

# ПРОСТОРОВА АГРОЕКОЛОГІЯ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.618:633.2.031  
© 2011

**А.В. ЖУКОВ,**  
доктор биологических наук

**О.Н. КУНАХ,  
Е.В. ПРОКОПЕНКО,**  
кандидаты биологических наук

**Т.М. КОНОВАЛОВА,**  
аспирант

Днепропетровский  
госагроуниверситет–  
Днепропетровский  
национальный университет  
им. Олеса Гончара–Донецкий  
национальный университет

*Установлено, що педотурбаційна активність сліпаків значно впливає на екологічну структуру угруповання навуків. Поблизу порий чисельність і різноманіття угруповань навуків знижується. Ординація угруповання навуків показала, що найтолерантнішими до педотурбаційної активності є навуки *Meioneta rurestris* і *Harpactea azovensis*. PCNM-аналіз підтвердив, що угруповання навуків демонструє закономірні просторові структури.*

Часть почвенного покрова, которая испытывает на себе влияние почвенных ходов и напочвенных выбросов роющих млекопитающих, предложено обозначить как фодересферу [3]. Очевидно, что экологическое пространство фодересферы не ограничивается рамками системы ходов и пороев землероев. Масштаб фодересферы определяется длительным периодом затухания последствий активного воздействия, которым является педотурбационная деятельность почвенных млекопитающих. Показан комплексный характер влияния роющей активности слепышей (*Spalax microphthalmus*) на электропроводность, целлюлозолитическую активность и твердость почвы, структуру сообществ почвенной мезофауны [3–7].

Пространственные структуры, наблюдаемые в экологических сообществах, могут возникать как результат двух не-

ПЕДОТУРБАЦИОННАЯ  
АКТИВНОСТЬ СЛЕПЫШЕЙ  
(*SPALAX MICROPHTHALMUS*)  
КАК ФАКТОР  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ  
ОРГАНИЗАЦИИ СООБЩЕСТВ  
ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ  
ПАУКОВ (ARANEI)

зависимых процессов [10, 13]. Факторы окружающей среды, влияющие на распределение видов, обычно пространственно структурированы, поэтому сообщества имеют также пространственную структуру. Такая структура называется индуцированной пространственной зависимостью [12]. Пространственная автокорреляция может возникать непосредственно на уровне сообщества как результат таких процессов, как рост, дифференциальная смертность, распространение семян, конкурентная динамика. В большинстве случаев пространственная гетерогенность сообществ является результатом этих двух типов пространственной зависимости. Разделение вариации может быть использовано для выяснения важности этих источников пространственной структуры [11].

Пространственная компонента изменчивости может быть описана с помощью

## ПРОСТОРОВА АГРОЕКОЛОГІЯ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ

Педотурбационная активность слепышей (*Spilax microphthalmus*) как фактор пространственной организации сообществ герпетобионтных пауков (*Aranei*)

полиномиальных функций от пространственных координат [1, 15]. Однако использование трендовых поверхностей имеет ряд недостатков, что существенно ограничивает возможность их широкого использования [12]. Альтернативой анализу трендовых поверхностей предложен метод главных координат матриц соседства (*principal coordinates of neighbour matrices* – PCNM) [9, 11, 12]. При этом методе на основании матрицы мер расстояний между изучаемыми объектами генерируется множество пространственных паттернов, которые используются как пространственные предикторы в регрессионном анализе или канонических анализах [12].

**Целью** работы является выявить характер пространственной организации многовидового сообщества герпетобионтных пауков (*Aranei*) степной целины и проверить гипотезу о структурирующем воздействии педотурбационной активности слепышей на комплекс пауков в экологическом и пространственном аспектах.

**Материал и методы исследования.** Эколого-фаунистический аспект полученных результатов изложен в работе Е.В. Прокопенко и А.В. Жукова [8], в которой приведены полные латинские названия видов пауков.

Материал собран на участке степной целины байрака Яцев Яр (48°19' с.ш., 35°11' в.д., окрестности с. Первое Мая, Днепропетровский р-н). Участок был разделен на 100 соприкасающихся ячеек размером 1 м, стороны образовавшегося квадрата были ориентированы по направлениям восток–запад и север–юг. По углам ячеек установлены почвенные ловушки Барбера (стеклянные банки емкостью 0,5 л, в качестве фиксатора использовался 1%-ный формалин): по 11 в направлении восток–запад и по 10 – в направлении север–юг. Всего экспонировалось 110 ловушек в период с 4 по 24 мая 2010 г. Общая экспозиция составила 2200 ловушко-суток. Поскольку был использован только один метод сбора, дальнейший анализ будет касаться исключительно населения пауков герпетобия.

Всего было собрано 585 экз. пауков (503 из них – половозрелые).

Разнообразие сообщества пауков оценено с помощью индекса разнообразия Шеннона:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2 p_i,$$

где  $p_i$  – доля  $i$ -го вида в сообществе;  $N$  – общее число видов.

В пределах экспериментального полигона было зафиксировано расположение пороев. На карту нанесены центры пороев, а также измерены диаметры и высота пороев, что позволило вычислить объем почвенной массы, вынесенной на поверхность почвы слепышами [4].

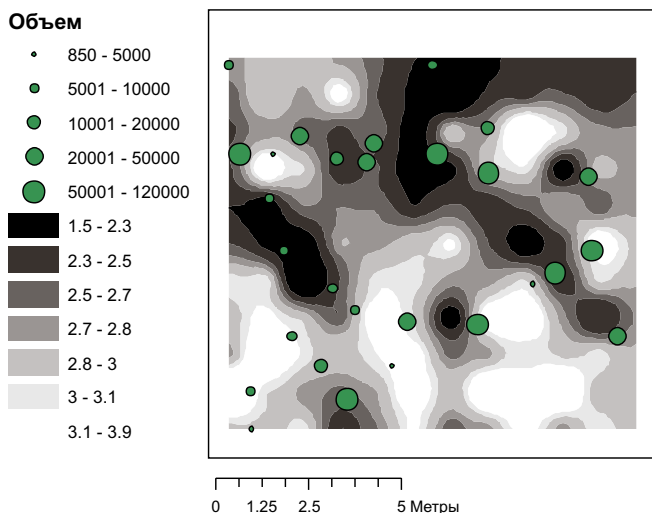
Твердость почв измеряли в полевых условиях с помощью ручного пенетрометра Eijkelkamp на глубину до 50 см с интервалом 5 см. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет  $\pm 8$  %. Для измерения использовали конус с поперечным сечением 1 см<sup>2</sup>. В пределах каждой ячейки твердость почвы измеряли в однократной повторности.

Электропроводность почвы *in situ* измерена с помощью сенсора HI 76305 (Hanna Instruments, Woodsocket, R.I.), который работает совместно с портативным прибором HI 993310. Тестер оценивает общую электропроводность почвы, т.е. объединенную проводимость почвенного воздуха, воды и частиц. Результаты измерений прибора представлены 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.

Трофическую активность почвенных животных определяли с помощью метода приманочных пластинок (*bait-lamina test*), предложенного Э. Тёрне [14].

Содержание гумуса определено по методу Тюрина.

Агрегатную структуру почвы определяли с помощью сухого просеивания в систе-



*Рис. 1. Расположение пороев слепышей и пространственная изменчивость разнообразия сообщества пауков на степном участке. Радиус кругов, которые обозначают порою, пропорционален объему выброса ( $\text{см}^3$ ). Разнообразию – индекс Шеннона, бит/экз.*

ме сит [1]. Было установлено соотношение веса (% от суммарного количества) таких фракций, как агрегаты размером менее 0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–3, 3–5, 5–7, 7–10 и более 10 мм.

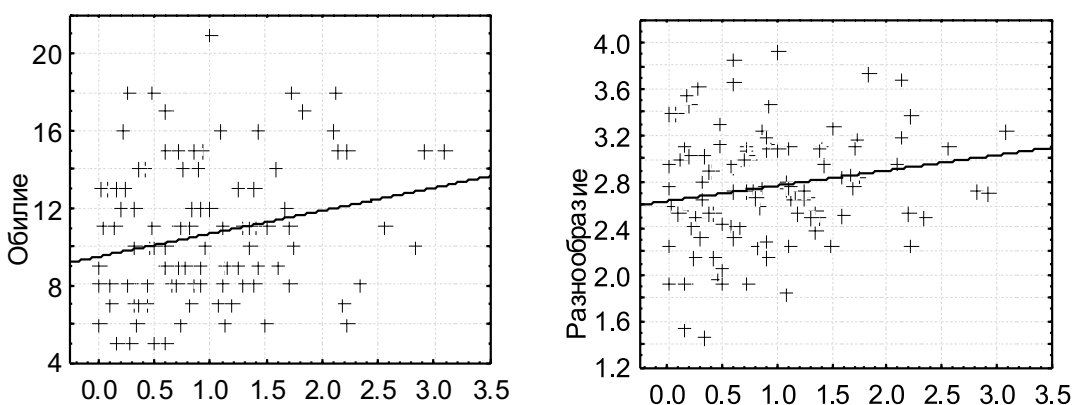
В каждой ячейке полигона определяли общее проективное покрытие травостоя по визуальной шкале с градациями 0, 10, ..., 90, 100 % [2].

Статистические расчеты проведены с помощью программы Statistica 7.0, двумерное картографирование и оценка геостатистических показателей – с использованием программы Surfer 8.0.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Плотность пороев на исследуемом участке составляет 0,26 экз./ $\text{м}^2$ . Объем выброшенного на поверхность почвы в виде пороев материала составляет 6907,19  $\text{см}^3/\text{м}^2$ .

Анализ рис. 1 позволяет предположить, что между разнообразием сообщества пауков и педотурбационной активностью слепышей существует связь: высокая плотность пороев приводит к снижению разнообразия животного населения герпетобионтных пауков. Корреляционный анализ подтвердил это предположение (рис. 2).

Как разнообразие, так и обилие со-



*Рис. 2. Взаимосвязь между дистанцией от центроида пороя (ось абсцисс, м) и обилием (слева, динамическая плотность, экз./20 ловушко-суток) и разнообразием (индекс Шеннона, бит/экз.)*

## ПРОСТОРОВА АГРОЕКОЛОГІЯ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ

*Педотурбационная активность слепышей (Spilax microrhthalmus) как фактор пространственной организации сообществ герпетобийных пауков (Aranei)*

обществ пауков позитивно коррелируют с дистанцией от центроида пороев ( $r = 0,23$ ;  $p = 0,02$  и  $r = 0,19$ ;  $p = 0,04$  соответственно). Это свидетельствует о том, что зона пороев

представляет собой специфическую среду обитания, к условиям которой могут приспособиться не все виды пауков, представленные в изучаемом степном участке.

### 1. Факторный анализ экологических свойств полигона (представлены факторные нагрузки, превышающие 0,3 по модулю)

Экологическое свойство	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
Бейт-лампа тест						0,77
Активность, %/10 суток			0,70			
ЕС			0,86			
Покрытие, %			-0,68			
Объем выбросов, м <sup>3</sup>		-0,42	0,48			0,48
Дистанция			-0,55			-0,64
Гумус, %			-0,70			-0,41
<b>Твердость почвы на глубине, МПа</b>						
0–5 см					0,84	
5–10 см	0,39				0,81	
10–15 см	0,64				0,53	
15–20 см	0,74				0,34	
20–25 см	0,90					
25–30 см	0,94					
30–35 см	0,96					
35–40 см	0,94					
40–45 см	0,89					
45–50 см	0,83					
<b>Агрегатная структура почвы на глубине 0–10 см</b>						
>10 мм		0,71		-0,55		
7–10 мм		0,80				
5–7 мм		0,79		0,35		
3–5 мм				0,88		
2–3 мм		-0,60		0,51		
1–2 мм		-0,87				
0,5–1 мм		-0,88				
0,25–0,5 мм		-0,92				
<0,25 мм		-0,92				
Объясненная вариабельность	6,23	5,80	2,97	1,64	1,93	1,76
Доля от суммы	0,24	0,22	0,11	0,06	0,07	0,07

## ПРОСТОРОВА АГРОЕКОЛОГІЯ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ

*Педотурбационная активность слепышей (Spalax microphthalmus) как фактор пространственной организации сообществ герпетобионтных пауков (Aranei)*

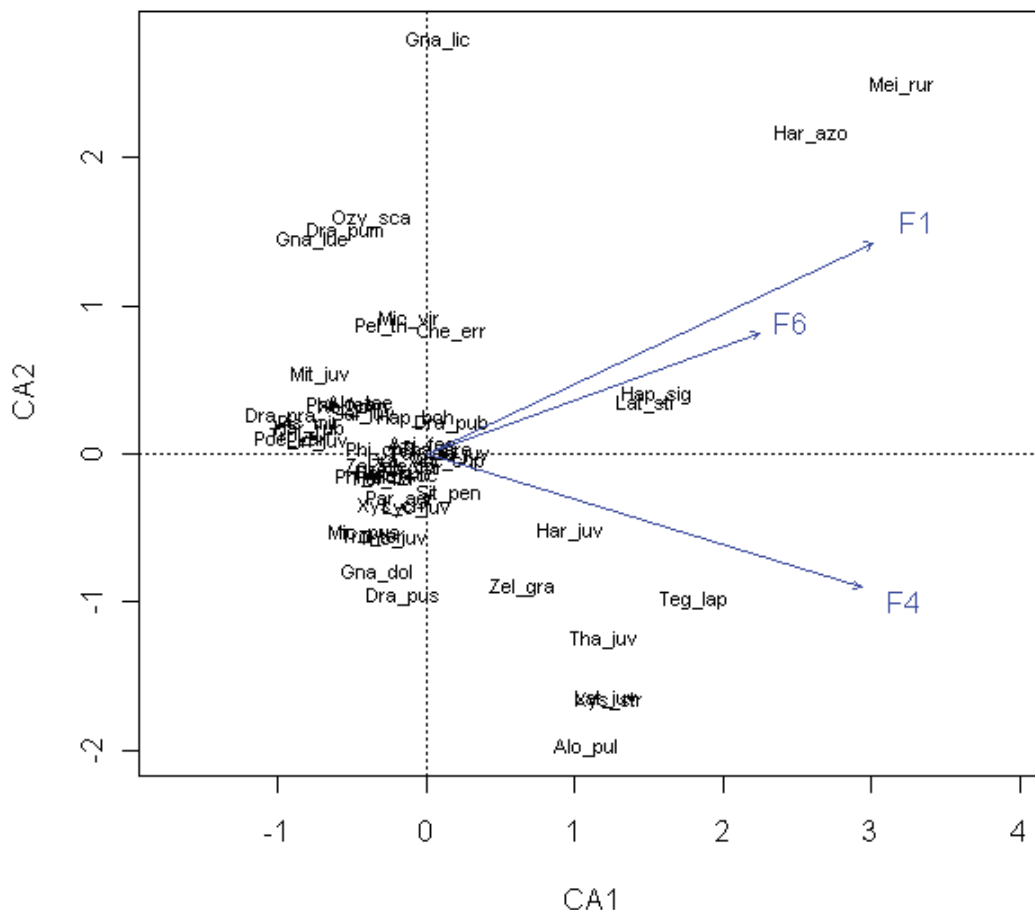
Многомерный факторный анализ (результаты после варимакс-вращения) позволил выявить структуру характеристик экологического пространства сообщества пауков (табл. 1).

Можно выделить 6 факторов, собственные числа которых превышают 1. Фактор 1 описывает твердость почвенного покрова; фактор 2 – изменчивость агрегатной структуры почвы, которая возникает в связи с педотурбационной активностью слепышей; фактор 3 отражает эффекты педотурбационной активности: снижение проективного покрытия растительности и увеличение электропроводности и целлюлолитической активности почвы; фактор

4 – соотношение глыбистой (>10 мм) и части агрономически ценной (2–7 мм) агрегатных фракций; фактор 5 – вариабельность твердости почвы на глубине 0–20 см; фактор 6 – увеличение трофической активности почвенных животных и снижение содержания гумуса в почве выбросов слепышей.

Необходимо отметить также, что факторы являются величинами, у которых минимизировано негативное влияние мультиколлинеарности, т.к. приведенное факторное решение является результатом косоугольного варимакс-вращения, то факторы не являются ортогональными.

Ординация сообщества пауков с по-



*Рис. 3. Анализ соответствий сообщества пауков степного участка (факторы, р-уровень достоверности влияния которых на структуру сообщества менее 0,05)*

## ПРОСТОРОВА АГРОЕКОЛОГІЯ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ

Педотурбационная активность слепышей (*Spilax microphthalmus*) как фактор пространственной организации сообществ герпетобионтных пауков (*Aranei*)

мощью анализа соответствий позволила выявить структуру сообщества и ведущие структурообразующие факторы (рис. 3). К их числу относятся факторы 1, 4 и 6, которые маркируют различные аспекты педотурбационного влияния слепышей на почвенный покров и растительность. Как видно из ординационной диаграммы, только 11 видов пауков из 52, обнаруженных на участке, проявляют некоторую степень толерантности к почвенным выбросам слепышей. Наиболее толерантными к

педотурбационной активности являются *Meioneta rurestris* и *Harpactea azovensis*.

При PCNM-анализе создаются пространственные переменные, которые отражают структурные особенности расположения изучаемых объектов на различных масштабных уровнях. PCNM-переменные ранжированы в порядке увеличения частот пространственных паттернов, которые они описывают. Эти переменные тестируются на предмет статистической значимости для описания пространственного размещения

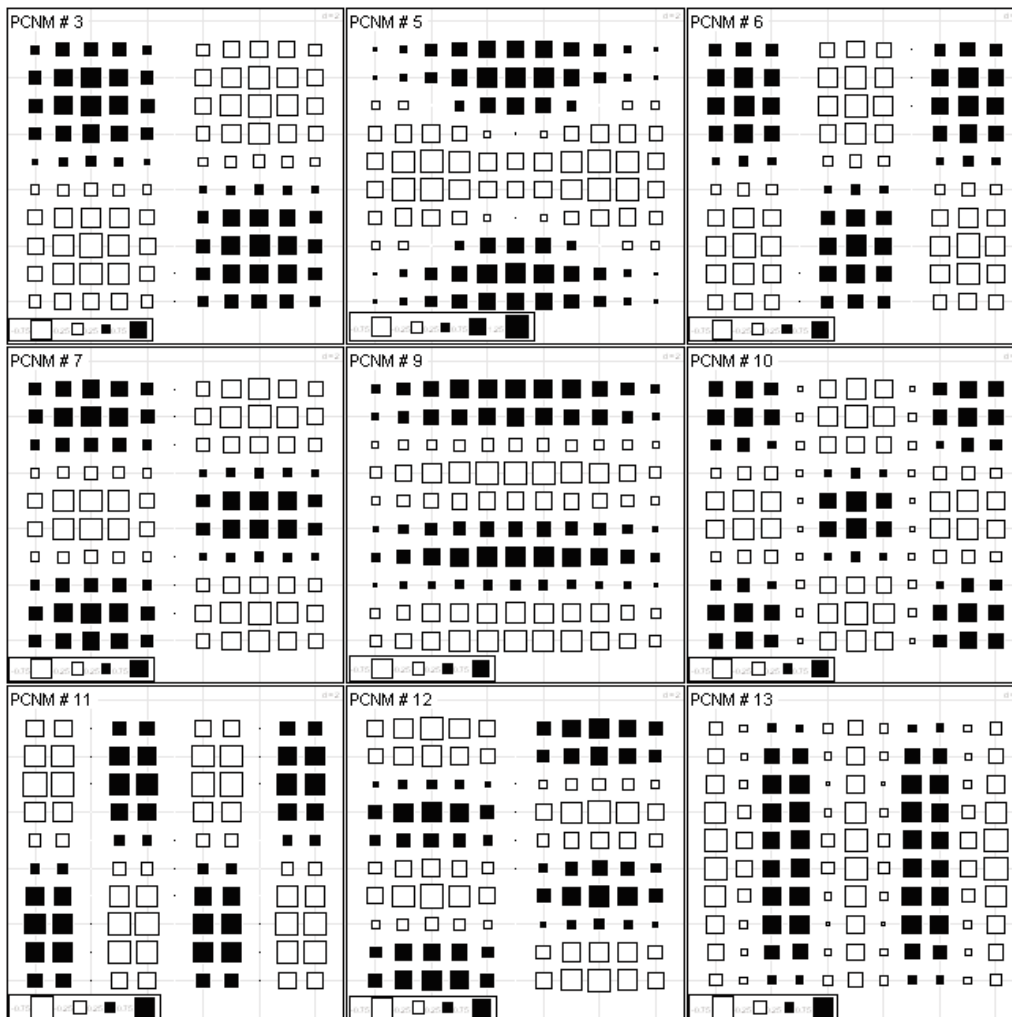


Рис. 4. PCNM-переменные 3, 5–7, 9–13

## ПРОСТОРОВА АГРОЕКОЛОГІЯ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ

Педотурбационная активность слепышей (*Spilax microphthalmus*) как фактор пространственной организации сообществ герпетобионтных пауков (*Aranei*)

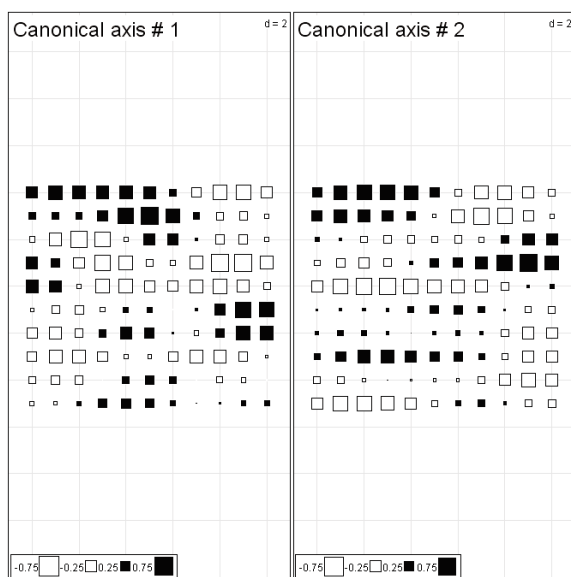


Рис. 5. Пространственное размещение канонических осей

сообщества животных, что даёт возможность выделить несколько наиболее важных PCNM-переменных. В нашем случае это 24 переменных: 3, 5–7, 9–13, 15, 17, 18, 21, 22, 24, 25, 32, 34, 38, 40, 43, 48, 53, 54 (рис. 4). Значимые PCNM-переменные можно использовать в анализе соответствий с данными о видовом составе и численности сообщества пауков, что позволит выявить наиболее существенные паттерны пространственной изменчивости комплекса пауков (рис. 5).

характерные паттерны пространственной изменчивости сообщества пауков и экологических условий, которые выражаются в интегральной форме с помощью факторных весов, полученных в результате многомерного факторного анализа (табл. 2).

Каноническая ось 1 статистически достоверно зависит от фактора 6 (дистанция от выбросов, трофическая активность почвенных животных, снижение количества гумуса в почве в результате выбросов на поверхность почвы из менее гумусированных

### 2. Регрессионный анализ зависимости канонических осей от экологических факторов

Переменные	CA1, R <sup>2</sup> = 0,14		CA2, R <sup>2</sup> = 0,21	
	коэффициент	p-уровень	коэффициент	p-уровень
F1	0,01	0,21	<b>-0,03</b>	<b>0,00</b>
F2	-0,01	0,20	-0,01	0,21
F3	-0,01	0,62	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>
F4	0,02	0,15	<b>-0,02</b>	<b>0,04</b>
F5	-0,01	0,18	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>
F6	<b>0,03*</b>	<b>0,00</b>	-0,01	0,59

\*Жирным шрифтом отмечены значимые регрессионные коэффициенты

С помощью регрессионного анализа можно установить связь между каноническими осями, которые отражают наиболее

почвенных горизонтов). Каноническая ось 2 испытывает влияние комплекса факторов – 1, 3–5.

### Выводы

1. Педотурбационная активность слепышей является важным фактором, который влияет на экологическую структуру сообщества пауков. Вблизи пороев обилие и разнообразие сообщества пауков снижается. Наиболее толерантными к педотурбационной активности являются пауки *Meioneta rurestris* и *Harpactea azovensis*.

2. Сообщество пауков демонстрирует

закономерные пространственные структуры, которые выявлены с помощью PCNM-анализа.

3. Изменения почвенного и растительно-го покрова в результате роющей деятельности слепышей приводят к структурированию пространственной организации сообществ герпетобионтных пауков.

### Библиография

1. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

2. Воронов А.Г. Геоботаника / А.Г. Воронов. – М.: Высшая школа, 1973. – 384 с.

3. Жуков А.В. Фодересфера слепышей (*Spalax microphthalmus*) / А.В. Жуков, О.Н. Кунах, Т.П. Коновалова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – Донецк: ДонНУ, 2010. – Вып. 10, № 1 – С. 105–123.

4. Коновалова Т.М. Оценка педотурбационной активности слепыша на участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью / Т.М. Коновалова // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2010. – № 2. – С. 30–33.

5. Кунах О.Н. Влияние педотурбационной активности слепыша (*Spalax microphthalmus*) на целлюлозолитическую активность и электрическую проводимость почвы / О.Н. Кунах, Т.М. Коновалова, Е.В. Прокопенко // Вісник Донецького національного університету. Сер. А: Природничі науки. – 2011. – № 11. – С. 151–155.

6. Пахомов А.Е. ГИС-подход для оценки изменчивости электропроводности почвы под влиянием педотурбационной активности слепыша (*Spalax microphthalmus*) / А.Е. Пахомов, Т.М. Коновалова, А.В. Жуков // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2010. – Вып. 18, т. 1. – С. 58–66.

7. Пространственная организация системы пороев слепыша *Spalax microphthalmus* / А.Е. Пахомов, О.Н. Кунах, Т.М. Коновалова, А.В. Жуков // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2010. – Вып. 2(21). – С. 106–117.

8. Прокопенко О.В. Структура населения пауков (*Aranei*) степовой цілини в урочищі Яцев Яр (Дніпропетровська область) / О.В. Прокопенко, О.В. Жуков // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – Донецк: ДонНУ, 2010. – Вып. 10, № 1. – С. 151–157.

9. Borcard D. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices / D. Borcard, P. Legendre // Ecological Modelling. – 2002. – Vol. 153. – P. 51–68.

10. Borcard D. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (*Acari, Oribatei*) / D. Borcard, P. Legendre // Environmental and Ecological Statistics. – 1994. – Vol. 1. – P. 37–61.

11. Borcard D. Partialling out the spatial component of ecological variation / D. Borcard, P. Legendre, P. Drapeau // Ecology. – 1992. – Vol. 73. – P. 1045–1055.

12. Dray S. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbours matrices (PCNM) / S. Dray, P. Legendre, P. Peres-Neto // Ecological Modelling. – 2006. – Vol. 196. – P. 483–493.

13. Legendre P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? / P. Legendre // Ecology. – 1993. – Vol. 74. – P. 1659–1673.

14. Törne E. Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-tests / E. Törne // Pedobiologia. – 1990. – Vol. 34. – P. 89–101.

15. Wartenberg D. Canonical trend surface analysis: a method for describing geographic pattern / D. Wartenberg // Syst. Zool. – 1985. – Vol. 34. – P. 259–279.