

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*

*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./м<sup>2</sup>. В екологічній структурі тваринного населення ґрунту переважають протанти 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 мезопедобіонтов. 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 герпетобионтных 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 техноземных 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. Древостой 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 позволяет 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 пенетрометра 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 см<sup>2</sup>. 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	Ценогро-фоморфа	Топо-морфа	Трофо-морфа	Плотность, экз./м <sup>2</sup>
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 (Acardystus) 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 ruderratus</i> (W. Hartmann, 1821)	Sil	UHg	UMgTr	Ep	FF	1,83

\* **Ценоморфы:** St – степенанты, Pr – пратанты, Pal – паллоданты, Sil – сильванты; **гигроморфы:** Ks – ксерофилы, Ms – мезофилы, Hg – гигрофилы, UHg – ультрагигрофилы; **ценотрофоморфы:** MsTr – мезотрофоценоморфы; MgTr – мезатрофоценоморфы; UMgTr – ультрамезатрофоценоморфы; **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 OMI-анализов выполнены с помощью пакета ade4 для оболочки R [22]. Значимость RLQ оценена с помощью процедуры randtest.rlq. Сущность и особенности OMI-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./м<sup>2</sup>. 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 Aроггестода с. Tразезоиды – 73,45 экз./м<sup>2</sup>. 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 сильванты. 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./м<sup>2</sup>), многосвязы *Schizothuranius dmitriewi* (12,65 экз./м<sup>2</sup>) и мокрицы *Trachelipus rathkii* (4,88 экз./м<sup>2</sup>).

Хищные губоногие многоножки представлены землянкой *Geophilus proximus* (12,65 экз./м<sup>2</sup>); 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 сильвантов (рис. 1). Таким образом, ценоморфический облик животного населения изучаемого по-

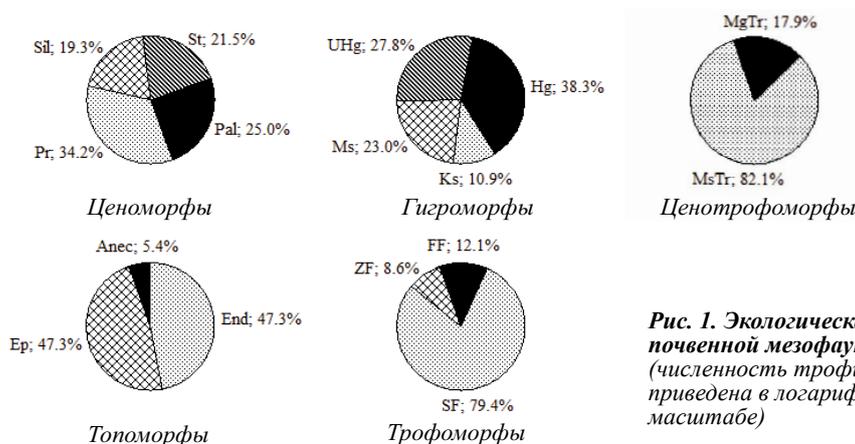


Рис. 1. Экологическая структура почвенной мезофауны (численность трофических групп приведена в логарифмическом масштабе)

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 %			
<i>Твердость почвы на глубине, МПа</i>						
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
<i>Физические свойства, мощность подстилки и высота травостоя</i>						
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 ruderatus</i>	D_ruderatus	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

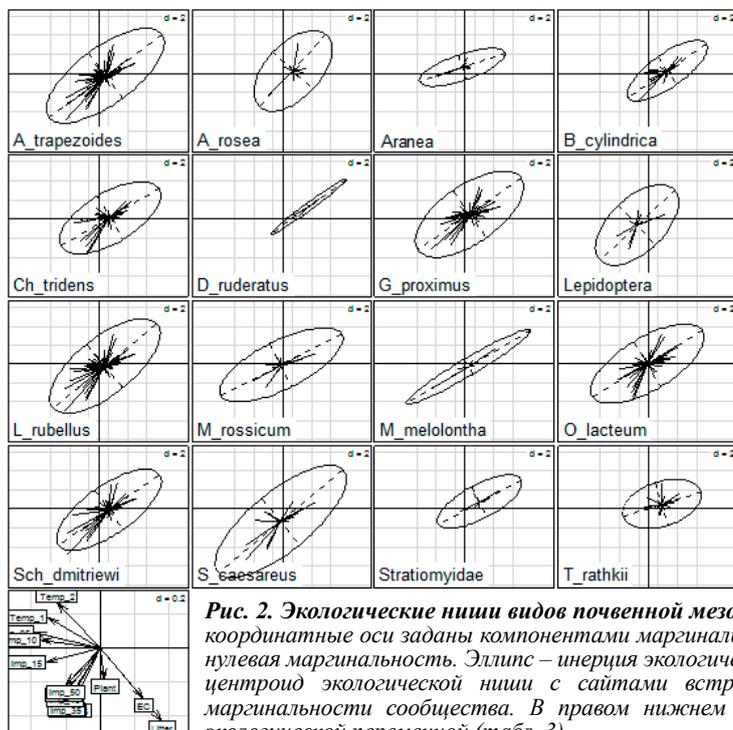
\* ОМІ – индекс средней удаленности (маргинальности) для каждого вида; Tol – толерантность, Rtol – остаточная толерантность; r-уровень – данные индексов (% от суммарной вариабельности); p-уровень по методу Монте-Карло после 25 итераций.

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 ruderatus*, *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 центроид экологической ниши с сайтами встречи вида в пространстве маргинальности сообщества. В правом нижнем углу – нормированный вес экологической переменной (табл. 3)

звояет 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-

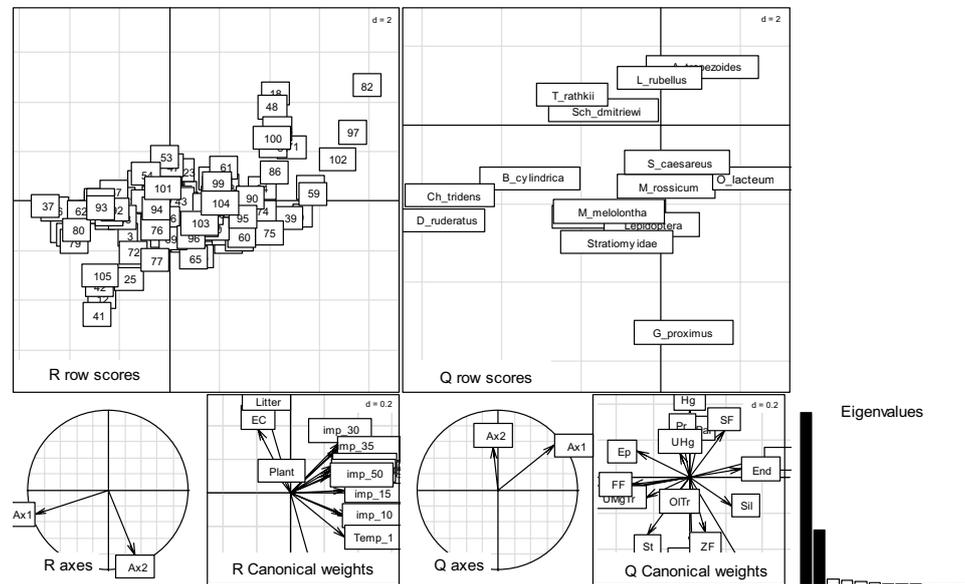


Рис. 3. Результаты анализа RLQ:

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 нагорельефа, 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.

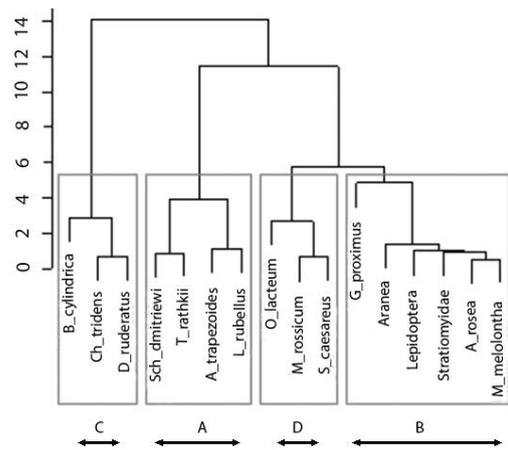


Рис. 4. Кластерный анализ структуры животного населения мезопедобионтов

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 А, В, С и D (рис. 4, 5). Центроид функциональной группы А наиболее близок к началу координат, то есть представители группы занимают наиболее типичные для участка сайты. Функциональная группа включает сапрофагов, которые являются гигро- и ультрагигрофильными протантами и палюдантами.

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

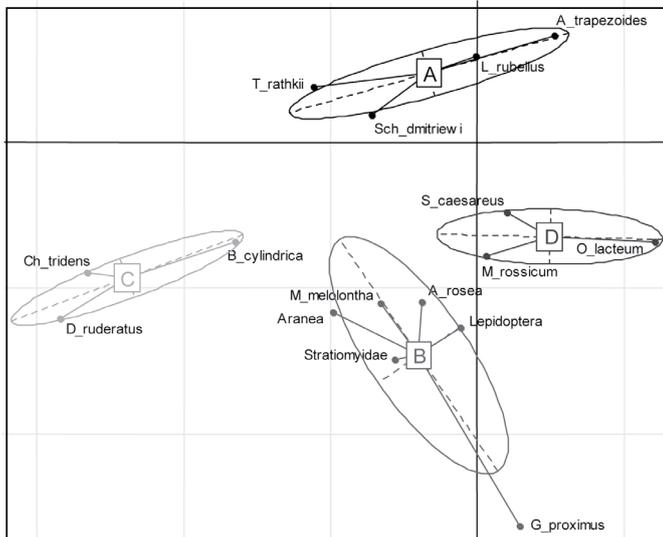


Рис. 5.  
Расположение  
функциональных групп  
в пространстве RLQ-осей

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.

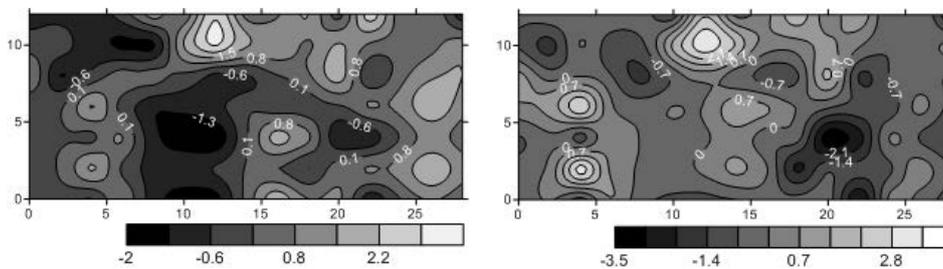


Рис. 6. Пространственная изменчивость RLQ-осей. Правая часть полигона ближе к тальвегу

**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. Экоморфичний аналіз консорцій ґрунтових тварин / О.В. Жуков. – Дніпропетровськ: Вид-во “Свідлер А.Л.”. – 2009. – 239 с.
7. Жуков О.В. Экоморфи 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. Дошові 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 пороев 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 Днепропетров-

- ского 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 урбазема / 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 // GMPro. – 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