

УДК 595.4

© Е. В. Прокопенко, А. В. Жуков

**РАЗНООБРАЗИЕ ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ,
НАРУШЕННЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ**

¹Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: helen_procop@mail.ru

²Днепропетровский государственный аграрный университет
49600, г. Днепропетровск, ул. Ворошилова, 25; e-mail: zhukov_dnepr@rambler.ru

Прокопенко Е. В., Жуков А. В. Разнообразие герпетобионтных беспозвоночных на экспериментальном участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью. – Исследованы таксономический состав, видовое разнообразие, динамическая плотность животного населения герпетобия участков рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью. Проведены кластерный анализ и ординация сообществ исследованных техноземов.

Ключевые слова: герпетобионты, структура животного населения, техноземы, рекультивация.

Введение

Более полувека в Днепропетровской области осуществляется интенсивное изучение проблемы рекультивации земель, нарушенных горными разработками [9]. Причем в степени изученности различных компонентов биогеоценозов наблюдается существенный дисбаланс. Значительное внимание уделено вопросам почвообразования [3], формированию растительного покрова [1, 2, 5, 7], биологической активности почв [4, 8] рекультивируемых территорий. Разработаны вопросы формирования и функционирования агроэкосистем на рекультивированных землях степной зоны Украины в контексте взаимосвязи эдафических свойств и развития культурных растений [6]. С другой стороны, население беспозвоночных герпетобионтов ранее не исследовалось.

Материалы и методы исследования

Сбор материала проводился на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрного университета в г. Орджоникидзе. Экспериментальный участок по изучению оптимальных режимов рекультивации был создан в период с 1968 по 1970 гг. Участок занимает часть искусственного плато, созданного на месте карьера по добыче марганцевой руды. На плато находятся различные типы техноземов: педоземы (на техническую смесь глин нанесен слой чернозема мощностью 75-80 см), дерново-литогенные почвы на лессовидных суглинках, серо-зеленых и красно-бурых глинах. На склоне южной экспозиции находится искусственное лесное насаждение акации белой и грецкого ореха на дерново-литогенных лесоулучшенных техноземах.

Ловушки Барбера были установлены на экспериментальном участке в период с 10 июня по 5 июля 2009 г. (с промежуточной выемкой материала 22 июня). В каждом биогеоценозе разместили по 3 ловушки, которые располагались на вершинах равностороннего треугольника с длиной ребра 3 м [10, 12]. В качестве ловушек применяли стеклянные емкости объемом 0,5 л с диаметром отверстия 7,5 см, заполненные на 1/5 1% раствором формальдегида.

Растительный покров на экспериментальном участке был представлен двумя основными ассоциациями: злаковой с преобладанием костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) и бобовой, представленной донником желтым (*Melilotus officinalis* (L.) Desr.) [4, 5]. После длительного периода произрастания на территории экспериментального участка культурной злаково-бобовой травосмеси (1995-2003 гг.) начался период самозаращения. Всего на участке установлен 31 вид травянистых растений [1].

На каждом типе техноземов были выбраны участки с двумя характерными растительными ассоциациями (4 типа техноземов × 2 ассоциации = 8 комбинаций). В

искусственном лесном насаждении пробы отобраны в верхней, средней и нижней трети склона.

Статистические расчеты проведены с помощью программной среды R-2.12.1 for Windows с применением библиотеки vegan [11].

Результаты и обсуждение

В исследованных техногенных ценозах зарегистрированы представители 5 классов и 8 отрядов герпетобионтных беспозвоночных (муравьи не учитывались): класс Arachnida (отряды Aranei и Opiliones), класс Diplopoda (отряд Julidae), класс Insecta-Ectognatha (отряды Coleoptera и Lepidoptera), класс Malacostraca (отряд Isopoda), класс Gastropoda (отряды Cochlicoridae и Hygromiidae). В различных растительных ассоциациях отмечено от 3 до 5 классов (табл. 1). Максимальным числом классов характеризуется верхняя треть акациевого насаждения (рис. 1, 2).

На всех участках рекультивации встречаются жуки, пауки и кивсяки. Распространение брюхоногих моллюсков ограничено кострецово-ассоциацией на педоземе и верхней третью склона акациевого лесонасаждения. Мокрицы отмечены в лесонасаждении и кострецовых ассоциациях на лессовидных суглинках и красно-бурых глинах.

Р. Уиттекер [15] впервые предложил разделить разнообразие на альфа, бета и гамма компоненты для характеристики различных его аспектов. Альфа разнообразие (α) обычно измеряется как число видов в пределах отдельной пробной площади, тогда как гамма разнообразие (γ) представляет совокупное число видов в пределах определенного географического пространства. Бета разнообразие (β) представляет собой отношение видового богатства всей территории к среднему значению числа видов в пределах отдельной пробной площади.

В целом на исследованной территории α -разнообразие составляет 81 вид герпетобионтных беспозвоночных (см. табл. 1). Наибольшее видовое богатство демонстрируют Insecta (51 вид) и Arachnida (25 видов). Другие классы значительно уступают насекомым и паукообразным: Diplopoda и Gastropoda включают по 2 вида, Malacostraca – 1 вид.

Максимальным числом видов характеризуются красно-бурые глины – 41 вид, искусственное лесонасаждение – 38 видов, дерново-литогенные почвы на лессовидном суглинке – 36 видов. На насыпном слое чернозема – 27 видов, на серо-зеленых глинах отмечено 27 видов.

Видовое богатство тесно коррелирует с индексом разнообразия Шеннона ($r = 0,62$; $p = 0,002$) и альфой Фишера ($r = 0,87$; $p = 0,000$). Индексы разнообразия Варвика-Кларка учитывают в количественной оценке разнообразия сложность таксономического древа видов, составляющих сообщество, и отражают различные его аспекты. Индекс Δ является генерализацией индекса Симпсона, который содержит элементы таксономического характера; индекс Δ^* является мерой таксономического различия видов, составляющих сообщество; индекс $\Delta+$ является средним таксономическим различием (средняя длина ветвей в таксономическом древе сообщества, нормированная к 100); индекс $\Delta+$ является дисперсией этих длин [13, 14]. Индексы таксономического разнообразия достоверно не различаются между сообществами по типам почв.

Среднее таксономическое различие статистически достоверно различается в сообществах с различным типом растительного покрова ($F = 6,28$; $p = 0,01$): сообщество донника желтого характеризуется наибольшим таксономическим разнообразием герпетобионтов, а кострец безостый – наименьшим; искусственное лесное насаждение занимает промежуточное положение.

Таблиця 1

Таксономическая структура животного населения рекультивируемых земель (экспериментальный участок ДГАУ, г. Орджоникидзе)
(приведена динамическая численность в экз./10 ловушко-суток за период 10 июня – 5 июля 2009 г.)

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный			
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Акациевое насаждение и орешник			
									Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть	
Arachnida, Aranei, Agelenidae												
<i>Agelena labyrinthica</i> (Clerck, 1757)	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	
Gnaphosidae												
<i>Drassodes pubescens</i> (Thorell, 1856)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,3	
<i>Drassodes lapidosus</i> (Walckenaer, 1802)	–	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Gnaphosa lucifuga</i> (Walckenaer, 1802)	–	0,7	0,8	1,5	–	0,3	4	1,3	–	–	–	
Gnaphosidae gen. sp., juv	0,3	0,3	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Trachyzelotes malkini</i> (Platnik et Murphy, 1984)	–	0,3	–	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–	
<i>Zelotes caucasicus</i> (L. Koch, 1866)	–	–	–	0,3	–	–	–	0,5	–	–	–	
<i>Zelotes longipes</i> (L. Koch, 1866)	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	
Linyphiidae												
<i>Diplocephalus picinus</i> (Blackwall, 1841)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Ipa terrenus</i> (L. Koch, 1879)	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	
Liocranidae												
<i>Phrurolithus pullatus</i> Kulczynski in Chyzer et Kulczynski, 1897	–	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Lycosidae												
<i>Alopecosa cursor</i> (Hahn, 1831)	–	–	0,8	0,3	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Alopecosa pulverulenta</i> (Clerck, 1757)	–	–	–	–	–	0,3	–	–	0,3	0,3	–	
<i>Alopecosa taeniopus</i> Kulczynski, 1895	–	–	0,7	–	–	–	–	–	–	–	–	
Lycosidae gen. sp., juv	–	0,3	0,3	0,3	0,3	–	–	1,4	0,5	0,3	–	
<i>Pardosa agrestis</i> (Westring, 1861)	–	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–	–	–	
<i>Trochosa terricola</i> (Thorell, 1856)	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Trochosa robusta</i> (Simon, 1876)	0,3	0,6	–	2,2	1,5	0,8	1,4	1	1,2	0,7	–	

Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11).

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный			
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Акациевое насаждение и орешник			
									Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть	
<i>Trochosa ruricola</i> (De Geer, 1778)	–	–	1,8	0,3	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Trochosa</i> sp., juv	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	0,3	
<i>Xerolycosa miniata</i> (C.L. Koch, 1834)	0,7	0,3	0,9	0,5	2,4	–	–	–	0,3	0,3	–	
Salticidae												
<i>Aelurillus v-insignitus</i> (Clerck, 1758)	–	–	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–	–	
Salticidae gen. sp., juv	–	–	–	–	–	0,3	–	0,3	–	–	–	
<i>Talavera petrensis</i> (C. L. Koch, 1837)	–	–	–	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–	
Theridiidae												
<i>Steatoda phalerata</i> (Panzer, 1801)	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Thomisidae												
<i>Xysticus britcheri</i> Gertsch, 1934	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	
<i>Xysticus kochi</i> Thorell, 1872	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Xysticus luctator</i> L. Koch, 1870	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	
Opiliones, Phalangiidae												
<i>Opilio saxatilis</i> C.L.Koch, 1839	0,4	–	–	–	0,3	2,1	–	0,8	–	0,3	0,5	
<i>Opilio</i> sp., juv	–	0,3	0,3	–	–	1	–	1,3	–	–	–	
Diplopoda, Julidae												
<i>Megaphyllum kievense</i> (Lohmander, 1928)	–	–	–	–	–	0,3	0,4	–	1,1	0,7	4	
<i>Rossiulus kessleri</i> (Lohmander, 1927)	2,2	3,2	2,4	9,5	17,4	14,2	4,4	2,6	1,1	0,7	9,6	
Gastropoda, Cochlicopidae												
<i>Cochlicopa lubrica</i> (O.F. Muller, 1774)	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	
Hygromiidae												
<i>Euomphalia strigella</i> (Draparnaud, 1801)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	
Insecta, Anobiidae												
<i>Ptilinus fuscus</i> Fourcroy, 1785	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	
Carabidae												
<i>Amara (Amara) aenea</i> (De Geer, 1774)	–	–	–	–	–	–	–	0,5	–	–	–	

Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11).

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный		
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Акациевое насаждение и орешник		
									Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть
<i>Amara (Amara) similata</i> (Gyllenhal, 1810)	–	–	–	–	0,3	0,3	–	–	0,3	–	0,3
<i>Brachinus (Brachinus) crepitans</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–
<i>Broscus cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	0,3	0,5	0,6	–	–	–
<i>Calathus (Calathus) fuscipes</i> (Goeze, 1777)	3,3	–	–	–	0,3	0,9	–	–	1,8	3,9	0,5
<i>Calathus (Neocalathus) melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	0,3	0,3	0,8	–	–	0,5	0,4	–
<i>Chlaenius (Chlaeniellus) tristis</i> (Schaller, 1783)	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) affinis</i> (Schrank, 1781)	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) distinguendus</i> (Duftschmid, 1812)	–	0,3	–	–	0,3	–	–	0,3	0,3	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) latus</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) modestus</i> Dejean, 1829	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) picipennis</i> (Duftschmid, 1812)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) serripes</i> (Quensel, 1806)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) servus</i> (Duftschmid, 1812)	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Harpalus (Harpalus) subcylindricus</i> Dejean, 1829	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–
<i>Harpalus (Pseudoophonus) griseus</i> (Panzer, 1797)	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–
<i>Harpalus (Pseudoophonus) rufipes</i> (De Geer, 1774)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,5
<i>Leistus (Leistus) ferrugineus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	–
<i>Ophonus (Hesperophonus) azureus</i> (Fabricius, 1775)	–	–	0,3	–	–	–	–	–	0,3	0,8	0,3
<i>Poecilus (Macropoecilus) sericeus</i> Fischer von Waldheim, 1824	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	0,3
<i>Poecilus (Poecilus) versicolor</i> (Sturm, 1824)	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–
<i>Zabrus (Pelor) spinipes</i> (Fabricius, 1798)	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	0,3	3,6
<i>Zabrus (Zabrus) tenebrioides</i> (Goeze, 1777)	–	0,3	0,6	0,3	0,3	0,8	0,3	–	–	–	0,3
Cerambycidae											
<i>Dorcadion holosericeum</i> Krynicky, 1832	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	0,3	–
<i>Pedestredorcadion pedestre</i> (Poda, 1761)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8	–	–
<i>Pedestredorcadion pusillum</i> (Kuster, 1847)	–	0,3	–	–	–	1,2	–	–	–	–	–

Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11).

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный			
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Акациевое насаждение и орешник			
									Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть	
Cetoniidae, <i>Cetonia aurata</i> (Linnaeus, 1761)												
Chrysomelidae, Chrysomelidae sp.	–	–	–	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–	–
Coccinellidae												
<i>Coccinella (Coccinella) septempunctata</i> Linnaeus, 1758	–	–	–	–	1,3	–	–	–	–	–	–	–
Curculionidae, Curculionidae sp.	–	–	0,3	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–	–
Dermestidae												
<i>Dermestes (Dermestinus) lanarius</i> Illiger, 1801	3,5	2	1,1	0,4	1,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,1
Dynastidae, <i>Pentodon idiota</i> (Herbst, 1789)	–	0,3	0,3	–	0,6	–	0,6	0,6	0,3	0,3	–	–
Histeridae, <i>Hister quadrimaculatus</i> Linnaeus, 1758	–	0,3	–	–	–	0,3	–	0,3	–	–	–	0,3
Lucanidae, <i>Dorcus parallelipedus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–
Meloidae, <i>Lytta (Lytta) vesicatoria</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Silphidae												
<i>Nicrophorus (Nicrophorus) vestigator</i> (Herschel, 1807)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–
<i>Silpha (Silpha) carinata</i> Herbst, 1783	–	0,3	–	0,5	–	0,3	–	–	1,1	1,3	3,3	–
<i>Silpha obscura</i> Linnaeus, 1758	4,1	1,5	0,4	1	3,1	2,2	1,9	0,5	4	5	9,1	–
<i>Silpha tyrolensis</i> Laicharting, 1781	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	0,6	1,4	–
Staphilinidae												
<i>Ocyopus (Goerius) ophthalmicus</i> (Scopoli, 1763)	–	–	–	–	–	0,7	–	–	–	–	–	–
<i>Pedinus femoralis</i> (Linnaeus, 1767)	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–
<i>Staphylinus erythropterus</i> Linnaeus, 1758	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tenebrionidae												
<i>Asida lutosa</i> Solier, 1836	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,5	–	–
<i>Blaps halophila</i> Fischer, 1822	–	–	0,5	0,7	0,3	–	0,5	0,5	0,3	–	–	0,5
<i>Blaps lethifera</i> Marsham, 1802	–	0,3	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–	–	–
<i>Crypticus quisquilius</i> (Linnaeus 1761)	–	0,8	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–	–
<i>Gnaptor spinimanus</i> (Pallas, 1781)	–	–	–	–	–	–	0,5	–	–	0,8	0,5	–
<i>Gonocephalum granulatum pusillum</i> (Fabricius, 1791)	1	0,8	1,5	–	0,3	–	–	1,2	0,5	0,3	–	–

Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11).

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный		
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Акациевое насаждение и орешник		
									Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть
<i>Opatrum sabulosum</i> (Linnaeus, 1761)	–	1,5	0,8	0,3	2,5	1,1	–	0,5	0,7	0,3	–
Noctuidae , Noctuidae sp. sp.	0,7	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Malacostraca, Trachelipodidae											
<i>Trachelipus rathkii</i> (Brandt, 1833)	–	0,3	–	–	–	0,5	–	–	0,7	0,3	0,3

Показатели разнообразия населения герпетобиионтов на участке рекультивации

Растительность, участок профиля	Срок учета	<i>Sp</i>	<i>H</i>	<i>Alpha</i>	<i>Δ</i>	<i>Δ*</i>	<i>Δ+</i>	<i>Δ+</i>
Лёссовидный суглинок								
Донник желтый	1	9	2,28	3,67	55,12	79,62	472,12	80,17
	2	15	3,00	5,64	58,86	69,50	528,23	74,61
Кострец безостый	1	30	3,96	15,90	59,93	66,08	511,68	66,88
	2	11	2,32	4,02	49,77	69,61	623,30	58,82
Серо-зеленые мергелистые глины								
Донник желтый	1	17	3,47	7,57	58,97	66,41	457,98	68,98
	2	11	3,05	5,78	65,85	75,58	499,82	72,64
Кострец безостый	1	9	1,21	2,62	16,19	45,39	363,21	62,07
	2	15	3,49	9,65	60,53	66,21	423,75	64,41
Смесь красно-бурых глин и суглинков								
Донник желтый	1	21	2,33	6,94	29,77	49,74	432,47	63,82
	2	14	2,32	4,67	50,80	73,11	665,13	70,13
Кострец безостый	1	17	2,29	6,16	28,66	48,71	575,70	61,98
	2	22	3,03	8,39	47,94	62,27	452,03	61,68
Педозём (насыпной слой чернозёма на технической смеси глин)								
Донник желтый	1	12	2,69	4,69	53,37	67,59	422,15	62,36
	2	10	2,27	3,35	47,34	64,61	426,56	64,10
Кострец безостый	1	21	3,87	10,76	55,31	59,82	572,08	61,50
	2	14	3,41	7,83	57,87	63,91	629,34	61,75
Дерново-литогенные лесоулучшенные почвы								
Склон, верхняя треть	1	21	3,61	9,97	59,28	67,40	464,69	65,50
	2	16	2,61	6,23	49,97	69,78	688,52	68,79
Склон, средняя треть	1	25	3,31	10,10	56,38	68,54	503,48	67,73
	2	19	2,54	6,88	47,07	67,65	593,65	68,02
Склон, нижняя треть	1	15	2,64	3,70	55,45	70,34	476,08	63,75
	2	16	2,01	4,86	36,12	62,38	414,57	66,67

Примечание. *Sp* – число видов; *H* – индекс разнообразия Шеннона; *Alpha* – альфа Фишера; *Δ* – индекс таксономического разнообразия Варвика-Кларка; *Δ** – индекс таксономического различия Варвика-Кларка; *Δ+* – дисперсия парных длин таксономической связи; *Φ* – среднее таксономическое различие (нормированное к 100).

Наиболее известный индекс β -разнообразия основывается на отношении общего числа видов в коллекции сайтов, т. е. выборки (*S*), к среднему видовому богатству на одном сайте (α) (Whittaker, 1960):

$$\beta = S / \alpha - 1.$$

Вычитание единицы приводит к тому, что нулевое значение β достигается при отсутствии фаунистической гетерогенности между сайтами. В рассматриваемом случае $\beta = 4,32$, что свидетельствует о некотором уровне различия видового состава между сайтами, представленными различными комбинациями типов техноземов и растительного покрова. Приведенный индекс β -разнообразия имеет статистический недостаток: число видов *S* возрастает с увеличением числа сайтов даже тогда, когда все сборы делаются из одной однородной выборки.

Альтернативой является индекс, который основывается на модели Аррениуса «число видов-площадь»:

$$S = c X^z,$$

где X – площадь, c , z – параметры. Параметр z является мерой β -разнообразия. Среднее значение этого показателя в нашем случае равно 0,69. Квантили равны: 0% – 0,24; 25% – 0,64; 50% – 0,70; 75% – 0,76; 100% – 0,87.

Индекс β -разнообразия имеет важное значение для понимания природы видового разнообразия изучаемого участка. Важно понять степень гетерогенности таксономической структуры и, прежде всего, видового разнообразия. Критерием отличия однородной структуры от закономерно изменяющейся в пределах градиента окружающей среды является значение z : если этот индекс меньше 0,3, то речь идет о выборке из одного сообщества [11]; в противном случае мы имеем выборку из гетерогенной структуры. В нашем случае речь идет не об одном, а о нескольких сообществах, которые обмениваются видами между собой, так как среднее значение $z = 0,69$ значительно превышает пороговый уровень.

Бета-разнообразие группы пробных площадей, сформированных по некоторому признаку (например, тип почвы или тип растительной ассоциации), может быть представлено как среднее расстояние от пробной площади до центра группы. При этом центр определяется в пространстве главных координат выбранной меры различия (в нашем случае – z -параметр) (рис. 1). Как видно из приведенных рисунков, тип почвы является существенным фактором, структурирующим животное население. Сообщества лесоулучшенных дерново-литогенных почв и лессовидных суглинков характеризуются значительной обособленностью. Однородную группировку представляют герпетобионты педоземов и дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах. Герпетобий дерново-литогенных почв на лёссах выполняет интегрирующую функцию, так как занимает промежуточное положение между остальными группировками. Растительный покров оказывает гораздо меньшее структурирующее воздействие, чем тип почвенного покрова. Животное население травянистых сообществ характеризуется значительным сходством. Напротив, сообщество искусственного лесного насаждения значительно отличается от последних. Герпетобий злаковой ассоциации костреца безостого выполняет интегрирующую функцию.

Для того, чтобы оценить статистическую достоверность влияния типа технозема и растительного покрова на структуру сообществ герпетобионтов, был проведен пермутационный множественный анализ вариации на основе матрицы расстояний (табл. 3). Установлено, что тип почвы и растительная ассоциация, а также взаимодействие между этими факторами статистически достоверно влияют на β -разнообразие комплекса герпетобионтов участка рекультивации.

Однако следует отметить, что рассматриваемые факторы и их взаимодействие определяют лишь 31 % изменчивости матрицы расстояний между сообществами герпетобионтов. Остаток дисперсии 69 % можно рассматривать как результат взаимного проникновения обособленных компонентов герпетобия.

Средняя динамическая плотность герпетобионтных беспозвоночных на исследованных участках рекультивации составляет 22,3 экз. на 10 лов.-сут. Максимальной динамической плотностью характеризовались следующие биотопы: нижняя треть склона в акациевом насаждении (37,6 экз. на 10 лов.-сут.), донниковая ассоциация на красно-бурых глинах (35,9 экз. на 10 лов.-сут.) и кострецовая ассоциация на красно-бурых глинах (31,1 экз. на 10 лов.-сут.). Низкими значениями динамической плотности отличаются донниковые ассоциации на серо-зеленых глинах (14,4 экз. на 10 лов.-сут.) и травянистые сообщества на педоземе (от 15,7 до 16,3 экз. на 10 лов.-сут.). Различия динамической плотности герпетобионтных беспозвоночных достоверно отличаются по типам техноземов ($F = 3,72$; $p = 0,02$) и по типам растительности ($F = 3,51$; $p = 0,05$).

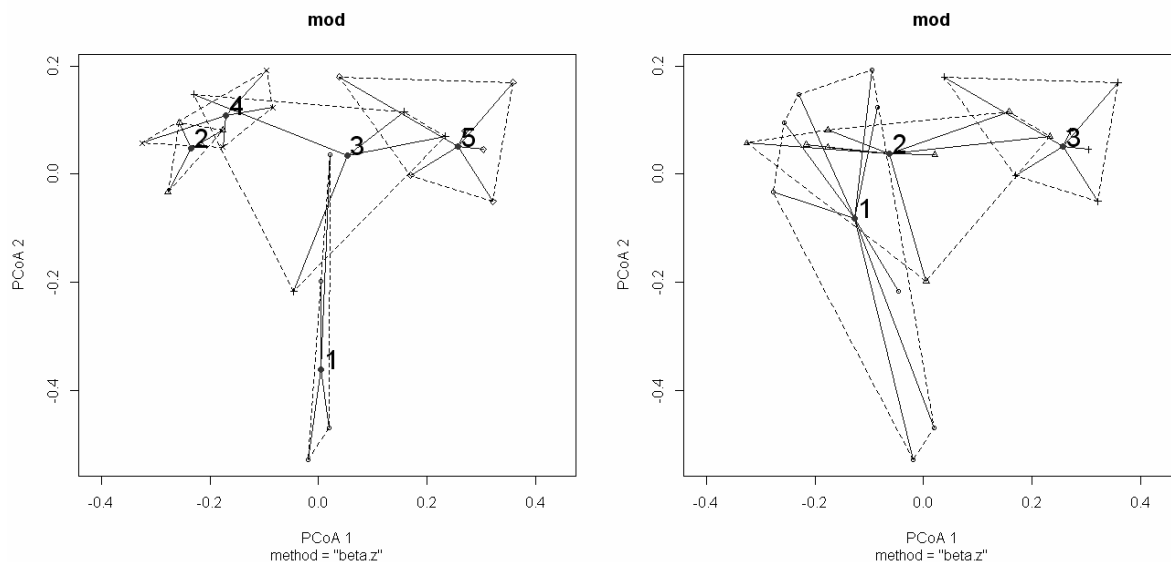


Рис. 1. Структура β -разнообразия сообществ герпетобионтов экспериментального участка.

Условные обозначения: слева – разбиение по типу почвы: 1 – лёссовидный суглинок; 2 – серо-зеленые мергелистые глины; 3 – смесь красно-бурых глин и суглинков; 4 – педозём; 5 – дерново-литогенные лесоулучшенные почвы; справа – разбиение по типу травостоя: 1 – ассоциация донника желтого; 2 – ассоциация костреца безостого; 3 – искусственное лесное насаждение (орех грецкий и акация белая).

Таблица 3

Пермутационный множественный анализ вариации на основе матрицы расстояний между сообществами герпетобионтов

Фактор	Степени свободы	Сумма квадратов	Средняя сумма квадратов	F-статистика	R ²	p-уровень
Растительная ассоциация	1	0,63	0,63	3,21	0,12	0,01
Почва	1	0,43	0,43	2,20	0,08	0,01
Ассоциация: почва	1	0,52	0,52	2,67	0,10	0,01
Остаток	18	3,51	0,19	-	0,69	-
Всего	21	5,08	-	-	1,00	-

Примечание. Ассоциация: почва – взаимодействие типа растительной ассоциации и типа технозема

На рис. 2 представлен результат анализа компонент изменчивости синэкологических характеристик населения герпетобионтов участка рекультивации (факториальный дизайн второй степени; метод ожидаемого среднего квадрата).

Из данных, приведенных на рисунке, следует, что для большинства синэкологических характеристик тип растительности является ведущим фактором изменчивости. Для дисперсии таксономических расстояний (1+) важную роль играет участок профиля и взаимодействие факторов «почва» и «растительность». Для параметров численности особое значение имеет тип почвы и участок профиля.

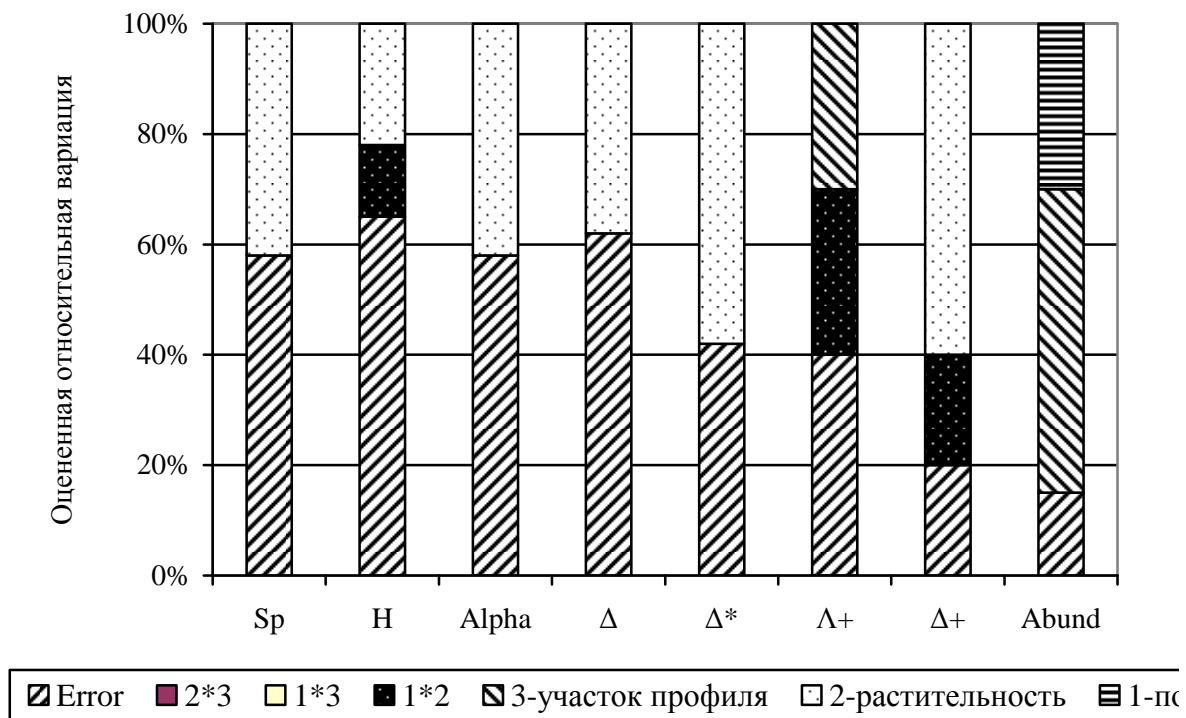


Рис. 2. Компоненты вариации синэкологических характеристик герпетобионтного населения.

Условные обозначения: см. табл. 2; Abund – обилие; Error – ошибка, т. е. необъясненная дисперсия в рамках выбранной системы предикторов; 1*2, 1*3, 2*3 – влияние взаимодействия предикторов (1 – тип почвы; 2 – тип растительности; 3 – участок геоморфологического профиля).

В большинстве исследованных ценозов наиболее обильны пауки, диплоподы и жуки (рис. 3, 4). Только в донниковой ассоциации на педоземе уровень численности пауков немного превышает остальные группы. На других участках рекультивации пауки значительно (например, в лесонасаждении) или незначительно (донник на серо-зеленых глинах) уступают жукам и (или) диплоподам. В костречевой ассоциации на серо-зеленых глинах, донниковой и костречевой на красно-бурых глинах доминируют диплоподы. Характерно, что наиболее выровненные соотношения трех основных групп герпетобионтных беспозвоночных складываются на педоземах – не выражено резкого преобладания ни одного из выявленных таксонов. Наиболее контрастно соотношение пауков, жуков и диплопод в верхней и средней трети лесонасаждения и донниковой ассоциации на лессовидных суглинках.

Кластерный анализ структуры населения герпетобионтных беспозвоночных позволил выделить 8 наиболее различных группировок (рис. 5). Ординация сообщества герпетобионтов с помощью анализа соответствий и расположение группировок в пространстве канонических осей дают возможность выявить природу этих группировок (рис. 6).

Ординация четко дифференцирует население на две компоненты: виды, связанные с искусственным лесным насаждением, и виды открытых пространств. Последние дифференцируются на комплекс видов, связанных с растительной формацией донника желтого и наиболее часто встречающиеся на дерново-литогенных почвах на лессах и серо-зеленных глинах, с одной стороны, и комплекс видов, связанный с кострцом и дерново-литогенными почвами на красно-бурых глинах и педоземами с насыпным слоем чернозема, с другой.

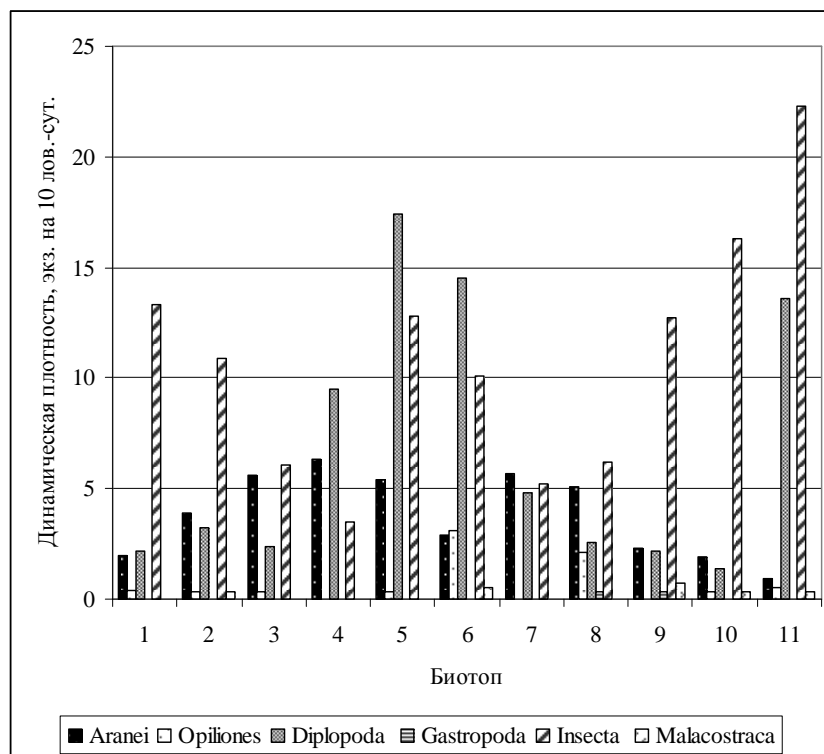


Рис. 3. Динамическая плотность герпетобионтных беспозвоночных на участках рекультивации.

Условные обозначения: 1 – донник на лессовидном суглинке, 2 – костреч на лессовидном суглинке, 3 – донник на серо-зеленых глинах, 4 – костреч на серо-зеленых глинах, 5 – донник на красно-бурых глинах, 6 – костреч на красно-бурых глинах, 7 – донник на педоземе, 8 – костреч на педоземе, 9 – верхняя треть склона акациевого лесонасаждения, 10 – средняя треть склона акациевого лесонасаждения, 11 – нижняя треть склона акациевого лесонасаждения.

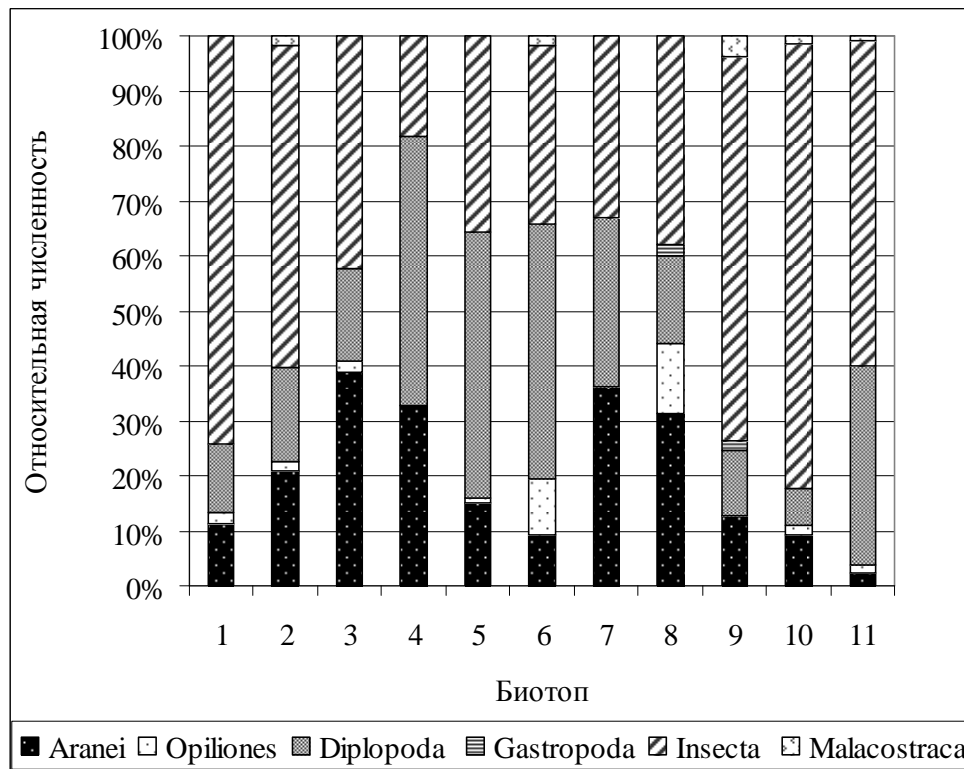


Рис. 4. Структура населения герпетобионтных беспозвоночных на участках рекультивации (условные обозначения, как на рис. 3).

С искусственным лесным насаждением связаны кластеры 2 и 7, которые отличаются предпочтением различных участков склона. В верхней и средней частях склона преимущественно встречаются представители кластера 2. Эта группировка представлена 13 видами: Arachnida – *Drassodes pubescens*; Insecta – *Calathus fuscipes*, *Harpalus rufipes*, *Leistus ferrugineus*, *Ophonus azureus*, *Poecilus sericeus*, *Cetonia aurata*, *Dorcus parallelipedus*, *Nicrophorus vestigator*, *Silpha carinata*, *S. obscura*, *S. tyrolensis*, *Asida lutosa*. Представители кластера 7 предпочитают нижнюю треть откоса искусственного насаждения и представлены 14 видами: Arachnida – *Alopecosa pulverulenta*, *Xysticus luctator*; Diplopoda – *Megaphyllum kievense*; Gastropoda – *Euomphalia strigella*; Insecta – *Amara similata*, *Calathus melanocephalus*, *Harpalus modestus*, *Harpalus picipennis*, *Zabrus spinipes*, *Dorcadion holosericeum*, *Pedestredorcadion pedestre*, *Hister quadrimaculatus*, *Gnaptor spinimanus*; Malacostraca – *Trachelipus rathkii*.

Дифференциация животного населения в лесном насаждении на два кластера происходит ввиду различий гидротермического режима различных участков склона, что подтверждается особенностями комплексов животных. Так, в состав кластера 7 (нижняя треть склона) входят относительно влаголюбивые виды – мокрицы *T. rathkii* и моллюски *E. strigella*, а также мезофильные виды пауков – *A. pulverulenta* и *X. luctator*.

Общим для дерново-литогенных почв на лесах и серо-зеленых глинах является комплекс видов, соответствующий кластеру 8. В его состав входят 5 видов: Arachnida – *Alopecosa taeniopus*, *Trochosa ruricola*, *Steatoda phalerata*, *Xysticus kochi*; Insecta – Noctuidae gen. sp. (larv.). Индикатором дерново-литогенных почв на лесах является кластер 5, представленный 6 видами: Arachnida – *Phrurolithus pullatus*, *Xerolycosa miniata*; Insecta – *Chlaenius tristis*, *Harpalus affinis*, *Harpalus servus*, *Dermestes lanarius*. Индикатором дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах следует рассматривать кластер 3, представленный 10 видами: Arachnida – *Drassodes lapidosus*; *Diplocephalus picinus*; *Alopecosa cursor*, *Pardosa agrestis*; Insecta – *Harpalus latus*, *H. serripes*, *Lytta vesicatoria*, *Staphylinus erythropterus*, *Blaps lethifera*, *Gonocephalum pusillum*. Три указанных кластера тяготеют к участкам, где преобладает формация донника желтого.

Педоземы с насыпным слоем чернозема и дерново-литогенные почвы на красно-бурых глинах индицируются по группе видов, соответствующих кластеру 6. Этот кластер включает 8 видов беспозвоночных: Arachnida – *Zelotes caucasicus*, *Ipa terrenus*, *Talavera petrensis*, *Xysticus britcheri*; Gastropoda – *Cochlicopa lubrica*; Insecta – *Amara aenea*, *Harpalus subcylindricus*, *Pedinus femoralis*. С педоземами связан кластер 4, состоящий из 16 видов: Arachnida – *Gnaphosa lucifuga*, *Trachyzelotes malkini*, *Zelotes longipes*, *Trochosa robusta*, *Opilio saxatilis*; Diplopoda – *Rossiulus kessleri*; Insecta – *Ptilinus fuscus*, *Brachinus crepitans*, *Harpalus distinguendus*, *Zabrus tenebrioides*, *Coccinella septempunctata*, Curculionidae gen. sp., *Pentodon idiota*, *Blaps halophila*, *Crypticus quisquilius*, *Opatrum sabulosum*.

С дерново-литогенными почвами на красно-бурых глинах связан комплекс видов, представленный кластером 1. Этот кластер включает 10 видов: Arachnida – *Agelena labyrinthica*, *Trochosa terricola*, *Xerolycosa nemoralis*, *Aelurillus v-insignitus*; Insecta – *Broscus cephalotes*, *Harpalus griseus*, *Poecilus versicolor*, *Pedestredorcadion pusillum*, Chrysomelidae gen. sp., *Ocyopus ophthalmicus*.

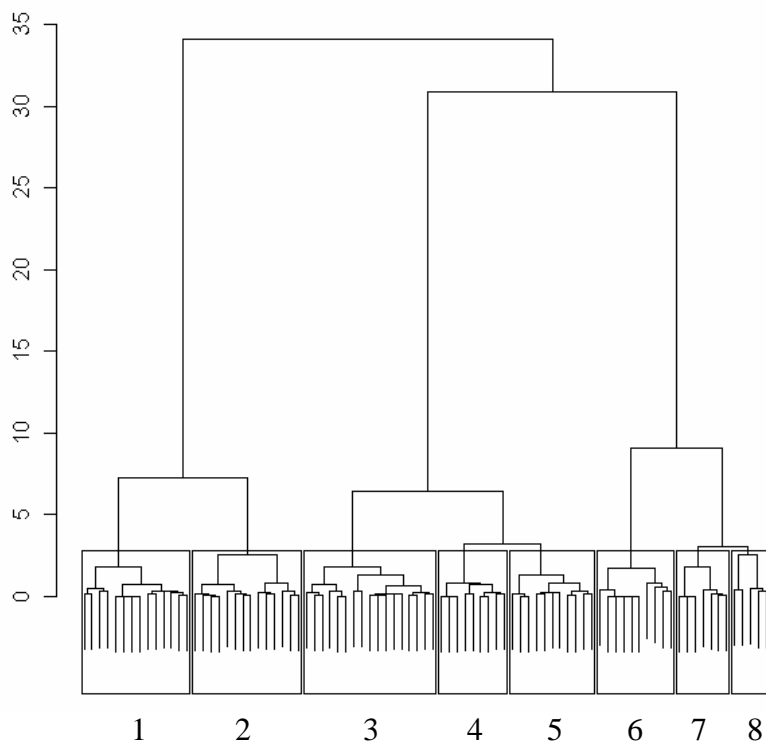


Рис. 5. Кластерний аналіз союзу герпетобіонтів (евклідово відстання, метод Уорда).

Умовні позначення: по горизонталі – види безпозвоночних (вміст кластерів обговорюється в тексті); по вертикалі – евклідово відстання.

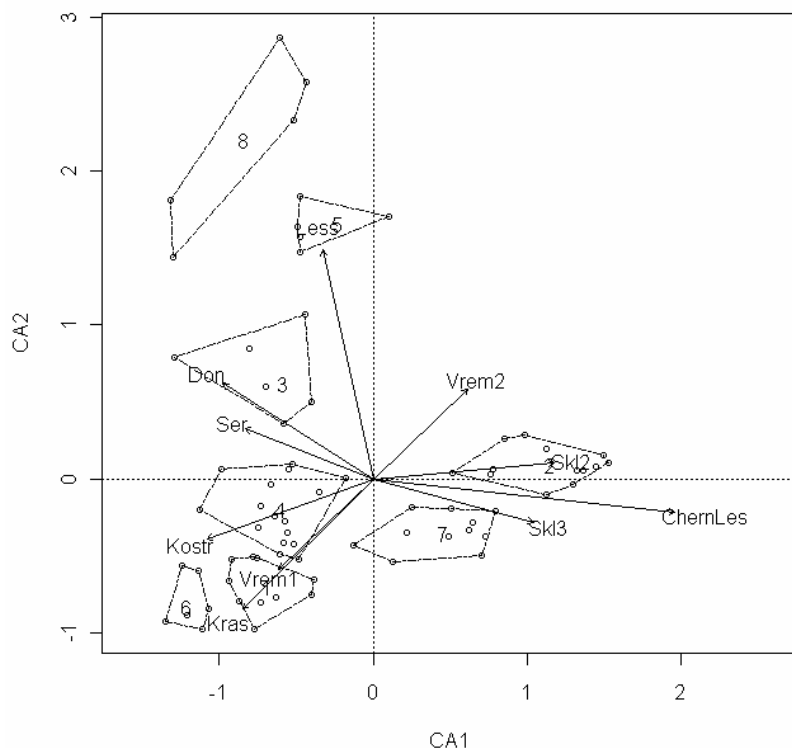


Рис. 6. Ординація союзу герпетобіонтів на ділянці рекультивувати (аналіз відповідності).

Умовні позначення: дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах – Ser, на лісовидних суглинках – Les, на красно-бурих глинах – Kras, лісоулучшенні – ChernLes; тимчасові періоди вибірки проб – Vrem1, Vrem2; середня частина схилу – Skl2, нижня частина схилу – Skl3; рослинна асоціація костріця – Kostr і донника – Don. Представлені змінні, вплив яких на структуру тваринного населення значимо при $p < 0,05$.

Выводы

Установлено, что тип технозема и тип растительного покрова являются важными факторами, которые оказывают существенное влияние на различные аспекты разнообразия сообщества герпетобионтов рекультивируемой территории. Необходимо отметить, что тип технозема и тип растительного покрова только условно в рамках организации сбора данных о почвенных животных приняты как независимые факторы. Необходимо учесть, что однотипные ассоциации в пределах различных типов техноземов не тождественны друг другу как по флористическому составу, так и по продукционным характеристикам. Значительное разнообразие и обилие герпетобионтов делает этот биогеоценотический блок важным функциональным компонентом, который в свою очередь воздействует на интенсивность почвообразовательного процесса и структуру растительности.

Эдафическая обстановка и особенности растительного покрова рекультивируемых земель формируют специфические экологические условия, в ответ на которые формируются четко обособленные специфические группировки герпетобионтов. Возникает вопрос о статусе этих группировок и их отношениях к степным зональным сообществам и производным от них сообществам агроценозов.

Список литературы

1. *Бондарь Г. А.* Экологическая структура растительного покрова, сформированного в результате самозарастания дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках / Г. А. Бондарь, А. В. Жуков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011, № 1. – С. 54–62.
2. *Бондарь Г. А.* ГИС-анализ экологической структуры растительности дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках / Г. А. Бондарь, Г. А. Задорожная, О. Н. Кунах, А. В. Жуков // Відновлення порушених природних екосистем: матер. IV міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 18-21 жовтня 2011 р.). – Донецьк, 2011. – С. 56–60.
3. *Етеревская Л. В.* Почвообразование и рекультивация земель в техногенных ландшафтах Украины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.03 / Л. В. Етеревская. – Харьков, 1989. – 42 с.
4. *Жуков А. В.* Целлюлозолитическая активность техноземов на экспериментальном участке рекультивации земель, нарушенных гонодобывающей промышленностью / А. В. Жуков, И. В. Лядская // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2009. – Вып. 2. – С. 286–290.
5. *Жуков А. В.* Геостатистический анализ распределения фитомассы на участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью / А. В. Жуков, И. В. Лядская, А. В. Вагнер // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2010. – № 1. – С. 48–52.
6. *Забалуєв В. О.* Едафо-фітоценотичне обґрунтування формування і функціонування стійких агроєкосистем на рекультивованих землях Степи України: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16 / В. О. Забалуєв. – К., 2005. – 40 с.
7. *Масюк Н. Т.* Особенности формирования естественных и культурных фитоценозов на вскрышных горных породах в местах производственной добычи полезных ископаемых / Н. Т. Масюк // Рекультивация земель: сб. науч. тр. ДСХИ. – Днепропетровск, 1974. – С. 62–105.
8. *Узбек И. Х.* Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкоцистем: монография / И. Х. Узбек, А. С. Кобец, П. В. Волох и др. / Под ред. И. Х. Узбека. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 263 с.
9. *Шемавнев В. И.* Устойчивое развитие сложных экотехносистем / В. И. Шемавнев, Н. А. Гордиенко, В. И. Дырда, В. О. Забалуєв. – М., Днепропетровск, 2005. – 355 с.
10. *Desender K., Ervinck A., Tack G.* Beetle diversity and historical ecology of woodlands in Flanders / K. Desender, A. Ervinck, G. Tack // Belg. J. Zool. – 1999. – Vol. 129. – P. 139–156.

11. *Oksanen J.* Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-2 / J. Oksanen, F. G. Blanchet, R. Kindt et al. – 2011. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

12. *Pontegnie M.* Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community / M. Pontegnie, G. du Bus de Warnaffe, Ph. Lebruna // *Pedobiologia*. – 2005. – № 49. – P. 199–210.

13. *Warwick R. M.* New «biodiversity» measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress / R. M. Warwick, K. R. Clarke // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* – 1995. – Vol. 129. – P. 301–305.

14. *Warwick R. M.* Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species / R. M. Warwick, K. R. Clark // *Oceanography Mar. Biol.* – 2001. – Vol. 39 (39). – P. 207–231.

15. *Whittaker R. H.* Vegetation of the siskiyou mountains, Oregon and California / R. H. Whittaker // *Ecological Monographs*. – 1960. – № 30. – P. 279–338.

Прокопенко О. В., Жуков О. В. Розмаїтість герпетобіонтних безхребетних на експериментальній ділянці рекультивациі земель, порушених гірничодобувною промисловістю. – Досліджені таксономічний склад, видова розмаїтість, динамічна щільність тваринного населення герпетобіо ділянок рекультивациі земель, порушених гірничодобувною промисловістю. Проведені кластерний аналіз та ординація угруповань досліджених техноземів.

Ключові слова: герпетобіонти, структура тваринного населення, техноземи, рекультивациія.

Prokopenko E. V., Zhukov A. V. The diversity of the herpetobiont invertebrates community on the recultivation experimental site on the soil destroyed by the mining. – Taxonomic structure, species diversity and dynamic abundance of the herpetobiont community on the recultivation experimental site on the soil destroyed by the mining have been investigated. The cluster analysis and community ordination have been carried out.

Key words: herpetobiont invertebrates, animal community structure, technosems, recultivation.