

УДК 595.142.3
© 2014

О.Н. КУНАХ,
кандидат биологических наук

А.В. ЖУКОВ,
доктор биологических наук

Ю.А. БАЛЮК,
аспирант

М.П. ФЕДЮШКО,
кандидат сельскохозяйственных наук

Днепропетровский национальный
университет имени Олеся Гончара –
Днепропетровский государственный
аграрно-экономический
университет, Украина
E-mail: Zhukov_dnepr@rambler.ru

ЭКОМОРФИЧЕСКОЕ
РАЗНООБРАЗИЕ
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ СООБЩЕСТВА
МЕЗОПЕДОБИОНТОВ
УРБОТЕХНОЗЕМА

Наведено результати вивчення просторового варіювання екоморфічної структури ґрунтової мезофауни технозему з трав'янистим покривом методами ОМІ- і RLQ-аналізу. Ґрунтова мезофауна експериментальної ділянки представлена 26 видами зі загальною щільністю 234,47 екз./м². В екологічній структурі тваринного населення ґрунту переважають пратанти та палюданти, гігрофіли, мезотрофоценоморфи, ендегейні та епігейні топоморфи, сапрофаги. Такі едафічні характеристики, як твердість ґрунту, електропровідність, потужність підстилки, а також висота травостою відіграють важливу роль у структуруванні екологічної ніші угруповання мезопедобіонтів. Виявлено чотири ключових функціональних групи мезопедобіонтів і знайдено роль едафічних факторів у їх просторовому варіюванні.

Ключові слова: ґрунтова мезофауна, екологічна ніша, просторова екологія, екоморфи.

Физические характеристики почвы описывают экологическую обстановку в почве [13]. Животное население почв является надежным индикатором направленности биогеоценологических процессов [3]. Это положение справедливо и для искусственных почвоподобных конструкций – техноземов. Недостатки конструкции данного технозема четко диагностируются по особенностям пространственной организации сообщества мезопедобиионтов. Процедура RLQ-анализа позволяет оценить взаимосвязь трех важнейших характеристик почвенной экосистемы: эдафических факторов, видового разнообразия и его экоморфической структуры [15, 16]. Экоморфы отражают особенности адаптации животных к различным аспектам биогеоце-

нотического окружения [6, 7]. В реалиях конкретного сообщества наблюдается сопряженная изменчивость экоморф, что открывает возможность дать объемную характеристику его экоморфической организации.

Анализ маргинальности видов показал, что визуально однородный и относительно малый по размерам участок представляет собой неоднородную среду обитания для почвенных животных. Установлено, что конструктивные особенности технозема, которые проявляют себя через вариабельность твердости в горизонтальном и вертикальном направлениях, приводят к значительной дифференциации животного населения почвы данного участка. Вариабельность твердости воздействует также на

водный режим почвы, который оказывает влияние на растительный покров участка, что количественно отражается в показателях электропроводности и температуры почвы, а также высоты травостоя [18].

Целью работы являлось изучение пространственной организации экоморфического разнообразия почвенной мезофауны модельного полигона в пределах урбанизированной территории в условиях интенсивной рекреационной нагрузки (Ботанический сад ДНУ имени Олеся Гончара, г. Днепропетровск).

Материал и методы исследования. Техноземы как искусственно созданные почвоподобные конструкции характеризуются высокой вариабельностью свойств [4, 11, 20]. Для характеристики пространственной неоднородности почвы нами выбраны показатели, которые удовлетворяют двум требованиям. Прежде всего, это экологическая релевантность, т.е. показатели, которые способны информативно отобразить особенности почвы как среды обитания растений и почвенных животных. Поэтому важен ещё один критерий: для описания пространственной изменчивости экологических свойств показатель должен быть относительно легко измерим, т.е. за короткий промежуток времени можно получить значительный объем данных [15, 16]. Такие показатели, как твердость, электропроводность и температура почвы с помощью современных инструментов могут быть достаточно быстро измерены в большом количестве, а оценки неоднородности почвы четко коррелируют со свойствами животного населения почвы. Такой подход показал свою эффективность при изучении почвенной мезофауны лесного биогеоценоза [14], лесного урбанозема [15, 16, 18], пространственного размещения пороев слепышей [10], роли педотурбационной активности слепышей в структурировании пространственной организации сообщества герпетобийных пауков [8].

Исследования проведены 10 июня 2012 г. Исследуемый полигон № 10 находится на склоне отрога балки Красноповстанская восточной экспозиции (48°25'56.76" с.ш., 35°2'18.74" в.д.). Естественный тальвег и часть склона засыпаны технической смесью строительного мусора, на котором

сформированы искусственные почвы. Почва на исследуемом участке – урботехнозем (дерновый урбопедозем на технической смеси строительного мусора, так как при создании почвенной конструкции был сформирован верхний слой из черноземовидной массы) [17]. А.Н. Кабарь [12] почвы исследуемого участка относит к ряду техногенных почв, типу – техноземов, подтипу – техноземов черноземных, роду – гумусированных, литографической серии – гетерогенных, виду – слабогумусных, среднемощных, разновидности – среднесуглинистых.

Полигон состоит из 15 трансект, расположенных перпендикулярно от направления тальвега балки. Каждая трансекта составлена из 7 пробных точек. Расстояние между рядами в полигоне 2 м. Участок – это искусственное газонное насаждение с отдельно стоящими деревьями. Древесной представлен кленом ясенелистым (*Acer negundo* L.), явором (*Acer pseudoplatanus* L.) и вязом шершавым (*Ulmus glabra* Huds.). В травостое обильны мятлики дубравный (*Poa nemoralis* L.) и луговой (*Poa pratensis* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) и ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.). Растительность имеет луговой облик со значительной лесной компонентой (48,72 % видов относятся к луговой экоморфе, 35,90 % – к лесной). Фитоиндикационное оценивание трофотоп изучаемого полигона считать как мегамезотрофный (58,97 % видов – мезотрофы, 32,05 % – мегатрофы). Гигротоп в целом имеет мезофильный характер (53,85 % видов – мезофилы) с тенденцией к ксеромезофильным условиям (38,46 % – ксеромезофилы).

В каждой точке были сделаны почвенно-зоологические пробы для сбора почвенной мезофауны (L-таблица), проведено измерение температуры, электропроводности и твердости почвы, мощности подстилки и высоты травостоя (R-таблица). Размер почвенно-зоологических проб 25×25 см. Твердость почв измеряли в полевых условиях с помощью ручного пенетromетра Eijkelkamp на глубину до 50 см с интервалом 5 см. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет ±8 %. Измерения проводили конусом с размером поперечного сечения

2 см². Твердость почвы в пределах каждой точки измеряли в однократной повторности. Для измерения электропроводности почвы in situ использовали сенсор HI 76305 (Hanna Instruments, Woodsocket, R. I.) совместно с портативным прибором HI 993310. Тестер оценивает общую электропроводность почвы, т.е. объединенную проводность по-

чвенного воздуха, воды и частиц (в единицах насыщенности почвенного раствора солями – г/л). Сравнение результатов измерений прибором HI 76305 с данными лабораторных исследований позволили оценить коэффициент перевода единиц как 1 дС/м = 155 мг/л [21]. Почвенную температуру измеряли с 13 до 14 часов цифровыми термометрами WT-1 (ПАО

1. Видовой состав и обилие почвенной мезофауны участка № 10*

Класс	Семейство	Вид	Цено-морфа	Гигро-морфа	Ценотро-фоморфа	Топо-морфа	Трофо-морфа	Плотность, экз./м ²
Oligochaeta	Lumbricidae	<i>Aporrectodea caliginosa trapezoides</i> (Duges, 1828)	Pr	Hg	MsTr	End	SF	73,45
		<i>Aporrectodea rosea rosea</i> (Savigny, 1826)	St	Ms	MgTr	End	SF	8,08
		<i>Lumbricus rubellus</i> Hoffmeister, 1843	Pal	UHg	MsTr	Ep	SF	58,67
		<i>Octolasion lacteum</i> (Oerley, 1885)	Sil	Ms	MsTr	End	SF	26,97
Arachnida	Aranei	<i>Aranea</i> sp. sp.	St	Ks	MsTr	Ep	ZF	1,37
Chilopoda	Geophilidae	<i>Geophilus proximus</i> C.L.Koch 1847	St	Ms	MsTr	Anec	ZF	12,65
Diplopoda	Julidae	<i>Megaphyllum rossicum</i> (Timotheew, 1897)	St	Ms	MsTr	Ep	SF	1,83
	Polydesmidae	<i>Schizothuranius dmitriewi</i> (Timotheew, 1897)	Sil	Hg	MgTr	Ep	SF	12,65
Insecta	Cantharididae	<i>Cantharis (Cantharis) rustica</i> Fallen 1807	St	Ks	OITr	Ep	ZF	0,15
	Carabidae	<i>Amara (Curtonotus) aulica</i> (Pan-zer, 1796)	St	Ks	OITr	Ep	FF	0,15
		<i>Calathus (Calathus) fuscipes</i> (Goeze, 1777)	St	Ms	MgTr	Ep	ZF	0,46
		<i>Carabus cancelatus</i> Ill.	Sil	Ms	MgTr	Ep	ZF	0,15
		<i>Zabrus (Pelor) spinipes</i> (Fabricius 1798)	St	Ks	MgTr	Ep	FF	0,15
		<i>Zabrus (Zabrus) tenebrioides</i> (Goeze 1777)	St	Ks	MgTr	Ep	FF	0,30
		<i>Harpalus (Acarydystus) flavescens</i> (Piller & Mitterpacher, 1783)	Pal	Ks	UMgTr	Ep	FF	0,15
	Coccinellidae	<i>Coccinella (Coccinella) septempunctata</i> Linnaeus 1758	St	Ms	MgTr	Ep	ZF	0,61
	Elateridae	<i>Elateridae</i> sp. sp.	St	Ks	MsTr	End	FF	0,46
	Noctuidae	<i>Lepidoptera</i> sp. sp.	St	Ms	MsTr	End	FF	1,52
	Staphylinidae	<i>Staphylinus caesareus</i> Cederhjelm 1798	Sil	Hg	MsTr	Ep	ZF	3,66
	Stratiomyidae	<i>Stratiomyidae</i> sp. sp.	Pr	Ms	OITr	Ep	ZF	1,07
	Melolonthidae	<i>Melolontha melolontha</i> (Linnaeus 1758)	Pr	Ms	OITr	End	FF	0,61
Malacostraca	Trachelipodidae	<i>Trachelipus rathkii</i> (Brandt 1833)	Pr	UHg	MgTr	Ep	SF	4,88
Gastropoda	Enidae	<i>Brephulopsis cylindrica</i> (Menke, 1828)	St	Ks	MsTr	Ep	FF	8,99
		<i>Chondrula tridens</i> (O.F. Muller 1774)	St	Ks	MgTr	Ep	FF	13,87
	Limacidae	<i>Limax</i> sp.	Pr	Hg	MgTr	Ep	FF	0,30
	Patulidae	<i>Discus rudratus</i> (W. Hartmann, 1821)	Sil	UHg	UMgTr	Ep	FF	1,83

* **Ценоморфы:** St – степенанты, Pr – пратанты, Pal – паллюданты, Sil – сильванты; **гигроморфы:** Ks – ксерофилы, Ms – мезофилы, Hg – гигрофилы, UHg – ультрагигрофилы; **ценотрофоморфы:** MsTr – мезотрофоценоморфы; MgTr – мегатрофоценоморфы; UMgTr – ультрамегатрофоценоморфы; **топоморфы:** End – эндогейные, Ep – эпигейные, Anec – норники; **трофоморфы:** SF – сапрофаги, FF – фитофаги, ZF – зоофаги.

“Стеклоприбор”, <http://bit.steklopribor.com>, точность – 0,1°C) на глубине 5–7 см, мощность подстилки – линейкой, высоту травостоя – мерной рулеткой в трехкратной повторности в каждой пробной точке.

Характеристика экоморф растений приведена по А.Л. Бельгарду [1, 2] и В.В. Тарасову [19], Q-таблица представлена экоморфами почвенных животных [6, 9].

Статистические процедуры RLQ- и ОМІ-анализов выполнены с помощью пакета ade4 для оболочки R [22]. Значимость RLQ оценена с помощью процедуры randtest.rlq. Сущность и особенности ОМІ-анализа обсуждаются в работе А. Е. Пахомова и соавт. [18].

Результаты исследования и их обсуждение. Характеристика таксономического и экологического разнообразия сообщества мезопедобионтов изучаемого полигона представлена в табл. 1.

На исследуемом участке обнаружено 25 видов почвенных животных. Плотность почвенной мезофауны изученного полигона составляет 234,47 экз./м². Дождевые черви являются многочисленной и разнообразной группой сапрофагов в пределах полигона и представлены 4 видами. По плотности дождевые черви составляют 71,14 % от общей плотности населения мезопедобионтов. Доминантом является собственно почвенный верхнеярусный Aporrectodea c. Trapezoids – 73,45 экз./м². Собственно почвенные дождевые черви представлены также *Octolasion lacteum* и *Aporrectodea r.*

rosea, а почвенно-подстилочные – *Lumbricus rubellus*.

Гигроморфы дождевых червей представлены ультрагигрофилами, гигрофилами и мезофилами. Ценоморфический спектр также весьма широк – среди дождевых червей представлены степанты, пратанты, палюданты и сальванты. Таким образом, комплекс дождевых червей изучаемого полигона обилен и разнообразен как в таксономическом, так и экологическом аспектах.

Помимо дождевых червей, к трофической группе сапрофагов принадлежат эпигейные кивсяки *Megaphyllum rossicum* (1,83 экз./м²), многосвязы *Schizothuranius dmitriewi* (12,65 экз./м²) и мокрицы *Trachelipus rathkii* (4,88 экз./м²).

Хищные губоногие многоножки представлены землянкой *Geophilus proximus* (12,65 экз./м²); для своего перемещения используют систему почвенных нор и трещин. Среди хищников также имаго жукелиц (*Calathus fuscipes* и *Carabus cancelatus*), имаго коротконадкрылых жуков *Staphylinus caesareus*, личинки двукрылых сем. Stratiomyidae и пауки.

Группа фитофагов разнообразна: личинки подгрызающих совок, пластинчатоусых жуков, жукелиц, жуков-усачей и моллюски.

Основу ценоморфической структуры мезофауны составляют пратанты, несколько меньше палюдантов, степантов и сальвантов (рис. 1). Таким образом, ценоморфический облик животного населения изучаемого по-

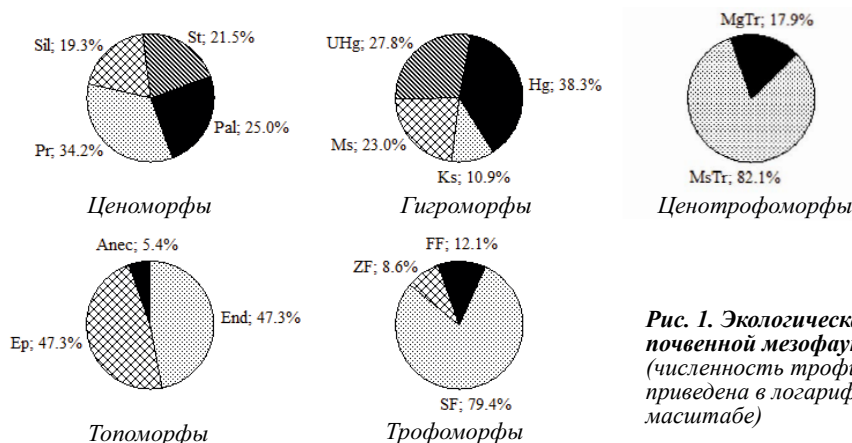


Рис. 1. Экологическая структура почвенной мезофауны (численность трофических групп приведена в логарифмическом масштабе)

лигона можно охарактеризовать как луговой с болотными элементами.

Среди гигроморф преобладают гигрофилы, несколько меньше ультрагигрофилов и мезофилов, очень редко встречаются ксерофилы. Гигроморфическая структура населения является гигрофильной. В сообществе доминируют мезотрофоценоморфы, что повторяет трофоморфическую структуру растительности. В структуре топоморф доля эндогейных равна доле эпигейных форм. Существенно меньше норников. В трофической структуре безусловными доминантами являются сапрофаги. Доля зоофагов составляет 8,6 %, фитофагов – 12,1 %.

Эдафические характеристики могут рассматриваться как детерминанты экологического пространства сообщества мезопедобионтов (табл. 2).

Для твердости почвы в изучаемом участке характерно монотонное увеличение с ростом глубины. Средние значения твердости почвы в пределах изучаемого полигона превышают критические для роста корневых систем растений (3–3,5 МПа), уже начиная с почвенных слоев 15–20 см

[5]. Это позволяет предположить высокое структурирующее влияние пространственной variability твердости почвы на организацию почвенного животного населения. Установлено, что локальный максимум коэффициента вариации твердости наблюдается в почвенных слоях 10–15 и 15–20 см. На глубине 25–30 см наблюдается локальный минимум variability твердости почвы, после чего происходит увеличение variability с глубиной.

Электропроводность почвы в среднем составляет 0,50 дСм/см и характеризуется коэффициентом вариации 19,10 %. Начало негативного воздействия на растительность мегаполиса высоких концентраций электролитов начинается с величин электропроводности 1,5–2,0 дСм/м. Наблюдаемые значения электропроводности значительно ниже указанных величин, что свидетельствует об отсутствии угнетающего влияния почвенного раствора на растительность, вероятно, и на животных.

Совместное измерение эдафических характеристик и особенностей структуры животного населения позволили оценить

2. Детерминанты экологического пространства почвенной мезофауны

Параметры среды	Среднее	Доверительный интервал		CV, %	RLQ ось 1	RLQ ось 2
		–95 %	+95 %			
Твердость почвы на глубине, МПа						
0–5 см	1,51	1,44	1,57	22,27	0,59	–0,09
5–10 см	2,18	2,05	2,31	30,77	0,79	0,21
10–15 см	3,02	2,84	3,21	32,09	0,91	0,56
15–20 см	3,64	3,45	3,84	27,70	0,93	0,59
20–25 см	4,21	3,99	4,43	26,94	0,91	0,67
25–30 см	4,47	4,22	4,72	29,13	0,93	0,70
30–35 см	4,74	4,44	5,03	32,05	0,92	0,73
35–40 см	4,87	4,55	5,19	34,10	0,92	0,72
40–45 см	5,01	4,66	5,36	36,30	0,90	0,70
45–50 см	5,13	4,76	5,51	37,76	0,89	0,70
Физические свойства, мощность подстилки и высота травостоя						
Электропроводность, дСм/см	0,72	0,70	0,75	16,50	–0,26	0,34
Температура слоя почвы 5–7 см, °C: 10.06.2012	16,77	16,69	16,85	2,49	0,36	–0,11
31.08.2013	19,62	19,34	19,91	7,52	0,14	–0,33
Мощность подстилки, см	1,03	0,91	1,14	58,69	–0,29	0,32
Высота травостоя, см	23,73	21,23	26,24	54,49	0,12	0,11

3. Анализ маргинальности видов сообщества мезофауны*

Вид	Сокращение	Инерция	ОМІ	Tol	Rtol	omi	tol	rtol	p-уровень
<i>Aporrectodea trapezoides</i>	A_trapezoides	16,05	0,53	3,52	12,00	3,30	21,90	74,80	0,05
<i>Aporrectodea rosea</i>	A_rosea	10,06	1,90	2,04	6,11	18,90	20,30	60,80	0,59
<i>Aranea sp.</i>	Aranea	8,98	1,47	0,56	6,94	16,40	6,30	77,30	0,38
<i>Brephulopsis cylindrica</i>	B_cylindrica	12,48	3,88	3,06	5,53	31,10	24,60	44,30	0,00
<i>Chondrula tridens</i>	Ch_tridens	12,87	1,43	4,73	6,72	11,10	36,80	52,20	0,01
<i>Discus rudersatus</i>	D_rudersatus	19,77	10,27	2,96	6,55	51,90	15,00	33,10	0,03
<i>Geophilus proximus</i>	G_proximus	13,61	0,48	5,64	7,49	3,50	41,40	55,00	0,03
<i>Lepidoptera sp.</i>	Lepidoptera	13,22	2,63	2,29	8,30	19,90	17,30	62,80	0,05
<i>Lumbricus rubellus</i>	L_rubellus	15,03	0,46	3,07	11,50	3,00	20,40	76,50	0,04
<i>Megaphyllum rossicum</i>	M_rossicum	14,22	0,74	0,69	12,79	5,20	4,90	89,90	0,59
<i>Melolontha melolontha</i>	M_melolontha	13,84	1,15	0,21	12,48	8,30	1,50	90,20	0,69
<i>Octolasion lacteum</i>	O_lacteum	13,39	0,07	2,00	11,32	0,50	14,90	84,50	0,98
<i>Schizothuranius dmitriewi</i>	Sch_dmitriewi	14,18	1,17	4,36	8,65	8,30	30,70	61,00	0,00
<i>Staphylinus caesareus</i>	S_caesareus	21,96	2,06	6,25	13,65	9,40	28,50	62,20	0,05
<i>Stratiomyidae sp.</i>	Stratiomyidae	12,98	3,74	2,50	6,74	28,80	19,20	51,90	0,13
<i>Trachelipus rathkii</i>	T_rathkii	12,76	2,46	2,15	8,16	19,30	16,80	63,90	0,05
ОМІ		2,16	-	-	-	-	-	-	0,01

* ОМІ – индекс средней удаленности (маргинальности) для каждого вида; Tol – толерантность, Rtol – остаточная толерантность; курсив – данные индексов (% от суммарной вариабельности); p-уровень по методу Монте-Карло после 25 итераций.

свойства экологической ниши почвенной мезофауны (табл. 3).

Общая инерция, которую можно вычислить в результате ОМІ-анализа, пропорциональна средней маргинальности видов сообщества и представляет собой количественную оценку влияния факторов окружающей среды на сепарацию видов. Установлено, что общая инерция составляет 0,86. Первая ось, полученная в результате ОМІ-анализа, описывает 78,28 %, а вторая – 11,54 % инерции. Таким образом, первые две оси описывают 89,82 % инерции, что вполне достаточно для того, чтобы описание дифференциации экологических ниш мезофауны на изучаемом полигоне проводить в пространстве первых двух осей. Среднее значение маргинальности сообщества и уровень значимости свидетельствуют о важной роли выбранных переменных среды для структурирования сообщества почвенной мезофауны.

Маргинальность, которая статистически достоверно отличается от случайной альтернативы, характерна для 10 видов из 16, для которых проведен ОМІ-анализ (табл. 3). Таким образом, для значительного чис-

ла видов мезофауны изучаемого полигона типичные эдафические условия не совпадают с центроидом их экологической ниши. Маргинальность ниши указывает на степень отличия оптимальных условий для обитания вида от типичных условий в пределах данного местообитания. Толерантность ниши – величина, обратная величине специализации: чем больше толерантность, тем меньше специализация. Остаточная толерантность указывает на роль случайных, нейтральных факторов и ошибки измерения. Такие виды, как *Staphylinus caesareus*, *Stratiomyidae sp.*, *Schizothuranius dmitriewi* характеризуются высокой маргинальностью и специализацией (низкой толерантностью). Следовательно, изучаемое местообитание для данных видов является весьма экстремальным, в пределах которого они занимают очень ограниченное число микростадий. Толерантными к условиям данного местообитания являются такие виды, как *Discus rudersatus*, *Brephulopsis cylindrica* и *Stratiomyidae sp.* Остаточная толерантность достаточно велика для ряда видов (для *Melolontha melolontha* – 90,2 %, для *Megaphyllum rossicum* – 89,9 %), что по-

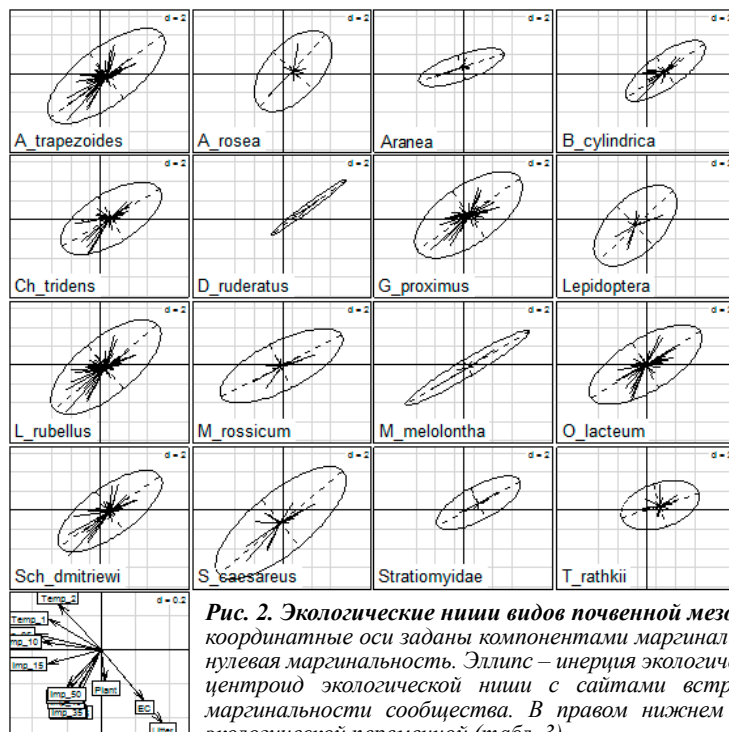


Рис. 2. Экологические ниши видов почвенной мезофауны:
координатные оси заданы компонентами маргинальности; начало координат – нулевая маргинальность. Эллипс – инерция экологической ниши. Лучи связывают центр оид экологической ниши с сайтами встречи вида в пространстве маргинальности сообщества. В правом нижнем углу – нормированный вес экологической переменной (табл. 3)

звolyает предполагать значительную роль в структурировании сообщества почвенной мезофауны факторов нейтральной природы.

Анализ данных свидетельствует о том, что ключевым аспектом структурирования экологической ниши почвенных животных является твердость почвы в слоях 0–5, ..., 15–20 см, мощность подстилки и электропроводность почвы (ось 1) – рис. 2. Важную роль играют твердость почвы на глубине 20–25, ..., 45–50 см, мощность подстилки и электропроводность почвы (ось 2). Полученная визуализация экологических ниш почвенных животных показывает, что практически все ниши вытеснены в зону меньшей твердости почвы на всех глубинах. Это подтверждает существенное экологическое воздействие твердости почвы на мезопедобионтов.

Установлено также, что 93,07 % общей вариации (общей инерции) описывают первые две оси RLQ (70,57 и 22,50 % соответственно). Процедура randtest подтвердила значимость результатов RLQ-анализа на p -уровне 0,05.

Оси RLQ являются интегральными оцен-

ками взаимосвязи между факторами окружающей среды (в нашем случае – эдафические характеристики, мощность подстилки и высота травостоя), структурой сообщества и его экоморфической организацией. В одном метрическом пространстве мы имеем возможность отобразить структуру сообщества (расположение видов мезопедобионтов), точки отбора проб (пространственная компонента с учетом того, что координаты точек отбора фиксировались), веса факторов среды и веса экоморфических характеристик почвенных животных (рис. 3).

Ось 1, выделенная в результате RLQ-анализа, характеризует значительную роль твердости почвы в структурировании сообщества мезопедобионтов на всех измеренных глубинах, начиная с глубины 10–15 см (табл. 1). Эта ось позитивно коррелирует наряду с твердостью почвы и её температурой, а негативно – с электропроводностью почвы и мощностью подстилки. Очевидно, что пространственная вариабельность влажности почвы в пределах участка приводит к наблю-

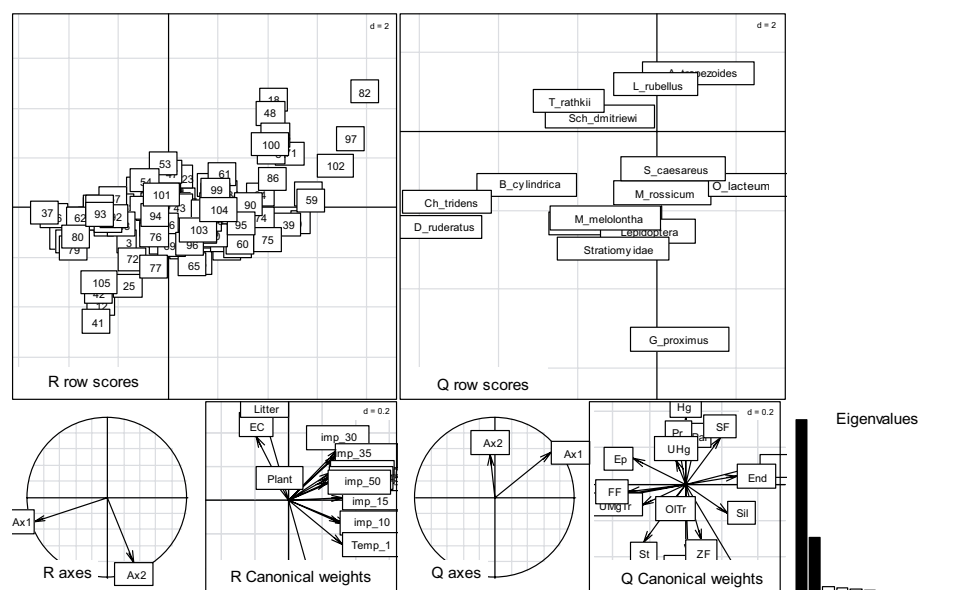


Рис. 3. Результаты анализа RLQ:

ось абсцисс – RLQ-ось 1, ось ординат – RLQ-ось 2; A – веса точек отбора проб (R-матрица) по RLQ-осям; B – веса видов (Q-матрица) по RLQ-осям; C – корреляция главных компонент 1 и 2, полученных на основе факторного анализа переменных среды и RLQ-осей; D – корреляция переменных среды и RLQ-осей; E – корреляция главных компонент 1 и 2, полученных на основе факторного анализа экоморф и RLQ-осей; F – корреляция экоморф и RLQ-осей; G – гистограмма собственных чисел

даемой взаимосвязи характеристик среды: с уменьшением влажности твердость закономерно увеличивается. Электропроводность является маркером влажности. Распределение влаги подчинено тем особенностям нанорельефа, которые оказывают влияние и на

перераспределение листовенной подстилки.

Ось 2 также отражает важную роль твердости как экологического фактора, однако с несколько иным характером взаимосвязи твердости, электропроводности почвы и мощности подстилки. Все эти показатели позитивно коррелированы.

RLQ-анализ позволил классифицировать животных по характеру их экологической структуры и связи с факторами окружающей среды. Кластерный анализ дал возможность выделить три комплекса видов, которые формируют функциональные группы A, B, C и D (рис. 4, 5). Центроид функциональной группы A наиболее близок к началу координат, то есть представители группы занимают наиболее типичные для участка сайты. Функциональная группа включает сапрофагов, которые являются гигро- и ультрагигрофильными пратантами и палюдантами.

Функциональная группа B разнообразна по числу составляющих её видов и по ширине занимаемого экологического ареала, что подтверждает относительные размеры

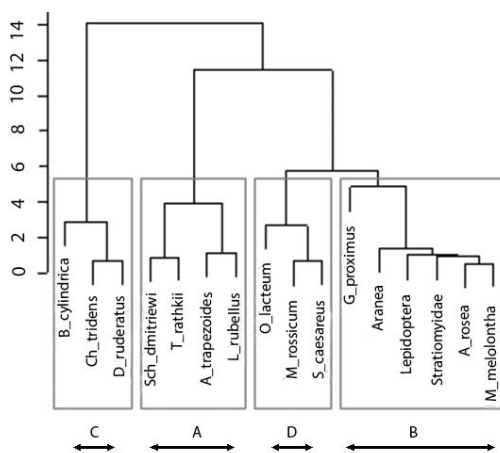


Рис. 4. Кластерный анализ структуры животного населения мезопедобионтов

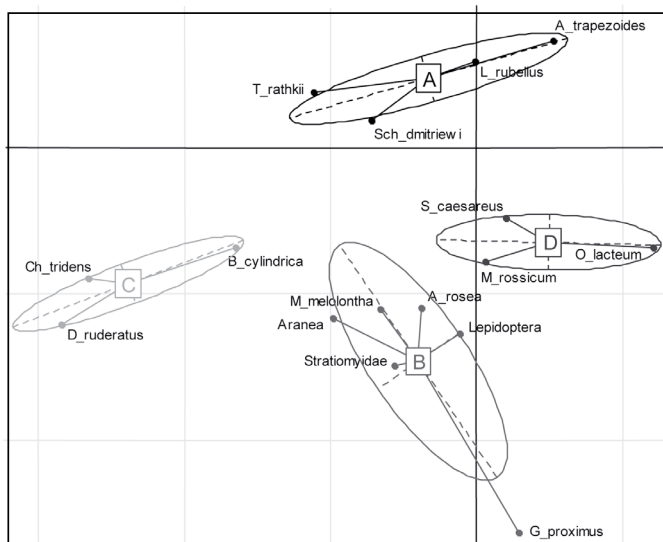


Рис. 5.
Расположение
функциональных групп
в пространстве RLQ-осей

эллипсоида, очерчивающего экологическую нишу группировки. Эта функциональная группа обозначает степной ценоморфический вектор структуры сообщества. Функциональная группа С включает только моллюсков, что обуславливает её эпигейный характер и преобладание фитофагов. Функциональная группа D разнородна по своему экологическому составу. Ключевым общим свойством её представителей является принадлежность к ценоморфе силвантов.

В изменчивости RLQ-оси 1 линейный тренд описывает 59,2 % дисперсии; в регрессионной модели, в которой предиктором выступают географические координаты, достоверными являются как ось абсцисс, так и ось ординат. (рис. 6). Линейный тренд обусловлен постепенным уменьшением твердости от участков, близких к тальвегу, к участкам, которые находятся на склоне балки. Склон балки практически

не испытал антропогенного воздействия при строительстве, тогда как в тальвеге балки производились активные работы по его засыпке строительным мусором, на котором был сформирован технозем. Фрагменты строительного мусора обладают значительной твердостью. Таким образом, RLQ-ось 1 маркирует трансформацию животного населения почвы в ответ на изменчивость твердости почвы.

Антропогенный характер создания почвы на изучаемом участке имеет несколько уровней гетерогенности, что обусловило существование изменчивости экологической обстановки для почвенных животных, отраженной в RLQ-оси 2, которая также связана с твердостью почвы. Линейный тренд не играет существенной роли в пространственной изменчивости оси (для регрессионной модели $R^2 = 0,01$). В большей степени можно рассматривать мозаичную организацию изменчивости значений RLQ-оси 2.

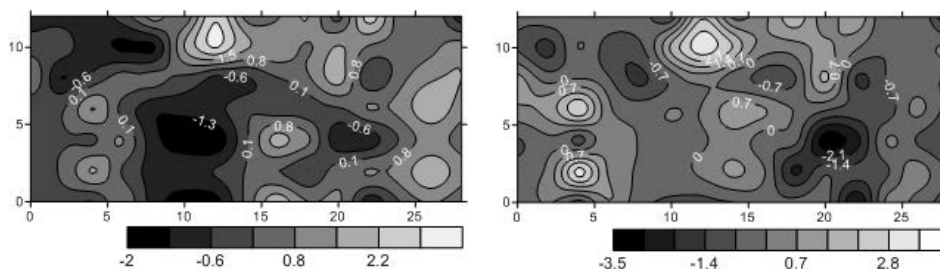


Рис. 6. Пространственная изменчивость RLQ-осей. Правая часть полигона ближе к тальвегу

Выводы

Таким образом, почвенная мезофауна характеризуется высокой степенью структурирования экологической ниши, которая охарактеризована с помощью выбранных в работе показателей – твердость и электропроводность почвы, высота травостоя и мощность подстилки. Характеристики экологической ниши мезопедобионтов свидетельствуют о том, что почвенные животные избегают тех участков технозема, где твердость почвы достигает высоких зна-

чений. Представители различных экологических групп по-разному реагируют на вертикальное распределение твердости почвы, что приводит к формированию обособленных функциональных групп. Эти группы могут быть содержательно интерпретированы с помощью экоморфического анализа. Ключевым аспектом дифференциации животного населения полигона является выделение подстилочного и собственно почвенного блоков.

Библиография

1. Бельгард А.Л. Лесная растительность юго-востока УССР / А.Л. Бельгард. – К.: Изд-во КГУ, 1950. – 263 с.
2. Бельгард А.Л. Степное лесоведение / А.Л. Бельгард. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 336 с.
3. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв / М.С. Гиляров. – М.: Наука, 1965. – 276 с.
4. Пространственная агроэкология и рекультивация земель: монография / [Демидов А.А., Кобец А.С., Грицан Ю.И., Жуков А.В.]. – Днепропетровск: Изд-во “Свидлер А.Л.”, 2013. – 560 с.
5. Жуков А.В. Пространственная изменчивость твердости педоземов / А.В. Жуков, Г.А. Задорожная // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького. – 2013. – № 1(7). – С. 34–49.
6. Жуков О.В. Екоморфичний аналіз консорцій ґрунтових тварин / О.В. Жуков. – Дніпропетровськ: Вид-во “Свідлер А.Л.”, – 2009. – 239 с.
7. Жуков О.В. Екоморфи Бельгарда–Акімова та екологічні матриці / О.В. Жуков // Екологія та ноосферологія. – 2010. – Т. 21, № 3–4. – С. 109–111.
8. Жуков А.В. Педотурбационная активность слепышей (*Spalax microphthalmus*) как фактор пространственной организации пауков (Aranei) / А.В. Жуков, О.Н. Кунах, Е.В. Прокопенко, Т.М. Коновалова // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011. – № 2. – С. 28–35.
9. Жуков О.В. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Дощові черв'яки (Lumbricidae): монографія / Жуков О.В., Пахомов О.С., Кунах О.М. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2007. – 371 с.
10. Жуков А.В. Пространственное размещение порохов слепышей (*Spalax microphthalmus*) и твердость почвы / А.В. Жуков, О.Н. Кунах, Т.П. Коновалова // Поволжский экологический журнал. – 2013. – № 1. – С. 3–15.
11. Задорожная Г.А. Пространственная организация дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах / Г.А. Задорожная, О.Н. Кунах, А.В. Жуков // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2012. – № 1(12). – С. 226–237.
12. Кабарь А.Н. Биолого-экологические свойства почвенного покрова ботанического сада Днепропетровского национального университета (становление, развитие, рациональное использование) / А.Н. Кабарь: дис. ... канд. биол. наук. – Днепропетровск, 2003. – 203 с.
13. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – М.: Геос, 2005. – 336 с.
14. Кунах О.Н. Экологический аспект твердости почвы в пристенной дубраве / О.Н. Кунах, А.А. Балдин // Вісник Дніпропетровського національного університету. – 2011. – Вип. 19, т. 1. – С. 65–74. – (Серія: Біологія. Екологія).
15. Кунах О.Н. Пространственное варьирование экоморфической структуры почвенной мезофауны урбозема / О.Н. Кунах, А.В. Жуков, Ю.А. Балюк // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. – 2013. – Т. 26(65), № 3. – С. 107–126. – (Серия: Биология, химия).
16. Кунах О.Н. Пространственная организация сообщества почвенных мезопедобионтов в условиях рекреационной нагрузки в лесопарковом насаждении / О.Н. Кунах, А.В. Жуков, Ю.А. Балюк // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького. – 2013. – Т. 3, № 3. – С. 274–286.
17. Мірзак О.В. Досвід дослідження ґрунтів великих промислових центрів степової зони України (на прикладі м. Дніпропетровськ) / О.В. Мірзак // Ґрунтознавство. – 2001. – Т.1, № 1–2. – С. 87–92.
18. Пространственная организация экологической ниши почвенной мезофауны урбозема / А.Е. Пахомов, О.Н. Кунах, А.В. Жуков, Ю.А. Балюк // Вісник Дніпропетровського національного університету. – 2013. – 21(1). – С. 51–57. – (Серія: Біологія. Екологія).
19. Тарасов В.В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біолого-екологічна характеристика видів / В.В. Тарасов. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2005. – 276 с.
20. Устойчивое развитие сложных экотехносистем / [В.И. Шемавнев, Н.А. Гордиенко, В.И. Дырда, В.О. Забалуев]. – М.: Днепропетровск, 2005. – 355 с.
21. Pennisi, B.V. 3 ways to measure medium EC / B.V. Pennisi, M. van Iersel // GMPPro. – 2002. – Vol. 22(1). – P. 46–48.
22. The R Foundation for Statistical Computing – 2010. R Version 2.12.1.

Рецензент – доктор биологических наук, профессор Ю.И. Грицан