

УДК 595. 713:631.46

РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ ПРОБ РАЗНОГО РАЗМЕРА ПРИ УЧЕТЕ ЧИСЛЕННОСТИ И ОЦЕНКЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ КОЛЛЕМБОЛ

И.П. Таранец, А.В. Смулов, Н.А. Кузнецова*

(кафедра общей экологии; e-mail: iris1_@mail.ru)

Исследована пространственная структура популяций почвенных коллембол в пробах с разными размерами (100, 36, 12 и 3 см²) в пределах однородного, мертвопокровного по почвенному покрову соснового леса. Выявлен “эффективный размер” проб (12 см²) для адекватной оценки численности и характеристик пространственного распределения коллембол, а также необходимое количество проб для репрезентативных результатов учета.

Ключевые слова: коллемболы, пространственное распределение, агрегированность, “эффективный” размер пробы.

Установление объема выборки или числа проб, необходимых для получения оценок параметров с некоторой точностью, является неперменной частью любого исследования. При этом исследователь сталкивается с проблемами выбора оптимального размера проб, их расположения в биотопе, статистической обработки полученных данных, чтобы в конечном счете с наименьшими затратами труда и времени получить репрезентативные результаты. Безусловно, выбор наиболее “эффективной” пробы, т.е. пробы такого размера, которые показывают достоверный результат при наименьших затратах труда на их обработку, должен зависеть от конкретных целей исследователя и от особенностей объекта. Стандартные методики базируются, как правило, на большом эмпирическом опыте, однако даже они допускают изменение размеров проб в определенных пределах [1, 2]. Для учета почвенных коллембол обычно применяют рамку или бур. Наиболее частые размеры рамки: 5 × 5 см (25 см²). Диаметры буров: от 3 до 6 см (от 7 до 28 см²). Размеры пробы зависят от предполагаемой численности микроартропод — при низкой численности обычно отбирают пробы большего размера [3]. На объем выборки, необходимой для достижения требуемой точности учета, в большой степени влияет пространственное размещение организмов. Чем выше мозаичность и меньше численность, тем большее количество проб требуется взять. При этом размер проб в определенном интервале может не влиять на их количество [4]. Заметим, что анализ структуры сообщества, базирующийся на данных пространственно-временного размещения организмов, а не репрезентативность ведет к искажению реальной картины.

Цель работы — проиллюстрировать на примере учета почвенных коллембол выбор “эффективного” размера пробы и объема выборки для репрезентативной оценки численности и параметров пространственного размещения.

Материал и методы

Нами была выбрана площадка 10 × 10 м² в мертвопокровном сосновом лесу. Для экономии учетных усилий исследователя применяли принцип “матрешки”, когда пробы меньшего размера вложены внутрь проб большего размера (рис. 1). При изъятии грунта использовали буры диаметром 3,9 и 6,7 см (площадь пробы 12 и 36 см²) и металлическую рамку диаметром 11,2 см (площадь пробы 100 см²). Сначала пробы с размером 36 и 12 см² отбирали почвенными бурами, а пробы маленького

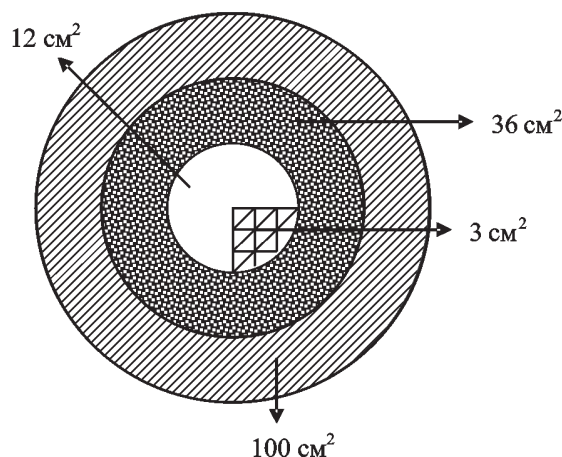


Рис. 1. Схема взятия проб (принцип “матрешки”)

* Кафедра зоологии и экологии МПГУ.

размера (площадь пробы 3 см²) получали путем деления пробы размером 12 см². Далее на место взятой пробы помещали металлическую рамку и вынимали оставшийся грунт. В результате этого проб с размером 100, 36, 12 и 3 см² было отобрано 25, 35, 45 и 55 соответственно.

Почвенные пробы отбирали случайным образом на всю глубину подстилки. Учет проводили 16.05.2007 г. вблизи пос. института Полиомиелит Московской обл. Коллембол экстрагировали из проб по общепринятой методике с помощью воронок Тулльгрена [3]. Всех коллембол заключали в постоянные микропрепараты с жидкостью Фора. Всего было взято и проанализировано 160 проб разного размера. Получено 2753 экземпляра коллембол 30 видов.

Для исследования пространственного размещения коллембол была использована методика, разработанная Ю.Э. Романовским и А.В. Смуровым [5, 6], которая позволяет установить соотношение размеров проб, масштаб агрегаций и избежать ошибок при выборе модели распределения.

Для выбора модели распределения выясняли характер зависимости величины коэффициента дисперсии (относительной дисперсии) от размера проб. Расчет относительной дисперсии (K_{δ^2}) проводили по формуле: $K_{\delta^2} = \delta^2/x$, где x — среднее число особей данного вида в выборке из проб одинакового размера без пересчета на единицу площади, а δ^2 — дисперсия для той же выборки. Ошибку относительной дисперсии (S_K) рассчитывали по формуле:

$$S_K = K_{\delta^2} \sqrt{\frac{2 + K_{\delta^2}/\bar{x}}{n - 1}},$$

где K_{δ^2} — коэффициент дисперсии, $\bar{x}$ — среднее число особей, n — количество проб.

Пока проба остается меньше, чем скопления, график зависимости коэффициента дисперсии от раз-

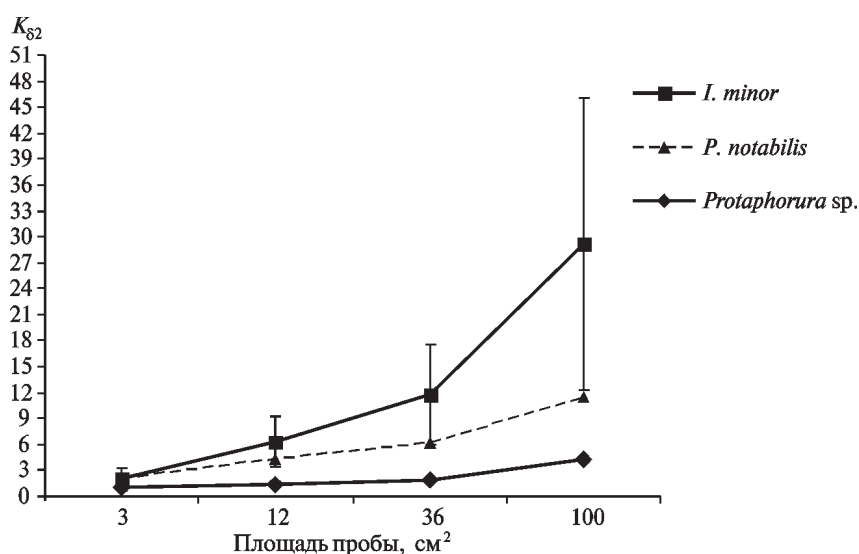


Рис. 2. Зависимость коэффициента дисперсии от разного размера проб для некоторых видов коллембол и ошибка относительной дисперсии для *I. minor*

мера проб имеет вид прямой с начальным значением 1. В этом случае для измерения степени агрегированности использовали индекс, известный как индекс Кэсси [3]. Индекс Кэсси: $C_s = \delta^2 - x/x^2$, где x — среднее число особей данного вида в выборке из проб одинакового размера, а δ^2 — дисперсия для той же выборки. При случайном распределении $C_s = 0$; при $C_s < 0$ — регулярное; при $C_s > 0$ — агрегированное. Пока размер проб остается меньше размера скоплений учитываемых организмов, индекс выполняет измерительную функцию и его величина не зависит от размера пробы [2].

Расчет ошибки средней проводили по формуле: $m = (SD/\sqrt{n}) \cdot t_{st}$, где SD — среднее квадратичное отклонение; n — число проб; t_{st} — значение критерия Стьюдента (1,96).

Коэффициент вариации (V) рассчитывали: $V = (SD/\bar{X}) \cdot 100\%$, где SD — среднее квадратичное отклонение; $\bar{X}$ — среднее значение.

Расчет процентов организмов в скоплениях (P) проводили по следующей формуле [5]: $P = (m^* \cdot K/\bar{X}) \times 100\%$, где $\bar{X}$ — среднее значение; m^* — средняя численность в скоплениях экз./пробу; K — доля площади, занятая скоплениями.

Расчет необходимой повторности для получения результатов с относительной ошибкой, не превышающей 20%, рассчитывали по формуле: $n = (SD \cdot t_{st}/\bar{X} \cdot \xi)^2$, где SD — среднее квадратичное отклонение; t_{st} — значение критерия Стьюдента (1,96); $\bar{X}$ — среднее значение на пробу; ξ — точность, которую задавали сами (мы выбирали относительную ошибку, равную 20% (0,2). Такая ошибка позволяет объективно оценивать и сравнивать численность организмов).

Так как показатели агрегированности дают общую оценку характера пространственного размещения организмов, для более детального анализа мы применяли теоретические модели распределения.

Общий анализ пространственной структуры коллембол проводили с помощью программы ЭКОС (версия 1.3 (1993 г.); разработчики: А.И. Азовский, Н.П. Незлин и М.П. Мороз).

Параметры горизонтального распределения рассчитывали для видов коллембол, средняя плотность которых в выборках пробами любого размера составляла не менее 1 экз. на пробу в пределах ошибки.

Результаты и обсуждение

Проанализированные нами виды коллембол размещены неравномерно (табл. 2, рис. 1, 2). При этом наибольшая агрегированность прослеживается для *Iso-tomiella minor*. Кажущиеся точки перегиба на графике оказались недо-

верными при подсчете стандартной ошибки относительной дисперсии (рис. 2, 3). С большой долей вероятности мы можем утверждать, что размер всех проб меньше, чем размер существующих первичных неоднородностей. В связи с этим нами была использована трехпараметрическая модель, которая описывает агрегированное размещение организмов при размерах пробы меньших, чем средний размер скопления [7].

Полученные оценки численности и значения индекса агрегированности в пробах разного размера различались. Однако индекс агрегированности Кэсси показывал одинаковый результат в пределах ошибки, хотя абсолютные значения этого индекса отличались в пробах разного размера (табл. 2). В маленьких пробах индекс мог быть занижен (*Isotomiella minor*, *Protaphorura* sp.) или, наоборот, завышен (*Parisotoma notabilis*) по сравнению с другими размерами проб. Близкие результаты индекса агрегированности дают размеры проб 12 и 36 см² (табл. 2). Другие параметры пространственного размещения также указывали на существенные различия характеристик в маленьких пробах по сравнению с другими масштабами (12, 36 и 100 см²), у которых они были более или менее схожими между собой. Процент организмов в скоплениях был явно занижен в маленьких пробах для *Parisotoma notabilis* и завышен для остальных видов по сравнению с другими размерами проб.

При изменении размера проб плотность коллембол, рассчитанных на 1 м², различалась. С уменьшением размера проб оценка численности ногохвосток увеличивалась. В маленьких пробах в пересчете на 1 м² плотность всех видов коллембол в 2 раза выше, чем в больших (100 см²). При этом коэффициент вариации в пробах маленького размера значительно выше, чем в пробах большого размера (табл. 1). Как и следовало ожидать, применение слишком мелких проб приводит к искаженной оценке средней численности объектов [1]. Дисперсия при этом, как правило, оказывалась заниженной по сравнению с

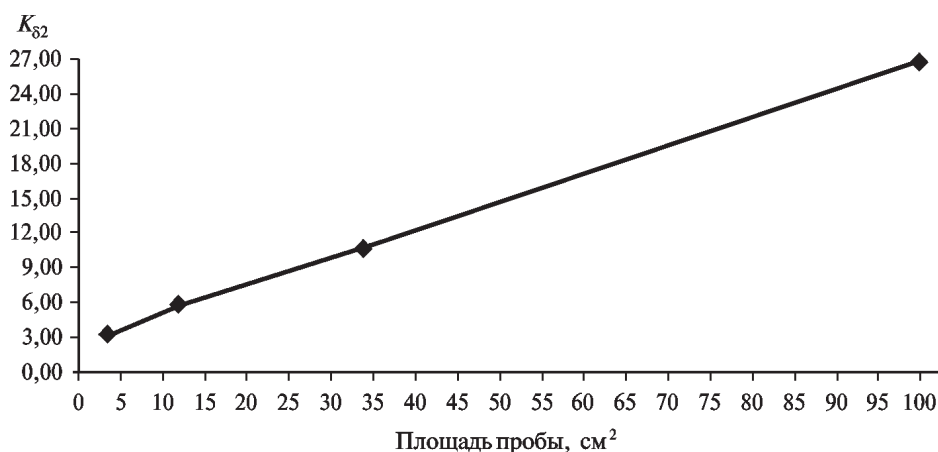


Рис. 3. Зависимость коэффициента дисперсии от разного размера проб для всех видов коллембол

Таблица 1

Сводные показатели

Размер пробы, см ²	Количество проб	$\bar{X} \pm m$	X	SD	V	n
<i>Isotomiella minor</i>						
100	25	14,9 ± 8,2	1488	20,8	140	188
36	35	6,7 ± 2,9	1873	8,9	133	169
12	45	3,6 ± 1,4	3000	4,8	133	171
3	55	0,8 ± 5,5	2787	20,8	2600	41 620
<i>Parisotoma notabilis</i>						
100	25	15 ± 5,1	1504	13,1	87	72
36	35	5,7 ± 2	1587	6	105	116
12	45	3 ± 1	2518	3,6	120	123
3	55	0,7 ± 0,3	2424	1,2	174	580
<i>Protaphorura</i> sp.						
100	25	5 ± 1,8	500	4,6	92	81
36	35	2,9 ± 0,8	810	2,3	79	51
12	45	1,5 ± 0,4	1222	1,4	93	82
3	55	0,5 ± 0,2	1757	0,7	140	230
Общая численность всех видов коллембол						
100	25	50,3 ± 14,4	5032	36,8	73	51
36	35	22,3 ± 5,3	6190	15,9	71	48
12	45	11,9 ± 2,4	9888	8,3	70	46
3	55	3,3 ± 0,8	10 969	3,2	97	79

Примечание. $\bar{X}$ — среднее значение на пробу; m — ошибка средней; X — численность, экз./м²; SD — стандартное отклонение; V — коэффициент вариации; n — рассчитанное необходимое число проб (ошибка 20%).

реальной картиной (табл. 1, 2). Такой маленький размер проб мы не рекомендуем использовать в работе, так как для получения достоверного результата число таких проб необходимо увеличивать в разы. Несмотря на то что мелких проб было отобрано больше всего (55), их оказалось недостаточно для адекватной оценки численности и агрегированности. Больших размеров почвенных проб также оказалось недостаточно, и они трудоемки в подобных работах. Заметим, что используемое нами количество проб дает относительную ошибку в выборках, как правило, больше 30%, а для достижения 20% относительной точности учета проб необходимо отбирать большее число проб

Таблица 2

Параметры пространственного размещения коллембол

Размер пробы, см ²	Количество проб	$\bar{X} \pm m$	δ^2	K_{δ^2}	C_s	m^*	m°	K	% в скопл.	Скопл./фон
<i>Isotomiella minor</i>										
100	25	$14,9 \pm 8,2$	433,4	29,1	1,9	86,3	9	0,1	57,9	9,6
36	35	$6,7 \pm 2,9$	78,9	11,8	1,6	35,8	4,3	0,1	53,4	8,3
12	45	$3,6 \pm 1,4$	22,6	6,3	1,5	14,5	1,9	0,1	40,3	7,6
3	55	$0,8 \pm 5,5$	1,7	2,1	1,2	2,2	0,2	0,3	82,5	11,0
<i>Parisotoma notabilis</i>										
100	25	$15 \pm 5,1$	171,2	11,4	0,7	36,3	7,7	0,3	72,6	4,7
36	35	$5,7 \pm 2$	35,6	6,2	0,9	15,4	2,6	0,2	54,0	5,9
12	45	3 ± 1	12,7	4,2	1,1	9,6	1,5	0,2	64,0	6,4
3	55	$0,7 \pm 0,3$	1,5	2,1	1,5	2,9	0,4	0,1	41,4	7,3
<i>Protaphorura</i> sp.										
100	25	$5 \pm 1,8$	21,1	4,2	0,6	12,8	2,9	0,2	51,2	4,4
36	35	$2,9 \pm 0,8$	5,3	1,8	0,3	6,4	2,2	0,2	44,1	2,9
12	45	$1,5 \pm 0,4$	1,9	1,3	0,2	1,8	0,2	0,8	96,0	9,0
3	55	$0,5 \pm 0,2$	0,6	1,2	0,1	0,5	0	1	100,0	—
Общая численность всех видов коллембол										
100	25	$50,3 \pm 14,4$	1352,5	3,03	0,5	144,7	36,5	0,2	57,5	3,96
36	35	$22,3 \pm 5,3$	251,7	5,8	0,5	53,3	14,9	0,2	47,8	3,58
12	45	$11,9 \pm 2,4$	68,6	11,3	0,4	26,8	8,1	0,2	45,0	3,31
3	55	$3,3 \pm 0,8$	10	26,9	0,6	10,6	2,4	0,1	32,1	4,42

Примечание. $\bar{X}$ — среднее значение на пробу; m — ошибка средней; δ^2 — дисперсия; K_{δ^2} — коэффициент дисперсии; C_s — индекс агрегированности; m^* — средняя численность в скоплениях экз./пробу; m° — средняя численность на фоне экз./пробу; K — доля площади, занятая скоплениями.

(табл. 1, 2). По нашим данным, для отбора почвенных проб “эффективным размером” можно считать 12 см².

Выводы

1. Проанализированные виды коллембол (*Isotomiella minor*, *Parisotoma notabilis*, *Protaphorura* sp.) образовывали скопления, размер которых был больше, чем размер проб и превышал площадь 100 см².

2. Маленький размер проб показывал завышенную, искаженную оценку численности, при этом коэффициент вариации увеличивался.

3. “Эффективным размером” для учета численности и пространственной структуры почвенных коллембол можно считать пробы площадью 12 см².

Авторы признательны докт. биол. наук А.И. Азовскому за консультации и помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смуров А.В., Полищук Л.В. Количественные методы оценки основных популяционных показателей: статистический и динамический аспекты. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 208 с.

2. Смуров А.В. Основы экологической диагностики. Биологические и информационные аспекты. М.: Ойкос, 2003. 188 с.

3. Потапов М.Б., Кузнецова Н.А. Методы исследования обществ микроартропод. М.: Т-во научных изданий КМК, 2011. 84 с.

4. Смуров А.В. О точности количественных и качественных учетов организмов при применении проб разных размеров / Доклады МОИП. Сер. биология. 1975. С. 18—20.

5. Смуров А.В. Статистические методы в исследовании пространственного размещения организмов // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. С. 217—240.

6. Смуров А.В. Новый тип статистического пространственного распределения и его применение в экологи-

ческих исследованиях // Зоол. журн. 1972. Т. 54. № 2. С. 283—289.

7. Смуров А.В., Романовский Ю.Э. Трехпараметрическое статистическое распределение и более общие выражения индекса агрегированности К, имеющие экологический смысл // Журн. общ. биол. 1976. Т. 37. № 1. С. 141—149.

Поступила в редакцию
7.10.11

DIFFERENT SIZE SAMPLE REPRESENTATIVENESS IN POPULATION ACCOUNTING AND ESTIMATION OF SOIL-DWELLING COLLEMBOLA HORIZONTAL DISTRIBUTION

I.P. Taranets, A.V. Smurov, N.A. Kuznetsova

The spatial structure of soil Collembola populations in samples of the different sizes (100, 36, 12 and 3 sm²) in the uppermost of the soil of pine wood has been considered. The research has revealed “the effective size” samples (12 sm²) for an appropriate assessment of number and characteristics of Collembola spatial distribution, and also necessary quantity of samples for the accounting results to be representative.

Key words: *Collembola, spatial distribution, aggregation, “the effective” size of samples.*

Сведения об авторах

Таранец Ирина Павловна — аспирантка кафедры общей экологии биологического факультета МГУ.
E-mail: Iris1@mail.ru

Смуров Андрей Валерьевич — докт. биол. наук, проф. кафедры общей экологии биологического факультета МГУ. E-mail: smr49@mail.ru

Кузнецова Наталия Александровна — докт. биол. наук, проф. кафедры зоологии и экологии МПГУ.
E-mail: mpnk@org.ru