatidae																		
25	<i>Caucaseuma variabile</i> Antić, Makarov 2016	0.98	0.29															
26	<i>Flagellophorella hoffmani</i> Antić, Makarov 2016	1.32																
27	<i>Metamastigophorophyllon giljarovi</i> (Lang 1959)	3.21	0.29	0.48										0.54				1.23
28	<i>Paranotosoma subrotundatum</i> Antić et Makarov 2016			3.86						0.31								



2016; Korobushkin et al., 2016; Evsyukov et al., 2018; Zuev, 2021). В течение большей части наблюдений являлся субдоминантом, кроме лета 2016 г. и осени 2015, 2017 и 2018 гг. Весной 2021 г. доминировал.

*Kubaniulus lativelatus* Evsyukov, Golovatch, Reip et VandenSpiegel 2020 — эндемик Колхидской провинции, отмечен в Краснодарском крае, Карачаево-Черкессии, Абхазии и Грузии (Evsyukov et al., 2020, 2022). До 2017 г. динамическая плотность была сравнительно невысокой и колебалась от 0.21 до 2.17 экз./100 ловушко-суток. Весной 2018 и 2021 гг. субдоминирующий вид.

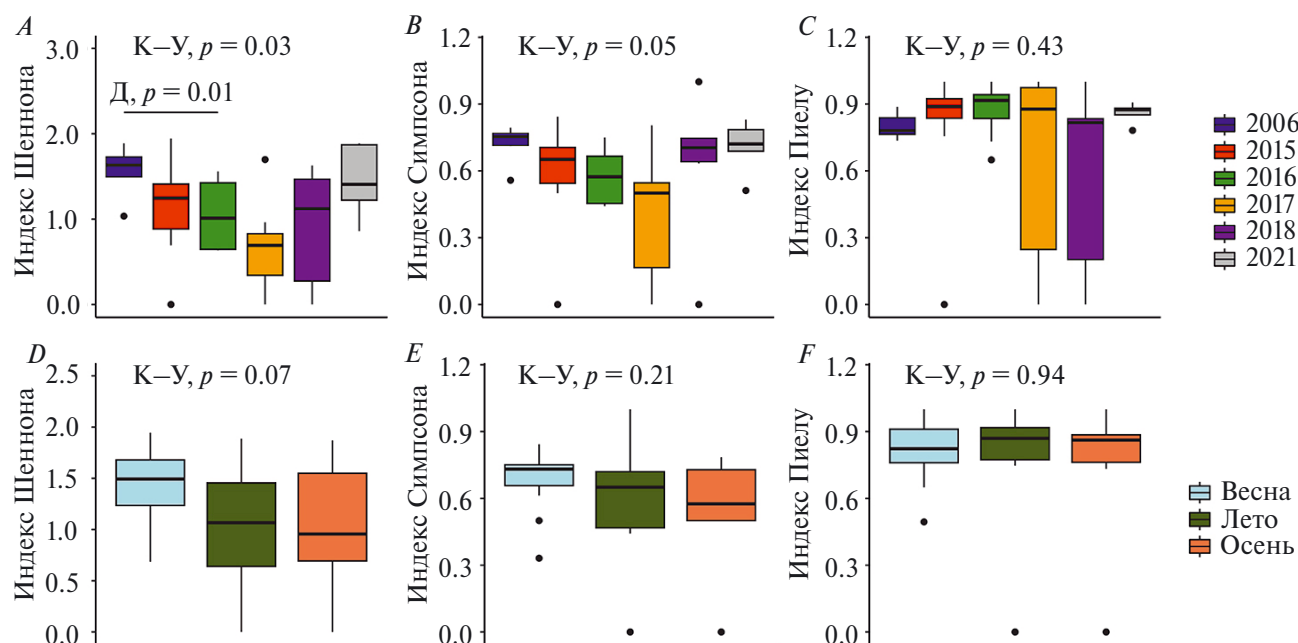
*Omobrachiulus implicitus* (Lohmander 1936) — эндемик западного Кавказа, регистрировался в Краснодарском крае, Адыгее и Абхазии (Lohmander, 1936; Кобахидзе, 1965; Vagalinski, Golovatch, 2021; Evsyukov et al., 2022). До 2017 г. был доминантом или субдоминантом, кроме лета 2017 г. Весной 2018 и 2021 гг. численность значительно снизилась.

*Omobrachiulus* sp. — отмечены только самки, поэтому определение точной видовой принадлежности невозможно. Возможно, представлен несколькими видами. Доминировал летом 2017, 2018 и 2021 гг.

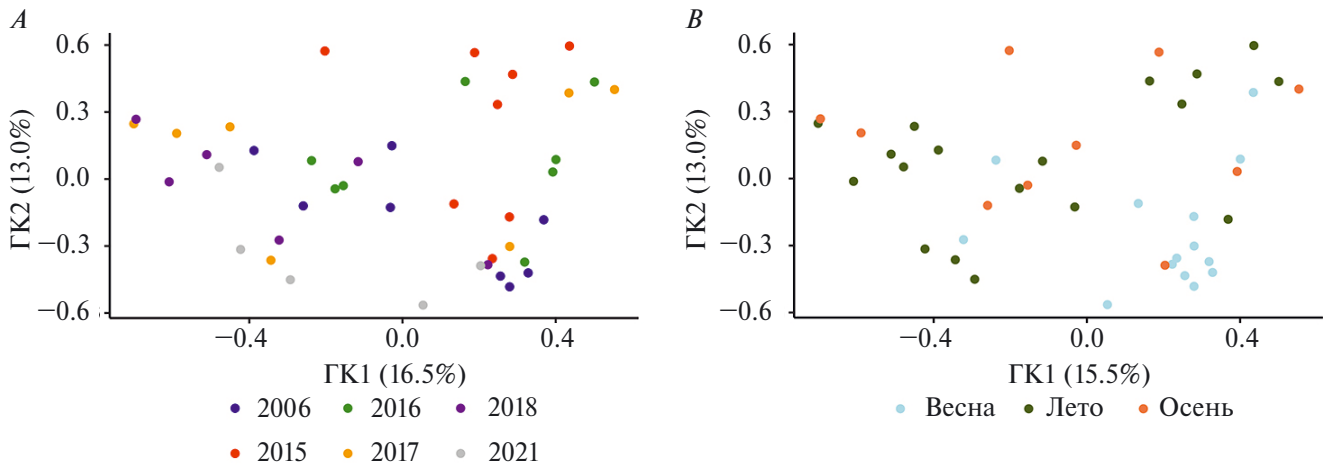
### Альфа- и бета-разнообразие

Статистически значимое ( $p = 0.01$ ) снижение альфа-разнообразия по индексу Шеннона обнаружено между 2006 и 2016 годами (рис. 2). При сравнении индексов видового богатства и видового разнообразия (рис. 2А, 2В) наиболее низкие показатели характерны для 2016 и 2017 гг., когда в сборах доминировал *Omobrachiulus implicitus*. В последующие годы наблюдений численность этого вида резко снизилась. Однако стоит отметить, что статистически значимых результатов при сравнении показателей индекса Симпсона не выявлено ( $p > 0.05$ ). Также отсутствуют статистически значимые различия при сравнении показателя индекса выравненности экологических сообществ Пиелу ( $p > 0.05$ ) и при анализе показателей альфа-разнообразия по временам года ( $p > 0.05$ ).

При оценке бета-разнообразия статистически значимые различия наблюдаются в показателях обилия диплопод до инвазии (в 2006 г.), в сравнении со всеми остальными годами наблюдений ( $p < 0.05$ ). Также статистически значимые различия в показателях бета-разнообразия присутствуют при сравнении 2018 и 2021 годов с 2015 ( $p < 0.05$ ) и с 2016 ( $p < 0.05$ ). Кроме того, обнаружены статистически значимые различия бета-разнообразия диплопод между сезонами: весенний сезон отличается от летнего ( $p = 0.0015$ ).



**Рис. 2.** Показатели альфа-разнообразия диплопод. А и D — показатели индекса разнообразия Шеннона, В и Е — индекса разнообразия Симпсона, С и F — индекса выравненности экологических сообществ. Для сравнения индексов альфа-разнообразия между годами (А, В, С) и временами года (D, Е, F) был использован критерий Краскела—Уоллиса (К—У) с последующим попарным сравнением с применением критерия Даннета (Д). Статистически значимые различия ( $p < 0.5$ ) по результатам попарного сравнения отображены линиями между сравниваемыми группами. Поправка на множественную проверку гипотез выполнена с использованием критерия Беньямини—Хохберга.



**Рис. 3.** Показатели бета-разнообразия изучаемых сообществ диплопод по индексу несходства Брея–Кертиса: *A* – в разные годы, *B* – в разные сезоны года. Результаты статистического анализа показателей бета-разнообразия отображены в Табл. 3.

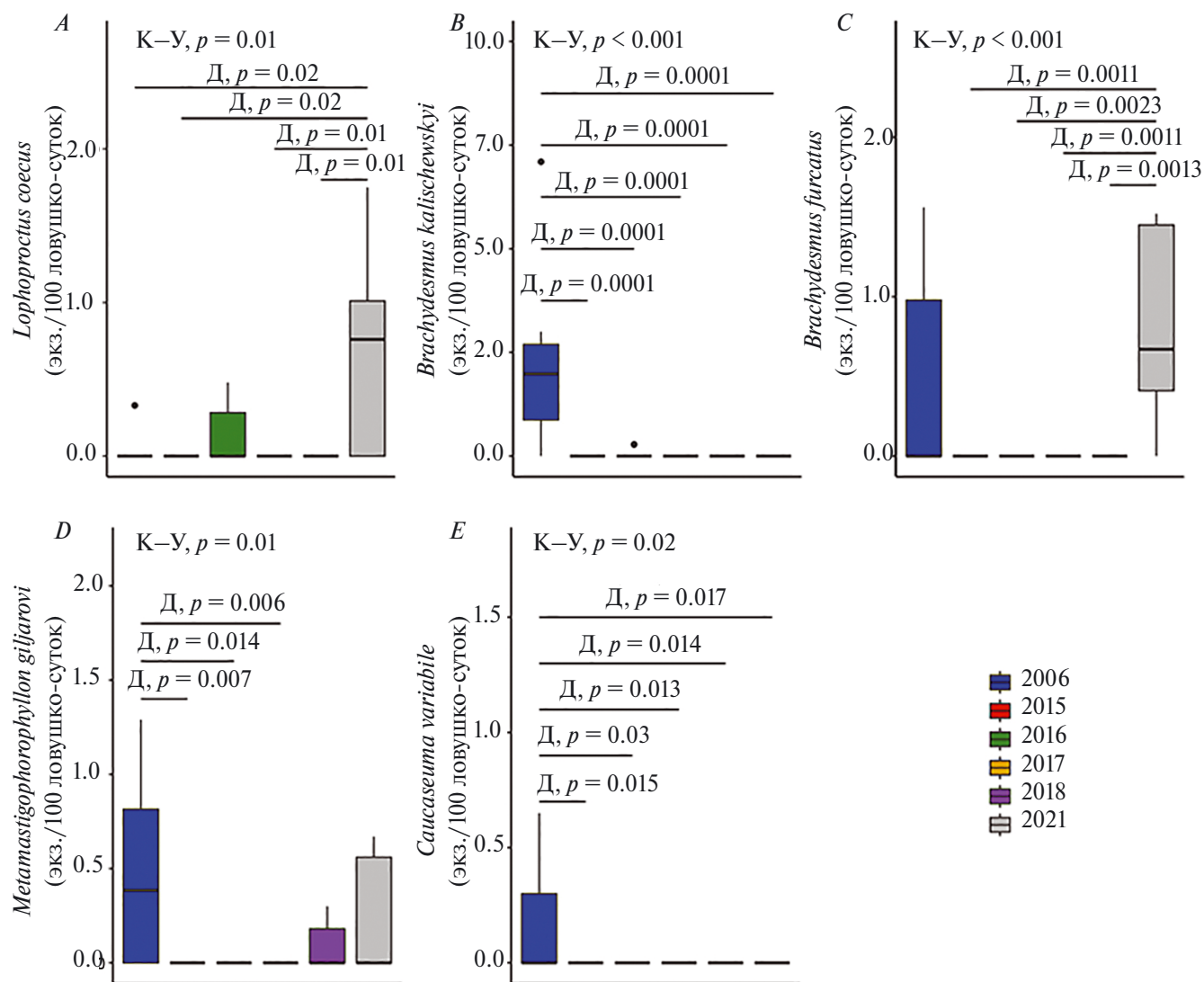
**Таблица 3.** Результаты попарного пермутационного многомерного дисперсионного анализа на основе данных бета-разнообразия по индексу несходства Брея–Кертиса

Сравнение	Сумма квадратов	F	R <sup>2</sup>	<i>p</i> -значение	Скорректированное <i>p</i> -значение
2006 vs 2015	0.9535	3.9416	0.21969	0.001	<b>0.0075</b>
2006 vs 2016	0.7209	2.5303	0.15307	0.018	<b>0.0356</b>
2006 vs 2017	0.7697	2.3636	0.15384	0.022	<b>0.0366</b>
2006 vs 2018	0.8626	2.91	0.19517	0.01	<b>0.025</b>
2006 vs 2021	0.7195	2.8257	0.20438	0.019	<b>0.0356</b>
2015 vs 2016	0.3517	1.3465	0.08774	0.247	0.2646
2015 vs 2017	0.6155	2.051	0.13627	0.06	0.0837
2015 vs 2018	0.8933	3.324	0.21692	0.006	<b>0.0225</b>
2015 vs 2021	1.0966	4.8869	0.30761	0.001	<b>0.0075</b>
2016 vs 2017	0.6609	1.9078	0.12797	0.061	0.0831
2016 vs 2018	0.7837	2.4574	0.16998	0.009	<b>0.025</b>
2016 vs 2021	0.9296	3.3299	0.23237	0.003	<b>0.015</b>
2017 vs 2018	0.2969	0.8023	0.06798	0.582	0.582
2017 vs 2021	0.6685	2.0166	0.16782	0.06	0.0831
2018 vs 2021	0.48454	1.6526	0.15514	0.114	0.1315
Весна vs лето	1.1416	3.6237	0.10777	0.001	<b>0.0015</b>
Весна vs осень	0.9167	3.2386	0.12832	0.001	<b>0.0015</b>
Лето vs осень	0.2262	0.6186	0.02324	0.814	0.8140

Примечания. Статистически значимые результаты (скорректированное  $p < 0.05$ ) выделены жирным шрифтом. Число степеней свободы для каждого сравнения равно 1.

и осеннего ( $p = 0.0015$ ). Результаты пермутационного многомерного дисперсионного анализа индексов бета-разнообразия по годам и по временам года отображены в табл. 3 и представлены на рис. 3.

Статистически значимые корреляции между показателями разнообразия, численностью диплопод и изменениями в растительном покрове не обнаружены ( $p > 0.05$ ).



**Рис. 4.** Результаты анализа изобилия диплопод на ранге вида. А–Е – статистически значимые изменения обилия видов диплопод между анализируемыми годами. Для сравнения показателей использован критерий Краскела–Уоллиса (К–У) с последующим попарным сравнением с применением критерия Даннета (Д). Статистически значимые различия ( $p < 0.5$ ) по результатам попарного сравнения отображены линиями между сравниваемыми группами. Поправка на множественную проверку гипотез выполнена с использованием критерия Беньямини–Хохберга.

#### Анализ обилия диплопод

Сравнение показателей обилия диплопод на видовом уровне показало статистически значимое изменение обилия между анализируемыми годами для пяти видов диплопод, а для четырех видов – между сезонами (рис. 4, 5). В 2021 г. были многочисленны *Lophoproctus coecus* (рис. 4А) и *Brachydesmus furcatus* (рис. 4С), тогда как в 2016 г. наблюдалось повышенное обилие *Brachydesmus kalischewskyi* (рис. 4В), *Metamastigophorophyllon giljarovi* (рис. 4Д) и *Caucaseuma variabile* (рис. 4Е). *Julus colchicus* (рис. 5А), *Cylindroiulus pterophyllacum* (рис. 5В) и *Omobrachiulus implicatus*

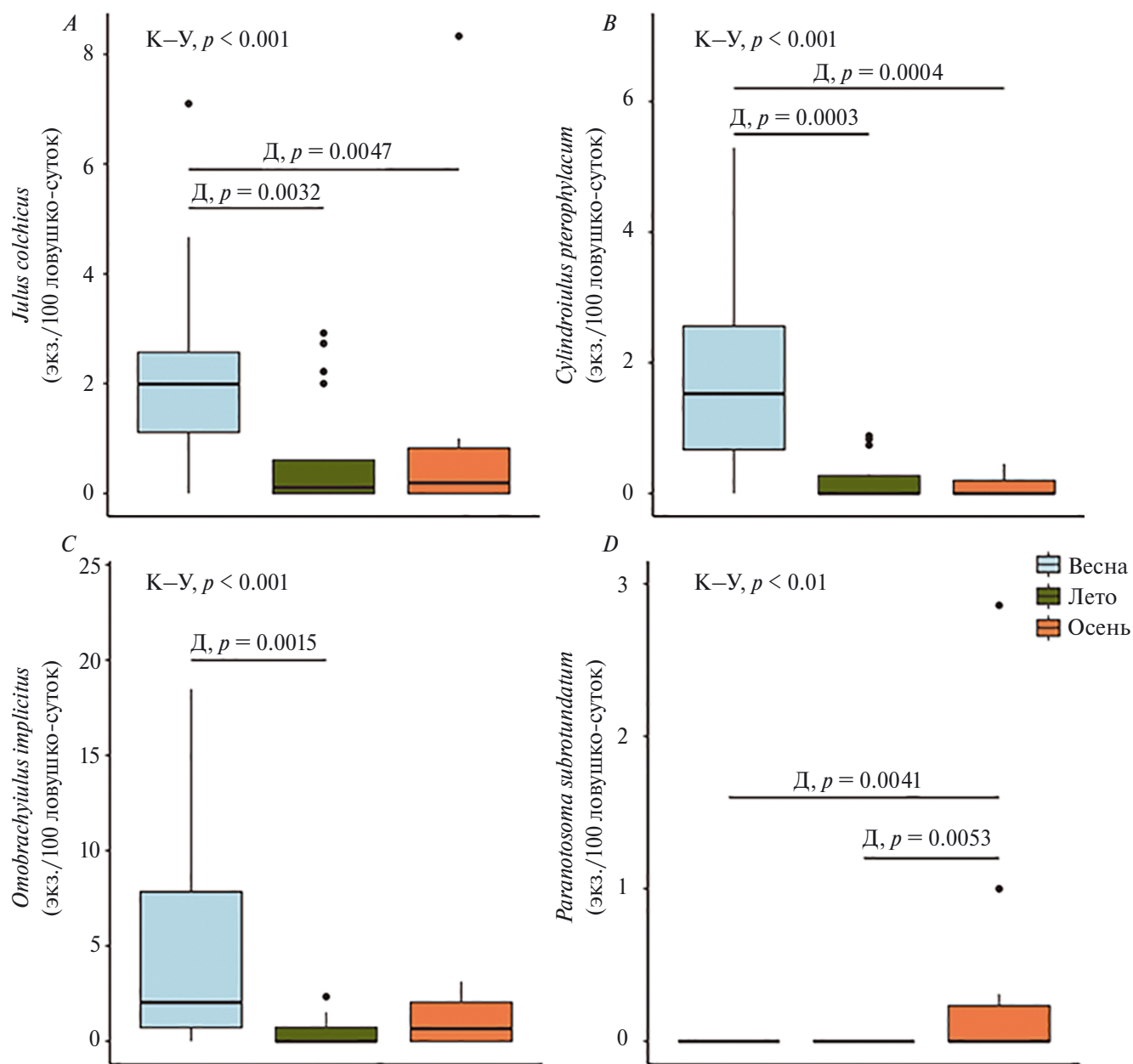
(рис. 5С) были более обильны в весенний сезон, а численность *Paranotosoma subrotundatum* возрасла осенью (рис. 5Д).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тисо-самшитовая роща является уникальной экосистемой, в которой обитает как минимум два узколокальных вида двупарноногих многоножек, до настоящего момента не найденных нигде более.

Изменение растительности и, вторично, гидротермического режима в результате инвазии





**Рис. 5.** Результаты анализа изобилия диплопод на ранге вида. A–D – статистически значимые изменения обилия видов диплопод между анализируемыми временами года. Для сравнения показателей использован критерий Крускала–Уоллиса (K–Y) с последующим попарным сравнением с применением критерия Даннета (Д). Статистически значимые различия ( $p < 0.5$ ) по результатам попарного сравнения отображены линиями между сравниваемыми группами. Поправка на множественную проверку гипотез

самшитовой огневки привело к исчезновению на модельном участке семи видов диплопод, пять из которых были редки (найжены в единичных экземплярах). Отсутствие этих редких видов в сборах за последующие годы может быть следствием низкой плотности популяций и не обязательно связано с изменениями в экосистеме. Кроме того, эти виды имеют широкие ареалы и не приурочены к тисо-самшитовой роще. Другие два вида, *Caucaseuma*

*variabile* и *Flagellophorella hoffmani*, хотя и были малочисленны с начала исследования, но не единичны и не отмечались на участке после 2006 г.

Помимо обеднения видового состава, в сообществе диплопод произошла смена доминантных и субдоминантных видов. До 2017 г. чаще всего доминировал *Omobrachiulus implicitus*, а к 2021 г. его численность резко снизилась, при этом

увеличилась численность иных представителей рода, известных только по самкам и потому точнее не определенных. Численность *Julus colchicus*, до инвазии входившего в число субдоминантов, увеличилась в последующие годы, и весной 2017 и 2021 гг. он был доминирующим видом. Также возросла численность *Kubaniulus lativelatus*, который до инвазии был редким или единичным, а осенью 2016, весной 2018 и 2021 гг. стал субдоминирующим по численности.

Статистический анализ выявил снижение альфа-разнообразия диплопод в самшитнике после инвазии, что нельзя считать дефинитивным явлением, поскольку статистически значимые различия выявлены только для индекса Шеннона. Также обнаружены статистически значимые показатели снижения бета-разнообразия. Анализ обилия показал значимое снижение численности *Brachydesmus kalischewskyi* и *Caucaseuma variable* и повышение обилия *Brachydesmus furcatus*. Не удалось доказать корреляцию между разнообразием, численностью диплопод и изменениями в растительном покрове. Следовательно, статистическая гипотеза об изменении фауны диплопод самшитника тисо-самшитовой рощи ограниченно подтверждена на уровне альфа и бета-разнообразия, а также выявлены изменения в обилии отдельных видов.

Таким образом, инвазия самшитовой огневки сопровождалась депрессией численности и сокращением разнообразия двупарноногих многоножек. В последующие годы население диплопод постепенно восстанавливалось, но этот процесс сопровождался сменой доминантных и субдоминантных видов. Необходимо дальнейшее изучение хода восстановления сообщества диплопод, поскольку на исследуемой территории происходит постепенное возобновление самшита колхидского.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят старшего научного сотрудника Кавказского биосферного заповедника, Резчикову О.Н. за предоставленные данные по растительности и геоботанической характеристике исследованной площадки. Также авторы выражают признательность редакционной коллегии журнала и анонимному рецензенту, чьи замечания и комментарии позволили значительно улучшить нашу статью.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Донского государственного технического университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных, соответствующих критериям Директивы 2010/63/EU.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гниненко Ю.И., Ширяева Н.В., Щуров В.И., 2014. Самшитовая огневка — новый инвазивный организм в лесах российского Кавказа // Карантин растений. Т. 1. № 7. С. 32–36.
- Головач С.И., 1975. Два новых для фауны СССР рода Oniscomorpha (Diplopoda), найденных в Закавказье, и их зоогеографические связи // Зоологический журнал. Т. 54. № 10. С. 1566–1571.
- Головач С.И., 1976. Новые и малоизвестные виды Glomeridae (Diplopoda, Oniscomorpha) // Зоологический журнал. Т. 55. № 6. С. 931–935.
- Головач С.И., 1977. Новые и малоизвестные кивсяки Julida (Diplopoda) Сатлийского заповедника (Грузинская ССР) // Бюллетень московского общества испытателей природы, отделение Биологии. Т. 82. № 4. С. 46–51.
- Кобахидзе Д.Н., 1965. Список диплопод (Diplopoda) Грузинской ССР // Fragmenta Faunistica. V. 11. № 21. Р. 390–398.
- Пономарев А.В., Чумаченко Ю.А., 2019. Изменения в фауне пауков (Aranei) тисо-самшитовой рощи Кавказского заповедника в связи с гибелью самшита // Наука Юга России. Т. 15. № 1. С. 71–77.
- Резчикова О.Н., Акатова Ю.С., Грабенко Е.А., Чумаченко Ю.А., Бибин А.Р., Локтионова О.А., 2022. Реакция лесных биоценозов на исчезновение самшита в связи с инвазией самшитовой огневки // Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника. Вып. 24. Под ред. Трепета С.А. Майкоп: Качество. С. 169–194.
- Снеговая Н.Ю., Чумаченко Ю.А., 2018. Сенокосцы (Arachnida, Opiliones) тисо-самшитовой рощи в современных изменившихся условиях // Экологический Вестник Северного Кавказа. Т. 14. № 1. С. 62–65.
- Таликадзе Д.А., 1984. О фауне двупарноногих многоножек (Diplopoda) Колхидской провинции Кавказа // Зоологический журнал. Т. 63. № 1. С. 142–145.
- Чумаченко Ю.А., 2016. Население двупарноногих многоножек (Diplopoda) в тисо-самшитовой роще Кавказского заповедника (Россия) // Зоологический журнал. Т. 95. № 4. С. 406–416.
- Antić D.Ž., Makarov S.E., 2016. The Caucasus as a major hotspot of biodiversity: Evidence from the millipede

- family Anthroleucosomatidae (Diplopoda, Chordeumatida) // *Zootaxa*. V. 4211. № 1. P. 1–205.
- Bray J.R., Curtis J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin // *Ecological Monographs*. V. 27. № 4. P. 325–349.
- Enghoff H., 2006. The millipedes of Turkey (Diplopoda) // *Steenstrupia*. V. 29. № 2. P. 175–198.
- Evsyukov A., Golovatch S., Reip H.S., 2018. The millipede genus *Julus* Linnaeus, 1758 in the Caucasus (Diplopoda: Julida: Julidae) // *Zootaxa*. V. 4461. № 1. P. 89–117.
- Evsyukov A., Golovatch S., Reip H.S., 2020. The millipede tribe Leptoiulini in the Caucasus, with notes on its generic classification (Diplopoda: Julida: Julidae) // *Zootaxa*. V. 4778. № 2. P. 237–280.
- Evsyukov A.P., Golovatch S.I., Vagalinski B., Chumachenko Y.A., Turbanov I.S., Zabiya I.Y., 2022. New records of millipedes (Diplopoda) from the Caucasus region // *Arthropoda Selecta*. V. 31. № 2. P. 157–165.
- Evsyukov A.P., 2016. The millipede *Pachyiulus krivolutskyi* Golovatch, 1977, the easternmost species of the eastern Mediterranean genus *Pachyiulus* Berlese, 1883, endemic to the western Caucasus (Diplopoda: Julida: Julidae) // *Russian Entomological Journal*. V. 25. № 4. P. 299–306.
- Golovatch S., Chumachenko Y., 2013. The millipede *Typhloglomeris caucasica* Golovatch, 1975 found epigeically (Diplopoda, Glomerida, Glomeridellidae) // *Biodiversity Data Journal*. V. 1. e981.
- Golovatch S., Evsyukov A., Reip H., 2016. The millipede family Polydesmidae in the Caucasus (Diplopoda: Polydesmida) // *Zootaxa*. V. 4085. № 1. P. 1–51.
- Golovatch S.I., Turbanov I.S., Kapralov S.A., Somchenko P.V., Turbanova A.A., 2021. New records of millipedes (Diplopoda) from caves in Crimea and the Caucasus // *Invertebrate Zoology*. V. 18. № 2. P. 85–94.
- Golovatch S.I., 1989a. Diplopoda of the Caucasus, 1. Glomeridellidae, with contributions to the fauna of Turkey // *Senckenbergiana biologica*. V. 69. P. 405–419.
- Golovatch S.I., 1989b. Diplopoda of the Caucasus, 3. Trachysphaeridae, with contributions to the fauna of Turkey // *Senckenbergiana biologica*. V. 70. P. 331–358.
- Golovatch S.I., 2021. New records of millipedes (Diplopoda) from European Russia and Abkhazia, Caucasus // *Invertebrate Zoology*. V. 18. № 2. P. 80–84.
- Golovatch S.I., Antipova M.D., 2022. The millipedes (Diplopoda) of the Republic of North Ossetia – Alania, northern Caucasus, Russia, with special reference to the fauna of the North Ossetian Nature Reserve // *Arthropoda Selecta*. V. 31. № 2. P. 133–142.
- Korobushkin D.I., Semenyuk I.I., Tuf I.H., 2016. An annotated checklist of the Chilopoda and Diplopoda (Myriapoda) of the Abrau Peninsula, northwestern Caucasus, Russia // *Biodiversity Data Journal*. V. 4. e7308.
- Lohmander H., 1936. Über die Diplopoden des Kaukasusgebietes // *Göteborgs Kungliga Vetenskaps- och Vitterhets-Samhälles Handlingar*. Ser. 5B. Bd. 5. H. 1. S. 1–196.
- Oksanen J., Simpson G., Blanchet F., Kindt R., Legendre P., Minchin P., O'Hara R., Solymos P., Stevens M., Szoezs E., Wagner H., Barbour M., Bedward M., Bolker B., Borcard D., Carvalho G., Chirico M., De Caceres M., Durand S., Evangelista H., FitzJohn R., Friendly M., Furneaux B., Hannigan G., Hill M., Lahiti L., McGlinn D., Ouellette M., Ribeiro Cunha E., Smith T., Stier A., Ter Braak C., Weedon J., 2022. *vegan*: Community Ecology Package. R package version 2.6–4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. Дата обновления: 10.02.2024.
- Pielou E., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections // *Journal of Theoretical Biology*. V. 13. P. 131–144.
- Read H.J., 1992. The genus *Cylindroiulus* Verhoeff, 1894 in the faunas of the Caucasus, Turkey and Iran (Myriapoda: Diplopoda: Julidae) // *Senckenbergiana Biologica*. V. 72. № 4/6. P. 373–433.
- Shannon C.E., Weaver W., 1949. The mathematical theory of communication. USA, Champaign, Illinois: University of Illinois Press. 125 p.
- Simpson E.H., 1949. Measurement of diversity // *Nature*. V. 163. P. 688.
- Vagalinski B., Golovatch S.I., 2021. The millipede tribe Brachyiulini in the Caucasus (Diplopoda, Julida, Julidae) // *ZooKeys*. V. 1058. P. 1–127.
- Wickham H., 2016. *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. USA, New York: Springer. 213 p.
- Zuev R.V., 2014. Preliminary data on the millipedes (Diplopoda) from the Stavropol Territory, northern Caucasus, Russia // *Arthropoda Selecta*. V. 23. № 4. P. 347–354.
- Zuev R.V., 2021. An annotated checklist of the millipedes (Myriapoda: Diplopoda) from the Stavropol Territory, northern Caucasus, Russia // *Entomology and Applied Science Letters*. V. 8. № 2. P. 62–70.

**ASSESSING THE IMPACT OF A BOXWOOD MOTH  
(*CYDALIMA PERSPECTALIS*, LEPIDOPTERA, CRAMBIDAE)  
INVASION ON THE FAUNA OF MILLIPEDES (DIPLOPODA)  
OF THE CAUCASIAN BIOSPHERE NATURE RESERVE**

**A. P. Evsyukov<sup>1, \*</sup>, Y. A. Chumachenko<sup>2,3, \*\*</sup>, I. V. Popov<sup>1, \*\*\*</sup>**

<sup>1</sup> *Don State Technical University, Rostov-on-Don, 344003 Russia*

<sup>2</sup> *Shaposhnikov Caucasian State Nature Biosphere Reserve, Maikop, 385000 Russia*

<sup>3</sup> *Maikop State Technological University, Maikop, 385000 Russia*

*\*e-mail: aevsukov@mail.ru*

*\*\*e-mail: ychumachenko73@mail.ru*

*\*\*\*e-mail: ipopov@donstu.ru*

Changes in the species composition and numbers of diplopods in the boxwood area of a yew-boxwood grove resulting from an invasion of the boxwood moth were studied. Data before and several years after the invasion were compared. The disappearance or reduced numbers of some species, as well as changes in the dominant and subdominant structures were revealed in the study area. Statistical analyses showed both a significant decrease in alpha diversity and changes in beta diversity.

*Keywords:* millipedes, invasion, boxwood moth, diversity, dynamic density, statistical analysis