

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СООБЩЕСТВ КОЛЛЕМБОЛ В ПРЕДГОРНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СОЧИНСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

В.Г. Щербина

Филиал Института природно-технических систем,
РФ, г. Сочи, Курортный проспект, 99/18
E-mail: v.g.scherbina@bk.ru

Проводится качественная и количественная оценка сообществ коллембол в шести основных лесных экосистемах предгорной зоны Сочинского Причерноморья. Исследования проводились на 13 участках, расположенных в пригородном лесном массиве, при отсутствии влияния рекреации и выраженного техногенного загрязнения воздушной среды. Определен видовой состав, величина доминирования и средняя численность коллембол за семь полевых сезонов. Установлены отличия в структуре сообществ коллембол и их выравненность в зависимости от типа лесной экосистемы. По степени выравненности оценивается состояние лесных экосистем.

Ключевые слова: лесные экосистемы, коллемболы, разнообразие, численность, сообщества, структура, выравненность.

Поступила в редакцию: 20.09.2020.

Введение. Многочисленными исследованиями отмечены высокие индикационные свойства популяций и сообществ коллембол при оценке состояния почв, степени трансформации природных факторов и функционирования различных экосистем. Составляя среди микроартропод порядка 20% [1, с. 379], встречаясь почти во всех типах почв, они активно участвуют в почвообразовательных процессах, деструкции органического вещества, регулируя качественные и количественные характеристики микробных сообществ почв [2, 3, 4]. Биоиндикационная ценность коллембол заключается в реагировании на изменения абиотических параметров локальных местообитаний характером локализации обильных, многовидовых, структурированных и устойчивых сообществ в наиболее благоприятных биотопах различных экосистем [5].

Несмотря на многогранность проведенных исследований, ввиду определенной технической сложности объективной оценки [3], в зоне влажных субтропиков индикационные характеристики коллембол для понимания динамического состояния лесных экосистем остаются слабо проработанными.

Цель исследования заключалась в качественной и количественной оценке

сообществ коллембол, влияющих на состояние стабильности преобладающих лесных экосистем в зоне влажных субтропиков Сочинского Причерноморья, при стационарности эдафических условий.

Материалы и методы. Исследования проводились в предгорной зоне Сочинского Причерноморья в 6 типах лесных экосистем с различными древесными эдификаторами (*Taxus baccata*, *Quercus sp.*, *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis*, *Castanea sativa*, *Buxus colchica*) на 13 стационарных участках (рис. 1, табл. 1), имеющих юго-западную экспозицию в бассейнах рек: Шепси, Шахе, Киет, Уч-Дере, Псахе, Восточный и Западный Дагомыс, Сочи, Хоста, Большая Хоста, Мзымта. В зависимости от рельефа и наличия антропогенной нагрузки участки выбирались при удалении от селитебной (жилые постройки) или урбанизированной зоны (дороги за пределами населенного пункта) на расстоянии 350–1200 метров.

Отсутствие антропогенной нагрузки (рекреация, загрязнение от автотранспорта) определялось по средней плотности почвы [6] ($\leq 0,98 \text{ г/см}^3$) и индексу полеотолерантности эпифитных лишайников [7, 8].



Рис. 1. Карта-схема расположения участков исследования: 1-13 – номера участков (описание в табл. 1)

Fig. 1. Map-scheme of study sites: 1-13 – section numbers (description in table 1)

Комплексы коллембол (поверхностно-обитающие, подстилочные, полупочвенные) исследовались с временным шагом 3 года (2001, 2004, 2007, 2010, 2013, 2016, 2019 гг.) на постоянных и временных (трансекты) пробных площадях. В учетные годы на пробных площадях пробы почвы с подстилкой брались металлической рамкой 5×5×5 см (125 см³) в 5-кратной повторности на 3-х учетных площадках, соответствующие зонам фитогенного поля древесного эдификатора (у комля, в середине и на границе проекции кроны). Экстрагирование ногохвосток из проб осуществлялось в эклекторных воронках [3].

Таблица 1. Общая характеристика участков с проведенными исследованиями

№ участка	Водораздел реки	Ближайшие населенные пункты	Состав древостоя*	$N_{раз}$	α -разнообразие	
1	Шепси	село Шепси	8Кш 2Г + Чрш, Яс	17	3,2	
1	Шепси		9Кш 1Бк + Дск	16	3,0	
2	Шахе	село Большой Кичмай	5Дчш 2Ос 2Г 1Бк +Грш ед.Грбн	14	2,9	
2	Шахе		9Кш 1Бк + Г, Чрш	14	3,2	
2	Шахе		3Дпуш 3Г 2Бк 2Брк + Ос	6	1,3	
2	Шахе		8Кш 2Г + Дск	15	2,9	
2	Шахе		5Кш 3Бк 2Г + Ол	15	2,9	
2	Шахе					
3	Шахе	село Солохаул	7Дпуш 2Кш 1Г	9	1,1	
3	Шахе		10Кш + Бк	8	1,5	
3	Шахе		10Кш + Бк	11	2,3	
3	Шахе		9Кш 1Ол + Бк, Г	11	2,1	
3	Шахе		6Смш 3Г 1Грбн + Кл кр, Лп, Грш	13	2,6	
3	Шахе		10Бк + Ол, Г	24	4,5	
3	Шахе		4Г 3Дпуш 2Грбн 1Грш + Бк	17	2,9	
3	Шахе		4Дпуш 4Г 2Кш	13	2,4	
4	Киет		село Горное Лоо	9Бк 1Лп + Г, Ил, Кш, Кл яв	19	5,1
4	Киет			5Дск 4Кш 1Бк	18	4,3
5	Уч-Дере	село Нижнее Учдере	10Бк + Г, Лп, Ил, Кш, Тс, Кл пол	29	7,0	
5	Уч-Дере		7Г 2Дпуш 1Кл ос + Лп, Брк, Яс	24	4,5	
6	Псахе	село Васильевка – село Сергей Поле	9Дпуш 1 Бк + Кш, Г, Брк, Грш, Чрш	34	8,3	
6	Псахе		8Смш 2Г+Лп, Кл яв	18	4,2	
7	Вост. Дагомыс Зап. Дагомыс	село Барановка – село Волковка	7Смш 2Г 1Дпуш + Кл кр	26	5,1	
8	Вост. Дагомыс Зап. Дагомыс		10Дпуш + Кш, Г, Бк, Брк, Грш, Чрш	34	8,2	
9	Сочи	Васильевка – Пластунка	10Бк + Г, Лп	19	4,1	
10	Хоста	Хостинский Водоканал	7Бк 2Лп 1Г + Кш, Ил, Кл яв, Кл ос, Кл пол	19	5,1	
10	Хоста		10Бк + Г, Лп, Кш, Тс, Кл яв Кл	29	6,8	

			пол		
10	Хоста		6Дпуш 3Г 1Кл пол + Брк	13	5,0
10	Хоста		5Г 3Бк 1Ос 1Дпуш + Чрш, Кл пол	18	4,4
11	Хоста	Тисосамшитовая роща	8Бк 1Г 1Лп + Кш, Тс, Кл яв Кл кр	37	9,0
11	Хоста		8Бк 1Г + Лп, Кш	33	8,1
11	Хоста		6Тс 2Яс 1Г + Бк, Лп, Чрш	33	7,1
11	Хоста		6Тс 2Яс 1Г + Бк, Лп, Лврвш	33	5,7
11	Хоста		9Смш, 1Кл яв + Г, Лп, Дгр, Г	27	5,9
12	Большая Хоста	село Хлебороб – Белые Скалы	4Кш 3Бк 3Г + Ил	16	3,5
12	Большая Хоста		5Кш 3Г 1Бк 1Ол	20	4,4
12	Большая Хоста		9Бк 1Лп + Г, Ил	19	4,7
12	Большая Хоста		8Бк 1Лп + Ил, Кл яв, Кл ос	29	5,3
13	Мзымта	село Галицино – село Монастырь	7Бк 2Лп 1Г + Ил, Кл яв, Кл ос, Кл пол	29	5,5
13	Мзымта		4Г 3Бк 3Дпуш + Кш	22	5,6
13	Мзымта		4Г 3Бк 2Дпуш 1Кш	22	5,8

* Бк – *Fagus orientalis* Lipsky, Брк – *Sorbus torminalis* (L.) Crantz, Г – *Carpinus betulus* L., Грбн – *Carpinus orientalis* Mill., Грш – *Pyrus communis* L., Дгр – *Quercus Hartwissiana* Stev., Дск – *Quercus petraea* Liebl, Дпуш – *Quercus pubescens* Willd., Дчш – *Quercus robur* L., Ил – *Ulmus scabra* Huds., Кл кр – *Acer laetum* С.А. Mey. Кл ос – *Acer platanoides* L., Кл пол – *Acer campestre* L., Кл яв – *Acer pseudoplatanus* L., Кш – *Castanea sativa* Mill., Лврвш – *Laurocerasus officinalis* M. Roem. Лп – *Tilia caucasica* Rupr., Ол – *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., Ос – *Populus tremula* L., Смш – *Buxus colchica* Rojark, Тс – *Taxus baccata* L., Чрш – *Prunus avium* L., Яс – *Fraxinus excelsior* L.

Для исключения поправок на фенологическую динамику сбор материала проводился в июне–августе.

Число пробных площадей (необходимый объем выборок (N)) рассчитывалось при $p = 0,95$, по П. Ф. Рокицкому [9, с. 94]

$$N = \frac{t^2 \sigma^2}{\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)^2}, \quad (1)$$

где n – объем вариант в выборочной совокупности; t – нормированное отклонение ($t \geq 2$); σ – среднее квадратическое отклонение (по min и max значениям признака после рекогносцировочного обследования).

В каждой отдельной экосистеме за 7 полевых сезонов суммарное количество пробных площадей составило от 56 до 70.

Видовая принадлежность коллембол определялась по таксономическим ключам [10–15]. Жизненная форма определялась по системе С.К. Стебаевой [16]. Оценка общего разнообразия высших растений ($N_{раз}$) в местообитаниях кол-

лембол при биоценотической рекогносцировке ландшафта проводилась путем суммации в пределах биоценоза показателей травяно-кустарничкового яруса, подлеска и древостоя, с получением общего индекса α -разнообразия [17].

По фактическому материалу определялись: d – степень доминирования [18] по шкале: эудоминант ($\geq 40\%$), доминант (12,5–39,9%), субдоминант (4,0–12,4%), рецедент (1,3–3,9%), субрецедент ($< 1,3\%$); J' – индекс выравненности Пиелу (2) на основе показателя Шеннона-Винера (H) [18, 19]

$$J' = \frac{H}{H_{max}}; H = - \sum p_i \log_2 p_i; H_{max} = \log_2 S \quad (2)$$

где p_i – доля вида i ; S – число видов.

Генеральные совокупности (μ) рассчитывались в доверительном интервале (3), при доверительной вероятности 0,95 ($P = 0,05$), по нормированному отклонению (t), средней арифметической (\bar{x}) и средней ошибке ($S_{\bar{x}}$) [9]

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - t_{0,5} S_{\bar{x}} \leq \mu \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + t_{0,5} S_{\bar{x}}, \text{ где } t = \frac{\bar{x} - \mu}{S_{\bar{x}}}, S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

Полученные результаты. Анализируемые биотопы слабонарушенных лесных ландшафтов Сочинского Причерноморья насчитывают в группировках кол-

лембол от 20,3 до 36,8 видов (в среднем 24–34 вида на биотоп), при многолетней средней плотности 18,5–26,1 тыс. экз./м² (табл. 2).

Таблица 2. Разнообразие и среднее участие (%) орибатид в лесных экосистемах

Вид	Эдификатор древостоя					
	<i>Taxus baccata</i>	<i>Quercus sp.</i>	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Fagus orientalis</i>	<i>Castanea sativa</i>	<i>Buxus colchica</i>
<i>Anurophorus laricis</i>	0,27	1,77	0,19	1,57	–	1,32
<i>Anurophorus palearcticus</i>	2,81	0,49	0,11	1,57	0,18	–
<i>Arrhopalites principalis</i>	2,32	0,17	–	–	–	–
<i>Arrhopalites secundarius</i>	3,72	2,10	1,06	0,85	0,94	–
<i>Arrhopalites sp.</i>	3,88	0,16	0,15	–	–	–
<i>Desoria blekeni</i>	–	–	0,27	0,11	1,57	1,47
<i>Desoria hiemalis</i>	3,70	0,39	–	1,91	2,23	0,21
<i>Endonura reticulata</i>	–	1,35	0,48	0,56	–	–
<i>Entomobrya marginata</i>	–	0,58	–	0,20	–	1,74
<i>Entomobrya nivalis</i>	–	–	0,28	0,57	–	2,11
<i>Folsomia manolachei</i>	2,54	33,80	1,19	17,48	9,61	14,10
<i>Folsomia palaeartica</i>	–	–	0,12	1,36	0,46	1,40
<i>Folsomia quadrioculata</i>	–	–	–	–	0,13	–
<i>Folsomia volgensis</i>	1,96	2,91	2,58	16,05	5,43	12,30
<i>Folsomides portucalensis</i>	4,93	0,14	4,06	0,70	1,05	9,14
<i>Hypogastrura lapponica</i>	–	1,78	2,41	1,23	1,40	–
<i>Hypogastrura vernalis</i>	4,65	1,77	0,53	1,98	0,62	11,96
<i>Isotoma viridis</i>	3,71	0,35	0,09	0,59	–	0,19
<i>Isotoma viridis</i>	16,68	1,22	14,82	1,26	3,49	0,04
<i>Isotomiella minor</i>	3,44	–	1,94	–	0,27	–
<i>Isotomodes productus</i>	13,44	1,75	1,35	1,58	1,93	1,37
<i>Lepidocyrtus lignorum</i>	–	–	–	–	1,78	–
<i>Mesaphorura krausbaueri</i>	1,38	–	0,33	1,72	0,17	0,30
<i>Mesaphorura macrochaeta</i>	1,38	2,89	0,10	2,02	–	–
<i>Micranurida pygmaea</i>	2,01	–	0,48	1,24	–	0,49
<i>Micraphorura absoloni</i>	0,37	0,35	0,17	0,44	–	–
<i>Neanura muscorum</i>	–	–	0,12	1,44	–	0,21
<i>Orchesella flavescens</i>	–	–	–	0,19	2,09	1,30
<i>Parisotoma ekmani</i>	2,28	–	0,61	0,48	–	–
<i>Parisotoma notabilis</i>	13,41	2,33	52,16	16,71	49,88	10,72
<i>Protaphorura boedvarssoni</i>	1,13	0,47	–	0,72	–	0,34
<i>Pseudachorutes dubius</i>	0,19	0,18	–	0,07	–	1,45
<i>Pseudachorutes sp.</i>	0,13	2,19	–	0,26	–	0,80
<i>Pseudosinella alba</i>	4,28	5,34	0,11	17,20	8,57	12,39
<i>Sminthurinus alpinus</i>	1,49	0,10	12,81	4,35	2,09	11,30
<i>Sphaeridia pumilis</i>	–	2,33	0,14	–	1,38	–
<i>Supraphorura furcifera</i>	–	0,09	–	1,23	0,35	1,70
<i>Willemia anophthalma</i>	1,08	0,50	1,30	1,37	0,26	–
<i>Xenylla brevicauda</i>	0,81	1,01	–	0,03	–	–
<i>Xenyllodes armatus</i>	1,37	1,10	–	0,07	0,62	0,53
Другие виды (sp.), $d < 1,3\%$	0,68	30,40	0,07	0,88	3,50	1,10
Обилие (\bar{x}), тыс. экз./м ²	26,1	25,3	19,6	23,5	22,6	18,5
Разнообразие, видов	28	29	28	34	24	25

На диапазонах генеральной совокупности отмечается определенная близость по видовому составу, но значительное варьирование по относительному обилию конкретных видов, что отражается на доминантном составе и выравненности структуры. Оценка по индексу фаунистического сходства Жаккара показала высокие значения – 0,69–0,93 в случае перекрывающихся фитогенных полей и 0,57–0,65 – при наличии лесных полей.

Коллемболы, проявляющие в семи сезонах с 2001 по 2019 гг. стабильное доминирование от субдоминанта до эвридоминанта ($d \geq 4,0\%$) представлены исключительно эврибионтными видами.

Подстилочный вид *Hypogastrura vernalis* (Carl), предпочитающий открытые ландшафты [20, с. 7], проявляет доминирование в биотопах, контактирующих с парцеллами полей, ветровальных прогалин, а также в экосистемах *Taxus baccata* и *Buxus colchica*, особенно на участках с разреженным древостоем (сомкнутостью $\leq 0,8$).

Нижнеподстилочный доминантно-эвридоминантный вид *Parisotoma notabilis* (Schäffer) ($d = 11-52\%$) и подстильно-почвенный доминант *Folsomia manolachei* Wagnall ($d = 14-34\%$) характеризуются в группировках значительной долей участия, проявляя вместе с лесостепным подстильно-почвенным видом *Folsomia volgensis* Мартынова [20, с. 6] ($d = 16\%$) высокую среднеголетнюю плотность во многих анализируемых биотопах.

Стабильное доминирование отмечено у подстилочных форм в ветровальных окнах и при низкой сомкнутости древесного полога: в экосистемах с древесным эдификатором *Carpinus betulus* – верхнеподстилочный *Sminthurinus alpinus* Gisin ($d = 13\%$) и в экосистемах *Fagus orientalis* – подстильно-почвенный вид *Pseudosinella alba* (Packard) ($d = 17\%$).

В экосистемах с древесным эдификатором *Taxus baccata* получили массовое распространение ксерорезистентные коллемболы (на основной части своего ареала [13]), характерные для сухих открытых пространств: верхнеподстилочный *Isotoma viridis* Bourlet ($d = 17-25\%$), нижнеподстилочный *Folsomides portucalensis* Gama ($d = 5-9\%$), верхнепочвенный *Isotomodes productus* (Axelson) ($d = 17-25\%$). В европейской части своих

ареалов (Италия, Венгрия) они обитают в степных ксерофильных биотопах [21].

Оставшиеся 77,5% видов, предположительно, представляют группу региональных стенотопов, так как не только входят в состав группировок коллембол с ограниченной численностью ($d \leq 3,9\%$), но и не имеют регулярной встречаемости в лесных биотопах Сочинского Причерноморья.

Анализ структуры сообществ выявил неравномерность в соотношении групп коллембол по степени доминирования между различными лесными экосистемами (рис. 2), что характеризует в многолетней динамике величину стационарности условий в биотопах (динамика продуктивности, разнообразие и смена потенциальных ниш, сукцессии биотической среды, выраженность конкуренции и т.д.), а также границы устойчивости анализируемых сообществ [22]. Меньшее соотношение доминирующих и субдоминирующих групп в экосистемах с участием *Taxus baccata*, *Castanea sativa* и *Buxus colchica* указывает на нестабильность сообществ, связанное с флуктуацией условий, отражающееся на видовых адаптивных биологических ритмах [5]. Сообщества коллембол в экосистемах с *Quercus sp.*, *Carpinus betulus* и *Fagus orientalis* характеризуются значительной долей доминантов и эудоминантов, что указывает на монополизацию и, соответственно, на большую стабильность среды обитания.

Проведенная оценка выравненности сообществ по индексу выравненности (J') (2), обладающего значительной чувствительностью к высоким и низким рангам [23] и получившим широкую апробацию во многих исследованиях по разнообразным таксонам [24, 25, 26, 27], подтвердила и дополнила результаты по структурному варьированию сообществ коллембол.

Из общих закономерностей, представленных на рис. 3, выделяются три группы сообществ: с динамикой положительной зависимости J' с S ($R^2 = 0,33-0,41$; *Quercus sp.*, *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis*), с динамикой отрицательной связи ($R^2 = 0,26-0,45$; *Taxus baccata*, *Buxus colchica*, *Castanea sativa*) и с линейной обратной зависимостью, при $R^2 = 0,38$, но только в сообществах с *Buxus colchica*.

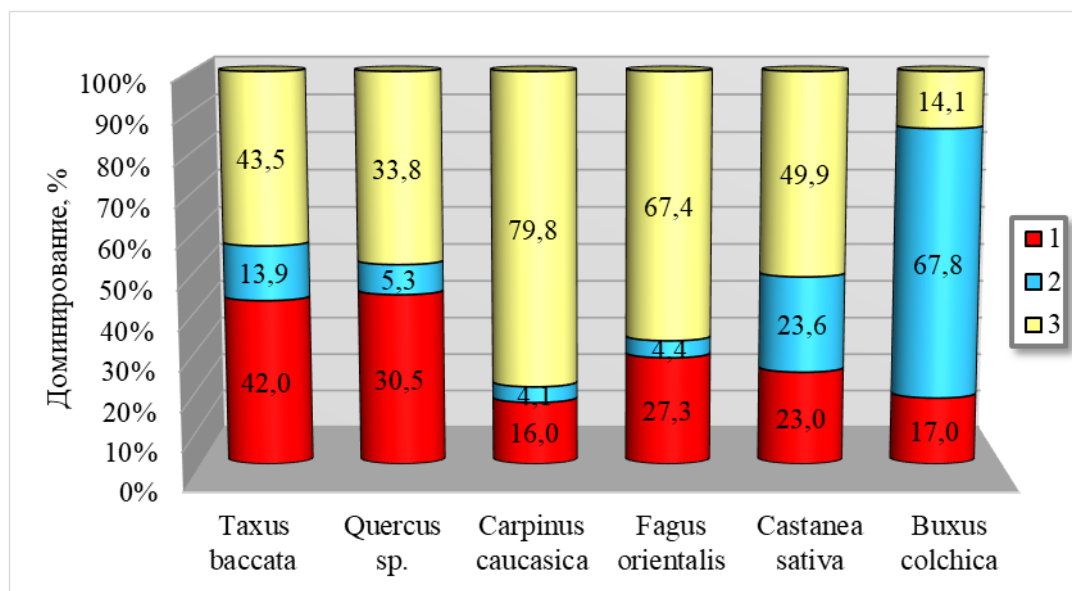


Рис. 2. Соотношение в различных экосистемах групп *Collembola* по степени доминирования (%): 1 – ≤ 3,9; 2 – 4,0-12,4; 3 – ≥ 12,5

Fig. 2. Dominance ratio in different ecosystems of *Collembola* groups (%): 1 - ≤ 3.9; 2 - 4.0-12.4; 3 - ≥ 12.5

Регистрируемая слабая связь ($R^2 = 0,33-0,45$) между S и J' в сообществах коллембол авторами часто объясняется интенсивностью биотических взаимодействий [24, 25, 28]. Сама возможность отсутствия, или наличие низкой связи, отмечается во многих систематических группах [29, 30]. Напротив, возможная значительная положительная зависимость может характеризовать низкую или отсутствующую межвидовую конкуренцию [31, 32, 33] по причине снижения качества среды с сопутствующей видовой элиминацией чувствительных видов и ростом доминирования отдельных устойчивых групп организмов [34, 35, 36, 23]. Полученная положительная слабая связь в рассматриваемых сообществах лесных экосистем (*Quercus sp.*, *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis*), согласно полимодельной концепции Б. М. Миркина [33], характеризует начальные периоды в их временной (эволюционной) динамике развития в направлении формирования стабильных низкопродуктивных (экстремальных) местообитаний с устойчивыми к воздействию стрессовых факторов, но конкурентно слабыми видами (S -стратегии). В конечных таких сообществах (S -модели)

будет сформирована тесная положительная зависимость между видовым разнообразием, выравненностью и долей адвентивных видов. Соответственно, функционирование сообществ будет лимитироваться не теснотой консортивных связей, а диапазонами варьирования набора биотических факторов и долей устойчивых видов на крайних позициях этого варьирования [37, 38].

Отмечаемая отрицательная связь в экосистемах с *Taxus baccata*, *Castanea sativa*, *Buxus colchica*, по концепции [33] характеризует эти местообитания как часто нарушаемые, с преимущественно непостоянными видами, способными с высокой скоростью захватывать освободившиеся после нарушений экологические ниши и новые территории [39, 40]; межвидовая конкуренция слабая или отсутствует (R -стратегии, R -модели) [32, 33, 39, 41]. Соответственно, при дальнейшем сценарии развития местообитаний и эволюционной адаптации к ним сообществ коллембол, ожидаются периодические смены сообществ (сукцессионные ряды) с формированием временных пространственно плотных группировок с физическим ограничением появления в сообществах других видов [39, 42].

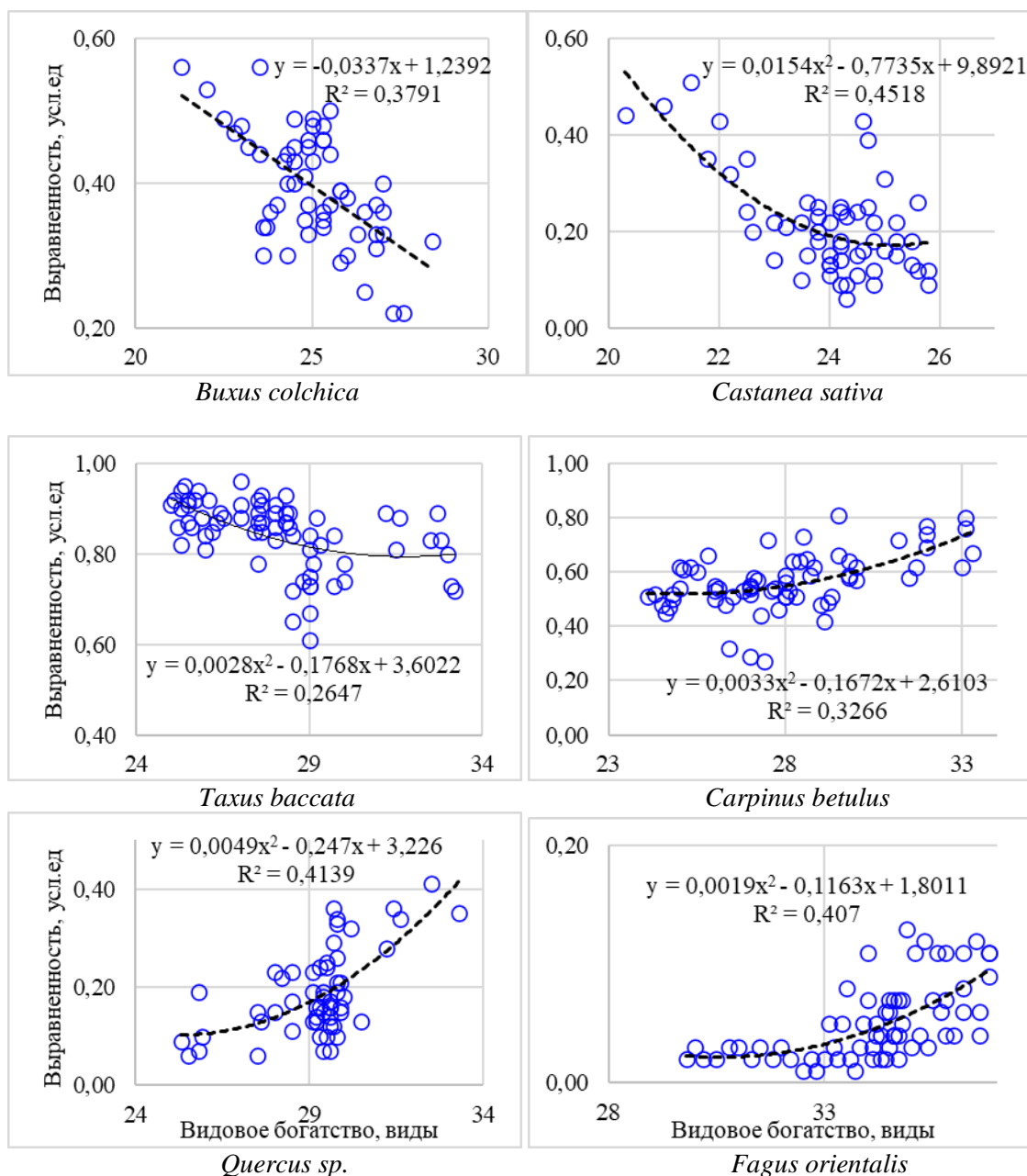


Рис. 3. Динамика зависимости выравненности от видового разнообразия в сообществах *Collembola* при различных лесных экосистемах

Fig. 3. Dynamics of the dependence of evenness on species diversity in *Collembola* communities in different forest ecosystems

По структуре и выравненности сообществ коллембол особенно выделяются экосистемы с *Castanea sativa* и *Buxus colchica*, состояние которых зависит, в первую очередь, от состояния древостоя (как и во всех наземных экосистемах).

Проводимые исследования в 90-х и 2000 годах констатировали в насаждениях *Castanea sativa* превышение возраста естественной спелости на 76% террито-

рии [43, с. 82] и более 90% инфицированных и пораженных дереворазрушающими грибами [44, с. 17]. В последние годы (с 2010 г.) также отмечаются биотипические изменения в результате снижения сомкнутости и роста изреженности древостоя, что создает динамическую полидоминантность условий [45], усиливающих смену видового состава на уровне подроста и вариацию обилия но-

гохвосток. Биоценотические изменения затронули все анализируемые экосистемы в интервале 2010–2013 гг., т.е. в период масштабных хронических косвенных антропогенных нагрузок в ходе подготовки к проведению Олимпиады–2014, усиленных

Снижение динамики устойчивости в большей степени проявилось в экосистемах с *Vixus colchica* после инвазии (в 2010 г.) *Cylindrocladium buxicola* Henricot [46, 47] с последующим увеличением доли стволовых вредителей, патогенных грибов [35] и, как следствие, роста текущего отпада [48]. В 2019 г. уже стали регистрироваться нарушенные консортивные связи, трансформированный состав древостоя, изменение возобновительного потенциала и биотопических характеристик [49].

Заключение. Современное состояние анализируемых пригородных экосистем в предгорной зоне Сочинского Причерноморья обусловлено фактом исторически наслаиваемого многолетне-го антропогенного пресса [50].

Определенная выравненность в сообществах орибатид, на основе разнообразия и обилия, позволяет построить ряды экосистем с древесными эдификаторами, по мере снижения: с отрицательной выравненностью – *Taxus baccata*, *Vixus colchica*, *Castanea sativa*; с положительной – *Fagus orientalis*, *Quercus*, *Fagus orientalis*.

В перспективе, при отсутствии природоохранных лесохозяйственных мероприятий, направленных на сохранение устойчивости природных экосистем и фонда их биоразнообразия, анализируемые экосистемы, в ходе эволюционной адаптации к сформированным новым типам местообитаний, ожидает структурная и, соответственно, функциональная перестройка с возможной сменой аборигенных доминантов, а также насыщением адвентивными видами. Более близкая временная перспектива реструктуризации и биоценотического упрощения свойственна экосистемам с эдификаторной ролью *Castanea sativa*, *Vixus colchica*, и *Taxus baccata*. В отдаленном плане, под воздействием меняющихся биотических и биотопических условий, реструктуризация может затронуть вначале экосистемы с *Carpinus*

betulus, затем *Quercus* и в последнюю очередь *Fagus orientalis*, с формированием маловидовых экосистем.

Полученные в работе результаты по разнообразию, обилию и выравненности сообществ коллембол в пригородных «фоновых» лесных экосистемах, создают информационный базис для сравнительной оценки меры трансформации этих сообществ и экосистем под воздействием антропогенной нагрузки (рекреационной, загрязнение воздушной среды от автотранспорта), для возможности проведения прогноза ожидаемого масштаба и степени экологического риска в рекреационной зоне Сочинского Причерноморья и, соответственно, для объективных оценок и природоохранных решений по перспективной их возможности полноценно выполнять экологические, экономические и социальные функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонов В.Д., Рахлеева А.А.* Состав и распределение сообществ микроартропод в ландшафтно-экологическом профиле высотной поясности горы Вудъяврчорр (Мурманская область, Хибинские горы) // Известия ПГПУ. Естественные науки. 2011. № 25. С. 376–382.
2. *Бызов Б.А.* Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС. 2005. 213 с.
3. *Гиляров М.С.* Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 278 с.
4. *Стебаева С.К.* Экология ногохвосток (Collembola) Юго-Восточного Алтая // Вопросы экологии. Экология и структура населения почвообитающих животных Алтая. Новосибирск, НГУ. 1973. С. 24–138.
5. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2006. 364 с.
6. *Щербина В.Г.* Рекреационная индикация субтропических буковых биогеоценозов. 2 изд., доп. и перераб. Кривой Рог: Минерал. 2005. 352 с.
7. *Пчелкин А.В., Боголюбов А.С.* Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды: методическое пособие. М.: Экосистема. 1997. 25 с.
8. *Щербина В.Г.* Применение лишеноиндикации при оценке трансформации

- рекреационных экосистем // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: VIII Междунар. науч. конф. (г. Белгород, 22–25 октября 2019 г.) / под ред. М.А. Польшиной. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ». 2019. С. 272–275.
9. *Рокицкий П.Ф.* Биологическая статистика. Минск: Высшая школа. 1964. 328 с.
10. *Определитель* коллембол фауны России и сопредельных стран. Семейство Нурогаструриды / А.Б. Бабенко, М.Б. Потапов, С.К. Стебаева [и др.]. М.: Наука. 1994. 336 с.
11. *Bretfeld G.* Synopses on Palaearctic Collembola. Symphypleona // *Abhandlungen und Berichten des Naturkundemuseums Görlitz*. 1999. Bd. 71. № 1. 318 s.
12. *Fjellberg A.* The Collembola of Fennoscandia and Denmark. Part I: Poduromorpha // *Fauna Entomologica Scandinavica*. Boston, Keln. 1998. Vol. 35. 184 p.
13. *Potapov M.* Synopses on Palaearctic Collembola. Isotomidae // *Abhandlungen und Berichten des Naturkundemuseums Görlitz*. 2001. Bd. 73. № 2. 603 p.
14. *Pomorski R.J.* Onychiurinae of Poland (Collembola: Onychiuridae) // *Genus (International Journal of Invertebrate Taxonomy (Supplement))*. Poland, Wroclaw. 1998. 201 p.
15. *Dunger W., Schlitt B.* Synopses on Palaearctic Collembola. Tullbergiidae // *Soil organisms / Senckenberg; Museum of Natural History Görlitz*. Germany. 2011. Vol. 83 (1). 168 p.
16. *Стебаева, С.К.* Жизненные формы ногохвосток (Collembola) // *Зоологический журнал*. 1970. Т. 49. Вып. 10. С. 1437–1454.
17. *Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс. 1980. 327 с.
18. *Мэгарран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир. 1992. 181 с.
19. *Pielou E.C.* The measurement of diversity in different types of biological collections // *Journal of Theoretical Biology*. 1966. Vol. 13. P. 131–144.
20. *Shveenkova Yu. B.* Local Kolmbolan diversity (Hexapods, Kolmbols) in the old-growth landscapes of the Middle Volga forest-steppe // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2018. Vol. 3 (2). P. 1–10.
21. *Thibaud J. M., Christian E.* Essai de synthese sur les peuplements de Collemboles interstitiels aeriens des sables littoraux et continentaux europйens et mediterrainйens // *Bulletin Entomology*. Pologne. 1995. Vol. 64. P. 207–216.
22. *Добролюбова Т.В.* Особенности населения коллембол (Apterygota; Collembola) горных сосновых лесов, расположенных на разной высоте над уровнем моря // *Экология*. 1995. № 2. С. 161–163.
23. *Bengtsson J., Fagerstram T., Rydin H.* Competition and coexistence in plant communities // *TREE*. 1994. Vol. 9. № 7. P. 246–250.
24. *Wilsey B., Stirling G.* Species richness and evenness respond in a different manner to propagule density in developing prairie microcosm communities // *Plant Ecology*. 2007. Vol. 190. P. 259–273.
25. *Stirling G., Wilsey B.* Empirical relationships between species richness, evenness, and proportional diversity // *The American Naturalist*. 2001. Vol. 158. P. 286–300.
26. *Help C.H.R., Herman P.M.J., Soetaert K.* Indices of diversity and evenness // *Oceanis*. 1998. Vol. 24. № 4. P. 61–87.
27. *Василевич В.И.* Видовое разнообразие влажных лугов Европейской России // *Ботанический журнал*. 2015. Т. 100. № 4. С. 372–381.
28. *Lamb E.G., Cahill J.F.* When competition does not matter: grassland diversity and community composition // *The American Naturalist*. 2008. Vol. 171. P. 777–787.
29. *Species evenness and productivity in experimental plant communities / P.H. Mulder, E. Bazeley-White, P.G. Dimitrakopoulos [et al.] // Oikos*. 2004. Vol. 107. P. 50–63.
30. *Sasaki T., Lauenroth W.K.* Dominant species, rather than diversity, regulates temporal stability of plant communities // *Ecology*. 2011. Vol. 166. № 3. P. 761–768.
31. *Bell G.* The distribution of abundance in neutral communities // *The American Naturalist*. 2000. Vol. 155. № 5. P. 606–617.

32. *Работнов Т.А.* Фитоценология. М.: Изд-во МГУ. 1983. 296 с.
33. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Современное состояние основных концепций науки о растительности. Уфа: АН РБ, «Гилем». 2012. 488 с.
34. *Magguran A.* Ecological diversity and its measurement. Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press. 1988. 181 p.
35. *Huston M.A.* General hypothesis of species diversity // *The American Naturalist*. 1979. Vol. 113. № 1. P. 81–101.
36. *Василевич В.И.* Доминанты в растительном покрове // *Ботанический журнал*. 1991. Т. 76. № 12. С. 1674–1681.
37. *Yodzis P.* Competition for space and the structure of ecological communities // *Lecture Notes in Biomathematics*. 1978. Vol. 25. P. 1–191.
38. *Онищенко В.Г.* Функциональная фитоценология: синэкология растений. М.: КРАССАНД, 2013. 640 с.
39. *Grime J.P.* Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory // *American Naturalist*. 1977. Vol. 111. № 982. P. 1169–1194.
40. *Grime J.P.* Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. 2nd ed. Chichester: John Wiley and Sons. 2001. 417 p.
41. *Grace J.B.* A clarification of the debate between Grime and Tilman // *Functional Ecology*. 1991. Vol. 5. P. 583–587.
42. *Olff H., Bakker J.P.* Do intrinsically dominant and subordinate species exist? A test statistic for field data // *Applied Vegetation Science*. 1998. Vol. 1. P. 15–20.
43. *Коваль И.П., Битюков Н.А.* Экологические основы пользования лесом на горных водосборах. Краснодар: Кубанский учебник. 2001. 408 с.
44. *Ширяева Н.В., Гаршина Т.Д.* Вредные членистоногие и паразитная микофлора древесных растений Сочинского национального парка (справочник). Сочи. 2000. 40 с.
45. *Bormann H.F. Likens G.E.* Pattern and process in a forested ecosystem. Springer-Verlag. 1979. 253 p.
46. *Гниненко Ю.И., Ширяева Н.В., Щуров В.И.* Самшитовая огневка – новый инвазивный организм в лесах Российского Кавказа // *Карантин растений: наука и практика*. 2014. № 1(7). С. 32–36.
47. *Колганихина Г.Б., Дворецкая Е.В., Туниев Б.С.* Усыхание самшита в Сочинском национальном парке // *Горные экосистемы и их компоненты: IV Междунар. конф. Сухум*. 2012. С. 16–17.
48. *Колганихина Г.Б.* Массовое усыхание самшита на территории Сочинского национального парка и роль патогенных грибов в этом процессе // *Лесной вестник*. 2013. № 6. С. 117–124.
49. *Солтани Г.А.* К вопросу средообразующей функции *Vixus colchica* // *Флора и заповедное дело на Кавказе: история и современное состояние изучения*: Междунар. конф., посв. 130-летию Перкальского дендрологического парка (Перкальского арборетума). (г. Пятигорск, 22–25 мая 2019 г.). 2019. С. 92–94.
50. *Литвинская С.А.* Историческая экология (региональный очерк): учеб. пособие. Краснодар: Изд-во КГУ. 1997. 214 с.

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF SPRINGTAIL COMMUNITIES IN THE FOOTHILL FOREST ECOSYSTEMS OF THE SOCHI BLACK SEA REGION

V.G. Scherbina

Branch of Institute of Natural and Technical Systems,
RF, Sochi, Kurortny Av., 99/18

A qualitative and quantitative assessment of springtail communities in six main forest ecosystems in the piedmont zone of the Sochi Black Sea region is presented. The studies were carried out at 13 sites located in a suburban forest area, without the influence of recreation and pronounced technogenic air pollution. The species composition, the level of dominance and the average abundance of springtails for seven field seasons are determined. Differences in the structure of springtail communities and their evenness depending on the type of forest ecosystem are established. The state of forest ecosystems is assessed by the degree of evenness.

Keywords: forest ecosystems, springtails, diversity, abundance, communities, structure, evenness.