
SOIL ZOOLOGY



K. V. Andrusevych 

UDK 595.142.3

*Dnipropetrovsk state agro-economic university,
Voroshilova str., 25, 49000, Dnipropetrovsk, Ukraine*

ECOLOGICAL SPACE OF THE SOD-LITHOGENIC SOILS ON THE RED-BROWN CLAYS ANIMAL COMMUNITY

Abstract. The ecological niche is the keystone conception of theoretical ecology. But for its use methodical difficulties appears which can be solved with the help of the number of statistical techniques which includes OMI-analyses. This procedure has given the possibility of visualization of the ecological niche of soil animal community of the sod-lithogenic soils on the red-brown clays.


The phenomenon of differentiation of the ecological niche demands the explanation of structuring ecological space and detects of dominant factors which have influenced for the physiognomy of communities of soil animals.

The important problem is also to evaluate the role of ecological specialization of animals, which expresses in the terms ecomorphical structure. The usage of RLQ-analyses has permitted to quantity estimate the influence of vegetation features and edaphic factors on the spatial distribution of soil mesofauna.

The researching polygon is characterized both the presence of patch with optimal vital activity terms, and with unfavorable conditions. Mesopedobionts within researching polygon have been established as not being ecologically homogeneous. The functional groups A and B embrace in the majority of endogeic animals such as larvae of beetles. The ecologically diverse ecomorphic properties of these groups with high density of the animal community may be determined by the axis number 1. These groups concentrate within 3–4 meters diameter patches with most favorable conditions for vital activity. Such patches are marginal for this polygon. The functional group C is presented by gerpetobiont animals which are able to migrate and relatively tolerant to edaphic factors. That is why centroid of given group is most closely located to the typical condition of this polygon. Considered indicators of soil as environment of living organisms permit to estimate the community's ecological niche.

The quantity characteristics of species ecological niches within researching polygon such as specialization and marginality have been estimated. At first for the characteristics of soil animals' ecological niches have been used phytoindicator scales and ecomorphical analyses of the vegetations structure and also physiognomy types of it. The selection of functional groups of soil animals and applied for them ecomorphical characteristics are present high information values and conformity of indicator scales for the description of real current types of conditions of ecosystems.

Keywords: *ecomorphes, reclamation, soil mesofauna, ecological niche.*

 Тел.: +38097-687-65-94, e-mail: eandrusevich@mail.ru

DOI: 10.15421/041411

УДК 595.142.3

Андрусевич К.В.

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет,
ул. Ворошилова, 25, Днепропетровск, 49000, Украина,
Тел.: +38097-687-65-94, e-mail eandrusevich@mail.ru*

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО ЖИВОТНОГО НАСЕЛЕНИЯ ДЕРНОВО-ЛИТОГЕННЫХ ПОЧВ НА КРАСНО-БУРЫХ ГЛИНАХ

Экологическая ниша является ключевым понятием теоретической экологии. Однако для его использования возникают методические трудности, которые могут быть решены с помощью ряда статистических техник, к числу которых относится ОМІ-анализ. Эта процедура дала возможность визуализировать экологическую нишу сообщества почвенных животных дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах. Явление дифференциации экологической ниши требует объяснения структурирования экологического пространства и выявления ключевых факторов, которые оказывают влияние на облик сообществ мезопедобионтов. Важной задачей также является оценить роль экологической специализации животных, выраженной в терминах экоморфической структуры. Применение RLQ-анализа позволило количественно оценить влияние особенностей растительного покрова и эдафических факторов на пространственное распределение почвенной мезофауны. Изученный полигон характеризуется как наличием участков с оптимальными условиями для жизнедеятельности, так и с неблагоприятными. Установлено, что для мезопедобионтов изученный полигон не является однородным по действующим почвенным режимам. Функциональные группы А и В мезофауны представлены в большинстве своем собственно почвенными животными – личинками жесткокрылых. Экоморфический облик данных групп, которые достаточно разнообразны в экологическом плане и характеризуются высокой плотностью животного населения, может быть описан осью 1. Эти функциональные группы концентрируются в пределах пятен 3–4 м в диаметре с наиболее благоприятными условиями для их жизнедеятельности. Такие участки являются маргинальными для данного полигона. Функциональная группа С представлена животными-герпетобионтами, которые способны к миграциям и относительно толерантны к эдафическим факторам. Поэтому центроид данной группы наиболее близко расположен к типичным условиям данного полигона. Рассмотренные в работе показатели почвы как среды обитания живых организмов позволяют оценить экологическую нишу сообщества. Установлены количественные характеристики экологических ниш видов, отмеченных на исследуемом полигоне, – маргинальности и специализации. Впервые для характеристики экологических ниш почвенных животных использованы фитоиндикационные шкалы и экоморфический анализ структуры растительного сообщества, а также физиономические типы растительности. Выделение функциональных групп почвенных животных и наложение на них экоморфических характеристик, показывает высокую информационную ценность и соответствие индикационных шкал для описания реально существующих типов режимов в экосистемах.

***Ключевые слова:** экоморфы, рекультивация, почвенная мезофауна, экологическая ниша.*

УДК 595.142.3

К. В. Андрусевич

*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул.
Ворошилова, 25, Дніпропетровськ, 49000, Україна,
Тел.: +38097-687-65-94, e-mail eandrusevich@mail.ru*

ЕКОЛОГІЧНИЙ ПРОСТІР ТВАРИННОГО НАСЕЛЕННЯ ДЕРНОВО-ЛІТОГЕННИХ ҐРУНТІВ НА ЧЕРВОНО-БУРИХ ГЛИНАХ

Екологічна ніша є ключовим поняттям теоретичної екології. Однак для його використання виникають методичні труднощі, які можуть бути вирішені за допомогою ряду статистичних технік, до числа яких належить ОМІ-аналіз. Ця процедура дала можливість візуалізувати екологічну нішу угруповання ґрунтових тварин дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах. Явище диференціації екологічної ніші вимагає пояснення структуривання екологічного простору і виявлення ключових факторів, які впливають на

вигляд угруповань мезопедобіонтів. Важливим завданням також є оцінити роль екологічної спеціалізації тварин, вираженої в термінах екоморфічної структури. Застосування RLQ-аналізу дозволило кількісно оцінити вплив особливостей рослинного покриву і едафічних факторів на просторовий розподіл ґрунтової мезофауни. Вивчений полігон характеризується як наявністю ділянок з оптимальними умовами для життєдіяльності, так і з несприятливими. Встановлено, що для мезопедобіонтів вивчений полігон не є однорідним за діючими ґрунтовими режимами. Функціональні групи А і В мезофауни представлені в більшості своїй власне ґрунтовими тваринами – личинками жорсткокрилих. Вигляд даних груп, які досить різноманітні в екологічному плані і характеризуються високою щільністю тваринного населення, визначається віссю 1. Ці групи населяють ділянки, 3–4 м в діаметрі, з найбільш сприятливими умовами для життєдіяльності. Такі ділянки не є типовими для даного полігону. Функціональна група С представлена тваринами-герпетобіонтами, які здатні до міграції і відносно толерантні до едафічних факторів. Тому центроїд даної групи найбільш близько розташований до типових умов даного полігону. Розглянуті в роботі показники ґрунту як середовища існування живих організмів дозволяють оцінити екологічну нішу угруповання. Встановлено кількісні характеристики екологічних ніш видів, відзначених на досліджуваному полігоні – маргіальність і спеціалізація. Вперше для характеристики екологічних ніш ґрунтових тварин використані фітоіндикаційні шкали і екоморфічний аналіз структури рослинного угруповання, а також фізіономічні типи рослинності. Виділення функціональних груп ґрунтових тварин і накладення на них екоморфічних характеристик, показує високу інформаційну цінність та відповідність індикаційних шкал для опису реально існуючих типів режимів в екосистемах.

Ключові слова: екоморфи, рекультивація, ґрунтова мезофауна, екологічна ніша.

ВВЕДЕНИЕ

Факторы окружающей среды, влияющие на распределение видов, обычно пространственно структурированы, поэтому сообщества также имеют пространственную структуру (Dray et al., 2006). Местообитание характеризуется наличием на некоторой территории ресурсов и условий для данного вида, в результате чего становится возможной заселенность этой территории, включая его выживание, размножение и успех в конкурентной борьбе (Hall et al., 1997). Это, так называемый, «экологический стандарт» вида (по Gilyarov, 1965) – потребности каждого вида в определенном комплексе условий среды.

Теоретически различие между местообитанием и не-местообитанием становится очевидным при сравнении композиции свойств окружающей среды участков, где вид встречается с участками, где вид отсутствует. Однако участки, где вид отсутствует, выявить сложно. Вид в данном участке может быть не установлен из-за несовершенства методики учета или отсутствовать по историческим причинам. Не только свойства окружающей среды могут определять местообитание. Важным условием изучения экологического пространства является сбор множественных данных о его свойствах. Неравномерность распределения особей объясняется вариабельностью характеристик среды, наблюдается структурная и функциональная пестрота (Demidov et al., 2013).

Почвенный покров представляет собой непрерывное образование с развитой вертикальной и вдольповерхностной неоднородностью (Samsonova, 2008). Пространственная неоднородность – важнейшее свойство почвы, которое проявляется на различных масштабных уровнях организации педосферы (Medvedev, 2009).

Изначальная неоднородность техноземов и сложный характер динамики почвообразовательного процесса привели к высокому разнообразию экологических условий на участке рекультивации. Формирование мозаичного почвенного покрова возникло в результате особенностей закладки экспериментального участка, на техническом этапе рекультивации, и многолетней сельскохозяйственной рекультивации нарушенных земель (Kunah, Kolyada, 2010; Voloh, Uzbek, 2010; Demidov et al., 2010). Оценка качества почвы требует количественных данных по

каждому индикаторному свойству, связанному с почвенным качеством, и информации о пространственной вариабельности этих индикаторных свойств (Verhagen et al., 1995).

По Дж. Хатчинсону (Hutchinson, 1957) под фундаментальной (потенциальной) экологической нишей понимается весь набор условий, при которых вид может успешно существовать и размножаться, а реализованная экологическая ниша – это положение вида в конкретном сообществе, где его ограничивают сложные биоценоотические отношения. Фундаментальная экологическая ниша характеризует потенциальные возможности вида, а реализованная – ту их часть, которая может осуществиться в данных условиях, при данной доступности ресурса.

Экоморфическая структура сообщества почвенной мезофауны с точки зрения видового богатства характеризует биотоп как совокупность экологических условий потенциальной экологической ниши сообщества (Zhukov, 2009). Представленность широкого спектра экоморф показывает весь комплекс сложившихся экологических режимов. Экоморфическая структура животного населения, в которой учитывается численность, показывает реализованную экологическую нишу сообщества.

Цель работы – количественно оценить экологическую нишу почвенных животных полигона на дерново-литогенных почвах на красно-бурых глинах на основе RLQ- и OMI-анализов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал отобран на участке рекультивации Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета Никопольского марганцеворудного бассейна (Днепропетровская обл., г. Орджоникидзе) в апреле–мае 2012 г. Пробы отобраны в дерново-литогенных почвах на красно-бурых глинах.

Материал отобран по регулярной сетке – 7 трансект по 15 проб в каждой, в сумме 105 проб. Лаг между трансектами и пробами 3 м. В каждой точке были сделаны почвенно-зоологические пробы для сбора почвенной мезофауны, проведено измерение температуры, электропроводности, твердости, структуры, усадки почвы и содержание гумуса (R-таблица). Почвенно-зоологические пробы имели размер 25×25 см.

Измерение твердости почв производилось 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 производились конусом с размером поперечного сечения 2 см². В пределах каждой точки измерения твердости почвы производились в однократной повторности.

Для проведения измерения электропроводности почвы *in situ* использовался сенсор HI 76305 (Hanna Instruments, Woodsocket, R. I.). Этот сенсор 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 (Pennisi, Iersel, 2002). Почвенную температуру измеряли в период с 13 до 14 часов цифровыми термометрами WT-1 (ПАО «Стеклоприбор», <http://bit.steklopribor.com>, точность – 0,1 °C) на глубине 5–7 см. Измерения электропроводности и температуры сделаны в трехкратной повторности в каждой пробной точке.

Для определения степени усадки пробы отобраны по регулярной сетке. Образцы высушивались до воздушно-сухого состояния, перетирались и просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм (Buligin et al., 2005). В лабораторных условиях задавались уровни влажности путем добавления в образцы дистиллированной воды – 4, 8, 14, 16, 22, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 и 70 %. Сырую почву помещали в металлическую формочку (крышка от алюминиевого бокса),

измерив объем и смазав ее тонким слоем вазелина. Затем почву высушили при температуре 105°C. Объем высушенного образца определяли измерением диаметра и высоты штангенциркулем, взвешивали (Andrusevich, Lagunina, 2013).

Агрегатный состав почвы был определен методом сухого просеивания по Савинову (Dospřehov, 1979). Пробы почвы отобраны из верхнего слоя 0–10 см.

Физиономические типы растительности выделены на основе из спектральной отражательной способности цифровых снимков поверхности растительного покрова, которые условно можно охарактеризовать как: 1 – злаки; 2 – зонтичные; 3 – сложноцветные; 4 – бобовые; 5 – сухостой; 6 – почва.

Фитоиндикационные шкалы растительности приведены по Д. Н. Цыганову (Tsyganov, 1983). Характеристика экоморф растений приведена по А. Л. Бельгарду (Belgard, 1971) и В. В. Тарасову (Tarasov, 2005), Q-таблица представлена экоморфами почвенных животных по А. В. Жукову (Zhukov, 2009).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эдафические характеристики могут рассматриваться как детерминанты экологического пространства сообщества почвенной мезофауны (табл. 1).

Таблица 1

Детерминанты экологического пространства почвенной мезофауны

Параметры среды	Среднее	Доверительный интервал		CV, %	RLQ ось 1	RLQ ось 2
		- 95 %	+ 95 %			
1	2	3	4	5	6	7
<i>Структура почвы, фракции размером, %</i>						
> 10 мм	23,34	21,21	25,48	47,17	-0,13	0,14
7–10 мм	7,78	7,26	8,30	34,66	-0,44	-0,39
5–7 мм	8,48	7,73	9,24	46,00	-0,48	-0,46
3–5 мм	14,39	13,43	15,35	34,39	-0,40	-0,51
2–3 мм	13,15	12,27	14,02	34,44	-0,08	-0,13
1–2 мм	18,64	17,24	20,04	38,81	0,38	0,30
0,5–1 мм	4,16	3,73	4,59	53,78	0,25	0,08
0,25–0,5 мм	6,27	5,60	6,94	55,42	0,58	0,28
< 0,25 мм	3,65	3,18	4,11	65,88	0,49	0,32
<i>Твердость почвы на глубине, МПа</i>						
0–5 см	3,28	3,08	3,48	31,85	0,44	0,13
5–10 см	4,56	4,22	4,91	39,35	0,69	0,13
10–15 см	5,49	5,10	5,88	36,88	0,61	0,17
15–20 см	6,30	5,85	6,74	36,85	0,58	0,16
20–25 см	6,98	6,46	7,50	38,38	0,65	0,05
25–30 см	7,43	6,84	8,01	40,98	0,58	-0,01
30–35 см	7,86	7,23	8,49	41,45	0,55	0,00
35–40 см	8,11	7,41	8,80	44,20	0,52	0,01
40–45 см	8,36	7,61	9,11	46,42	0,51	0,02
45–50 см	8,56	7,75	9,37	48,77	0,44	0,13
<i>Физические свойства и содержание гумуса</i>						
Электропроводность, дСм/см	0,54	0,51	0,58	31,24	-0,31	0,00

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Усадка, %	20,81	20,06	21,56	18,63	-0,71	-0,19
Гумус, %	0,73	0,69	0,77	29,29	-0,24	-0,23
Температура 03.05.12	23,63	22,87	24,39	4,18	0,38	0,50
- 20.06.12	32,86	31,28	34,43	6,22	0,01	0,00
- 19.10.12	15,00	14,72	15,28	2,43	0,07	-0,22
<i>Физиономические типы растительности</i>						
Туре 1	0,05	0,03	0,08	58,85	0,22	-0,48
Туре 2	0,28	0,25	0,31	15,01	0,27	-0,42
Туре 3	0,15	0,11	0,20	38,86	-0,09	-0,70
Туре 4	0,03	0,02	0,04	47,14	0,13	-0,06
Туре 5	0,11	0,09	0,14	29,99	-0,40	-0,12
Туре 6	0,37	0,33	0,40	13,13	-0,04	0,74
<i>Фитоиндикационные оценки по Цыганову</i>						
Tm	8,99	8,90	9,09	1,35	0,45	0,53
Kn	9,07	8,99	9,15	1,12	0,13	-0,11
Om	7,17	7,09	7,25	1,44	-0,26	-0,40
Cr	8,70	8,63	8,77	1,03	0,55	0,39
Hd	8,37	8,24	8,50	2,00	0,45	0,47
Tr	8,81	8,57	9,06	3,64	-0,06	0,03
Nt	5,14	5,03	5,24	2,64	-0,31	0,31
Rc	8,55	8,48	8,62	1,09	-0,02	-0,28
Lc	2,35	2,25	2,45	5,40	0,35	0,44
<i>Экоморфы А. Л. Бельгарда</i>						
Hygr	2,43	2,36	2,50	3,77	0,59	0,38
Troph	2,43	2,30	2,55	6,60	-0,39	-0,57
St	0,68	0,65	0,70	4,69	0,20	-0,58
Pr	0,13	0,08	0,19	51,27	-0,11	0,57
Hel	2,43	2,36	2,50	3,77	0,65	0,15

Пространственная изменчивость агрегатного состава – важный индикатор качества почв и интенсивности процесса рекультивации (Voloh, Uzbek, 2010). Анализ полученных данных показывает, что преобладающей фракцией являются агрегаты размером > 10 мм (23,34 %). Несколько уступают по относительной доле фракции 1–2 мм (18,64 %), 3–5 мм (14,49 %) и 2–3 мм (13,15 %). Прочие фракции характеризуются участием в агрегатной структуре на уровне 8,48–3,65 %.

Твердость – мера механической проницаемости почв (Medvedev, 2009). Это свойство формируется под воздействием факторов почвообразования. На рекультивированных землях, которые созданы в результате трансформации природных ландшафтов при добыче полезных ископаемых открытым способом, процессы почвообразования характеризуются значительной пространственной неоднородностью (Shevmanev et al., 2005; Zadorozhnaya, 2012). Среднее значение твердости закономерно увеличивается с глубиной. В верхнем 5-сантиметровом слое твердость находится на уровне 3,28 МПа и увеличивается до 5,46 МПа на глубине 10–15 см. По литературным данным (Bathke et al., 1992) рост корней растений прекращается при сопротивлении 0,8–5 МПа. Показания пенетрометра

выше 5 МПа свидетельствует об уплотненной почве, которая противодействует росту корней (Faehner et al., 1999). Начиная с глубины 15 см до нижнего предела измерения твердость постепенно увеличивается от 6,30 до 8,56 МПа.

Электропроводность почвы – способность почвы проводить электрический ток. Зависит от влажности, фазового состояния влаги, содержания солей, температуры, плотности, гранулометрического состава почвы (Zhukov et al., 2012). Зафиксировано, что среднее значение электропроводности составляет 0,54 дСм/см (95 % доверительный интервал – 0,51–0,58 дСм/см).

Усадка почв – процесс, при котором объем почвы уменьшается при ее высыхании и дегидратации. Чем выше уровень усадки, тем больше глинистой фракции в механическом составе почвы (Shein, 2005). Установлено, что уровень усадки исследуемого типа технозема составляет 20,81 % (95 % доверительный интервал – 20,06–21,56 %).

Техноземы характеризуются большой гетерогенностью, изменчивыми физико-химическими свойствами и незначительным содержанием элементов питания, особенно азота (Uzbek, Galagan, 2004). Установлено, что дерново-литогенные почвы на красно-бурых глинах характеризуются содержанием гумуса 0,73 % (95 % доверительный интервал – 0,69–0,77 %).

Температура относится к числу важнейших климатических факторов. От нее зависит уровень и интенсивность обмена веществ и других биохимических и физиологических процессов в почве. Средняя температура слоя 5–7 см дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах 3 мая 2012 г. составляла 23,36°C (95 % доверительный интервал – 22,87–24,39 °C). Средняя температура 20 июня 2012 г. равнялась 32,86°C (95 % доверительный интервал – 22,87–23,39 °C), а 19 октября 2012 – 15,00°C (95 % доверительный интервал – 14,72–15,28 °C).

Доступность и гетерогенность ресурсов оказывают влияние на состав и структуру растительного сообщества (Tilman, 1984, 1987; Bondar, Zhukov, 2011). В свою очередь, пространственная изменчивость почвенных ресурсов находится в зависимости от обилия и состава растительного сообщества (Milchunas, Lauenroth 1995; Vinton, Burke 1995). В процессе рекультивации земель, нарушенных в результате добычи полезных ископаемых, растительность выступает в качестве важного почвообразующего фактора (Shevmanev et al., 2005).

По фитоиндикационным шкалам термоклимат исследуемого экотопа неморальный, континентальность – материковая; омброклимат – субаридный (P–E = –154,6 мм/год, P – осадки мм/год, E – испарение мм/год); криоклимат – умеренных зим/мягких зим; влажность – среднестепной тип, экологическая группа – свежестепная; режим общего засоления и трофности почв – довольно богатые почвы; азотное питание – бедные азотом почвы; кислотность почвы – слабокислые/нейтральные почвы; световой режим – открытых/полукрытых пространств.

Экоморфический анализ растительности в ценоморфическом аспекте характеризуется превалированием степантов (68 %). Экологический оптимум гигроморф (по Матвееву, 2003) составляет 2,43 – влажноватый тип режима, трофоморф – также 2,43 и соответствует среднеплодородным почвам, и гелиоморф – 2,43, что показывает на полутеневой тип режима.

Результаты анализа RLQ представлены в таблице 1 и на рис. 1. Установлено, что 94,88 % общей вариации (общей инерции) описывают первых две оси RLQ (79,57 и 15,31 % соответственно). Процедура *randtest* подтвердила значимость результатов RLQ-анализа на *p*-уровне 0,01.

Оси RLQ – это интегральные оценки взаимосвязи между факторами окружающей среды (Kunah et al., 2013). В данном случае мы учитываем структуру, твердость, усадку, электропроводность и температуру почвы, содержание гумуса, а также структуру растительности с помощью физиономических типов, фитоиндикационной шкалы по Цыганову и экоморфической структуры по Бельгарду.

Используя 3 матрицы, первая из которых отображает точки отбора проб (пространственная компонента с учетом того, что координаты точек отбора фиксировались), вторая – расположение видов почвенной мезофауны, а третья – уровень значимости факторов среды и уровень значимости экоморфических характеристик мезофауны. Получили интегральную оценку взаимосвязи этих трех компонентов (рис. 1).

Факторы окружающей среды, которые структурируют сообщество, имеют сложную интегральную природу и отражаются через измеряемые характеристики. Комплексы связанных характеристик в многомерных техниках выделяются по различным критериям, так как число факторных решений бесконечно. Максимизация описываемой факторами дисперсии или корреляции являются целевыми критериями в многомерном факторном анализе и анализе главных компонент. Очевидно, что такой критерий имеет общий характер и не отражает специфики экологических задач. Критерием максимизации в RLQ-анализе является решение, которое наилучшим образом описывает связь между различными экологическими явлениями – средой, сообществом и его формальными экологическими свойствами (Kunakhet al., 2013).

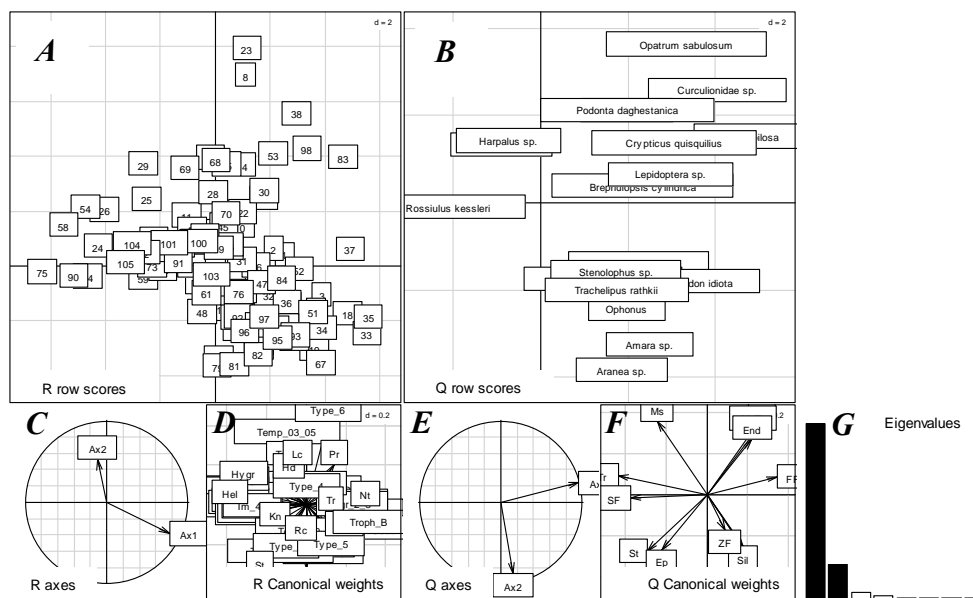


Рис. 1. Результаты анализа RLQ

Условные обозначения: 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.

Ось 1, выделенная в результате RLQ-анализа, характеризуется высокой отрицательной корреляцией с содержанием в структуре почвы агрегатов размером 7–10 мм, 5–7 мм и 3–5 мм, а положительно коррелирует с наличием в структуре агрегатов размером 1–2 мм, 0,25–0,5 мм и < 0,25 мм. Также ось 1 сильно положительно коррелирует с твердостью почвы на всех глубинах. Невысокая отрицательная корреляция оси 1 наблюдается с электропроводностью, которая, возможно, в данном случае маркирует высокую минерализованность почвенного раствора. Зафиксирована высокая отрицательная корреляция с усадкой почвы,

которая свидетельствует о преобладании глинистой фракции в механическом составе исследованной почвы. Корреляция с содержанием гумуса слабо выражена, что можно объяснить низким уровнем его содержания и поэтому невозможности в большой степени влиять на распределение почвенных животных. Отмечено, что ось 1 коррелирует лишь с температурой, измеренной 03.05.2012 г., в момент проведения сбора почвенно-зоологических проб. Корреляция с физиономическими типами растительности показывает положительное влияние проективного покрытия живых растений, и отрицательная – с проективным покрытием мортмассы. Отмечена корреляция некоторых оценок фитоиндикационных шкал по Цыганову – положительная с термоклиматом, криоклиматом, влажностью, световым режимом и отрицательная с азотным питанием.

Ось 2 находится в тесной взаимосвязи со следующими размерами агрегатов: отрицательной – 7–10 мм, 5–7 мм, 3–5 мм, и положительно 1 – 1–2 мм, 0,25–0,5 мм, < 0,25 мм. Также положительно коррелирует с температурой почвы 03.05.2012. Корреляция с физиономическими типами растительности отражает положительное влияние отсутствия проективного покрытия.

Совместное измерение эдафических и растительных характеристик и особенностей структуры животного населения позволили оценить свойства экологической ниши почвенной мезофауны (табл. 2).

Таблица 2

Анализ маргинальности видов сообщества мезофауны

Виды	Сокращение	Инерция	ОМІ	Tol	Rtol	omi	tol	rtol	p-уровень
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Amara aenea</i>	Amara.sp.	57,59	13,75	6,15	37,69	23,90	10,70	65,50	0.02
<i>Anoxia pilosa</i>	Anoxia.pilosa	51,99	8,50	6,06	37,44	16,30	11,60	72,00	0.19
<i>Aranea sp. sp.</i>	Aranea.sp.	41,04	3,67	5,78	31,59	9,00	14,10	77,00	0.01
<i>Brephulopsis cylindrica</i>	Brephulopsis cylindrical	43,96	0,38	4,23	39,35	0,90	9,60	89,50	0.13
<i>Chondrula tridens</i>	Chondrula.tridens	42,27	0,24	4,11	37,92	0,60	9,70	89,70	0.26
<i>Crypticus quisquilius</i>	Crypticus. quisquilius	38,75	9,53	1,23	27,99	24,60	3,20	72,20	0.08
<i>Cryptops anomalans + parisi</i>	Scolopendra	40,36	6,58	1,89	31,89	16,30	4,70	79,00	0.14
<i>Curculionidae sp.</i>	Curculionidae.sp.	46,61	14,15	2,97	29,49	30,40	6,40	63,30	0.02
<i>Harpalus sp.</i>	Harpalus.sp.	37,23	4,48	3,65	29,10	12,00	9,80	78,20	0.02
<i>Lepidoptera sp.</i>	Lepidoptera.sp.	31,43	6,14	0,94	24,35	19,50	3,00	77,50	0.40
<i>Monacha cartusiana</i>	Monacha cartusiana	44,51	0,63	6,47	37,41	1,40	14,50	84,00	0.03
<i>Oodescelis melas + polita</i>	Oodescelis	37,40	7,96	1,05	28,39	21,30	2,80	75,90	0.15
<i>Opatrum sabulosum</i>	Opatrum sabulosum	48,82	1,17	6,80	40,84	2,40	13,90	83,70	0.01
<i>Ophonus puncticollis + rufibarbis</i>	Ophonus	41,89	9,61	1,04	31,23	23,00	2,50	74,60	0.06
<i>Pentodon idiota</i>	Pentodon idiota	36,73	23,42	2,37	10,94	63,80	6,50	29,80	0.09
<i>Podonta daghestanica</i>	Podonta daghestanica	36,59	3,29	1,94	31,36	9,00	5,30	85,70	0.63

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Rossiulus kessleri</i>	<i>Rossiulus.kessleri</i>	42,43	1,73	6,23	34,47	4,10	14,70	81,20	0.01
<i>Stenolophus sp.</i>	<i>Stenolophus.sp.</i>	41,01	5,82	0,65	34,55	14,20	1,60	84,20	0.42
<i>Trachelipus rathkii</i>	<i>Trachelipus.rathkii</i>	38,87	6,16	3,07	29,64	15,80	7,90	76,30	0.01
<i>Amara aenea</i>	<i>Amara.sp.</i>	57,59	13,75	6,15	37,69	23,90	10,70	65,50	0.02
ОМІ		–	6,69	–	–	–	–	–	0,01

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

Общая инерция, которая может быть вычислена в результате ОМІ-анализа, пропорциональна средней маргинальности видов сообщества и представляет собой количественную оценку влияния факторов окружающей среды на сепарацию видов (Kunah et al., 2013). Маргинальность – это степень смещения центроида экологической ниши вида от типичных условий представленного полигона.

В результате проведенного анализа установлено, что общая инерция составляет 2,33. Первая ось, полученная в результате ОМІ-анализа, описывает 47,01 %, а вторая – 19,30 % инерции. Таким образом, первые две оси описывают 66,31 % инерции, что вполне достаточно, для того, чтобы описание дифференциации экологических ниш мезофауны на изучаемом полигоне проводить в пространстве первых двух осей. Для среднего значения маргинальности сообщества (ОМІ = 6,69) уровень значимости составляет $p = 0,01$, что свидетельствует о важной роли выбранных переменных среды для структурирования сообщества почвенной мезофауны.

Маргинальность, которая статистически достоверно отличается от случайной альтернативы, характерна для 4 видов из 20, для которых проведен ОМІ-анализ. Таким образом, для большинства видов изучаемого полигона типичные эдафические условия совпадают с центроидом их экологической ниши.

Конфигурация экологических ниш представлена на рисунке 2.

RLQ-анализ позволяет классифицировать животных по характеру их экологической структуры и связи с факторами окружающей среды. Кластерный анализ позволил выделить три комплекса видов, которые формируют функциональные группы А, В и С (рис. 3).

Расположение этих функциональных групп в пространстве RLQ осей представлено на рис. 4.

Функциональная группа А включает в себя мезофильных степантов (*Aranea sp.*, *Amara sp.*), ксерофильных степантов (*Ophonus puncticollis*, *Ophonus rufibarbis*, *Stenolophus sp.*, *Pentodon idiota*, *Chondrula tridens*, *Monacha cartusiana*, *Lepidoptera sp.*) и мезофильных сивлантов (*Trachelipus rathkii*, *Amara aenea*). Данная функциональная группа чувствительна к вертикальной дифференциации почвенного профиля (маркер – ось 2). Для трофоценоморфической структуры характерно преобладание мегаценоотрофоморф, для трофоморфической – фитофагов, и топоморфической – эндогейных форм.

Функциональная группа С в большинстве представлена ксерофильными стерантами (*Cryptops parisi*, *Cryptops anomalans*, *Rossiulus kessleri*, *Harpalus griseus*), мезофильными степантами (*Harpalus latus*, *Harpalus rufipes*). Эта группа в аспекте трофоценоморф состоит преимущественно из мезоценоотрофных форм, а с точки зрения трофоморф – сапрофагов. Основной облик сообщества определяется осью 1.

Третья функциональная группа В состоит из ксерофильных степантов (*Anoxia pilosa*, *Crypticus quisquilius*, *Oodescelis melas*, *Oodescelis polita*, *Opatrum sabulosum*,

Podonta daghestanica) и мезофильными степантами (*Brephulopsis cylindrica*). Группа С чувствительна к вертикальной дифференциации почвенного профиля (маркер – ось 2) и характеризуется превалированием ультрамегаценоотрофоморф в структуре ценоотрофоморф и зоофагов в структуре трофоморф.

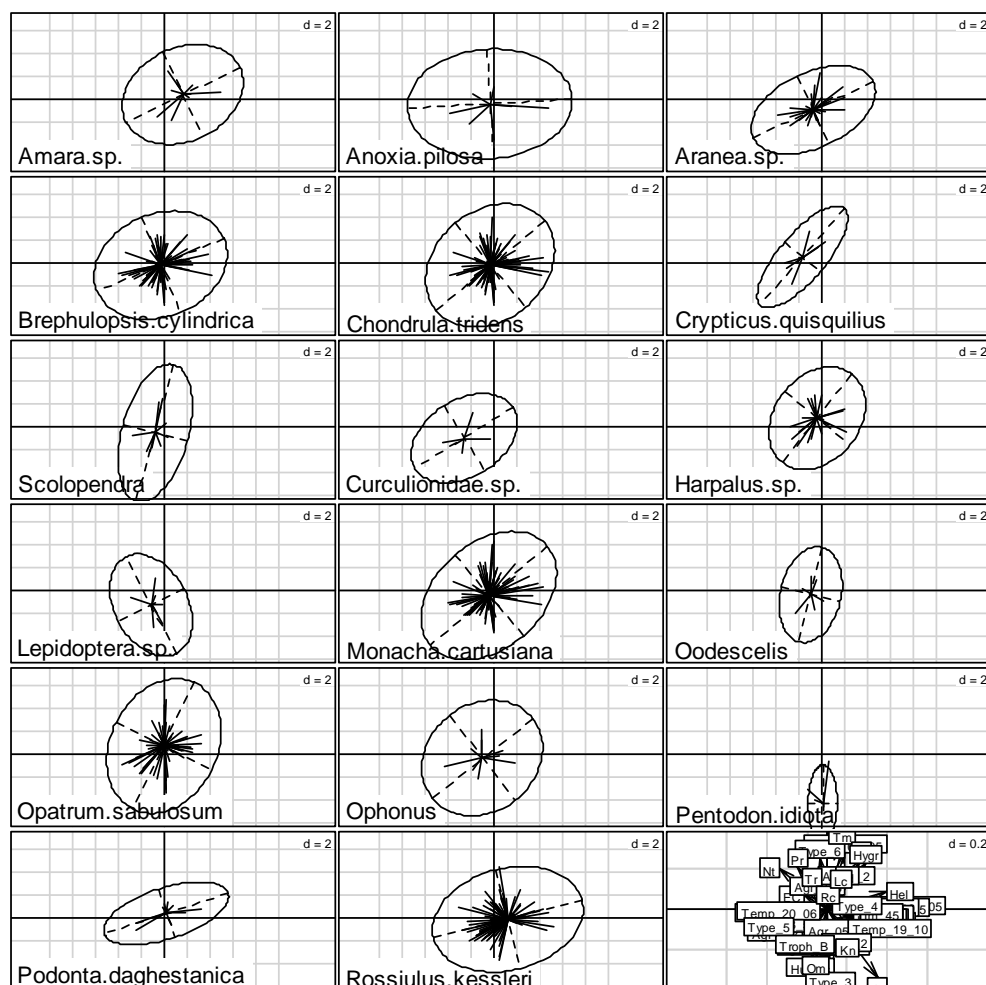


Рис. 2. Экологические ниши видов почвенной мезофауны.

Условные обозначения: Координатные оси заданы компонентами маргинальности; начало координат – нулевая маргинальность. Эллипс обозначает инерцию экологической ниши. Лучи связывают центроид экологической ниши с сайтами встречи вида в пространстве маргинальности сообщества. В правом нижнем углу – нормированные веса экологических переменных; сокращение названия видов – см. табл. 2.

Экологическая специализация – приспособление организма или группы организмов к узким условиям существования. Экологическая специализация в контексте конкретных условий принимает форму функциональных группировок. Экоморфический анализ структуры животного населения позволяет установить природу полученных функциональных групп с точки зрения условий данного биотопа (рис. 5).

Важным инструментом описания экологической структуры животного населения является её отображение в географическом пространстве.

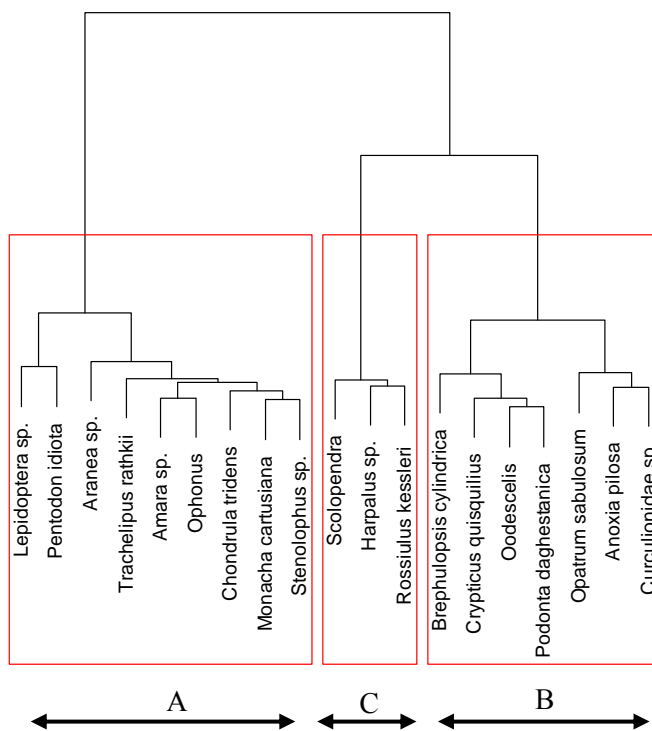


Рис. 3. Кластерный анализ структуры животного населения мезопедобноттов

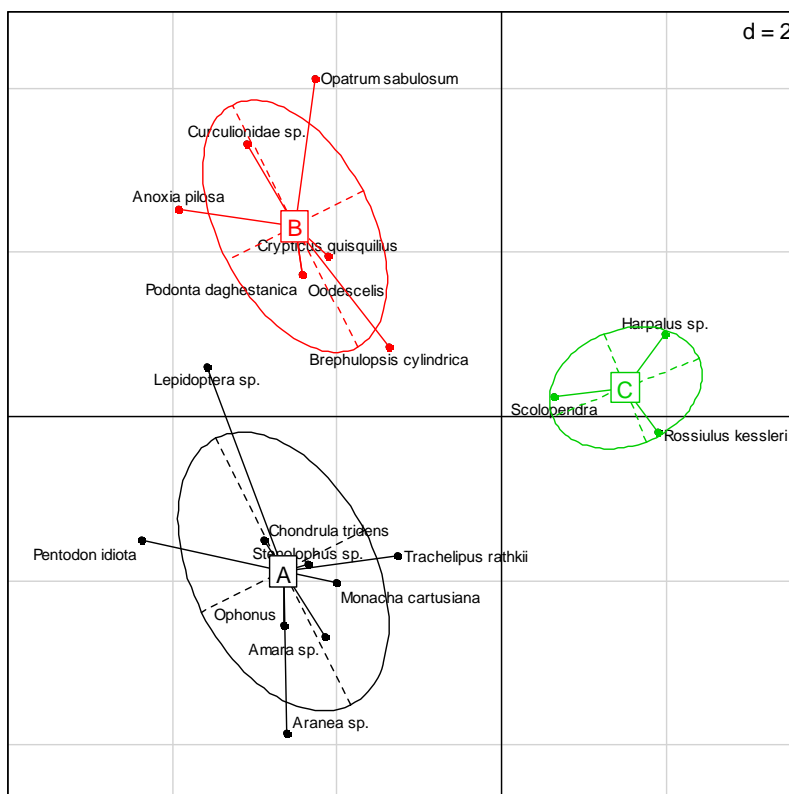


Рис. 4. Расположение функциональных групп в пространстве RLQ-осей

На рисунке 5 показано относительно независимые тренды пространственной изменчивости животного населения дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах. На рисунке 5 (А) представлено пространственное распределение значений RLQ-оси 1: на карте четко выделяются области овальной формы размером 3-4 м в диаметре, в пределах которых плотность представителей функциональной группы С максимальна. Указанные области разделены участками с закономерно высоким обилием функциональных групп А и В. На рисунке 5 (В) продемонстрировано пространственное распределение почвенных животных относительно оси 2. Области высоких значений показывают высокое обилие представителей функциональной группы В, низких – функциональной группы А. Группа С относительно толерантна к оси 2.

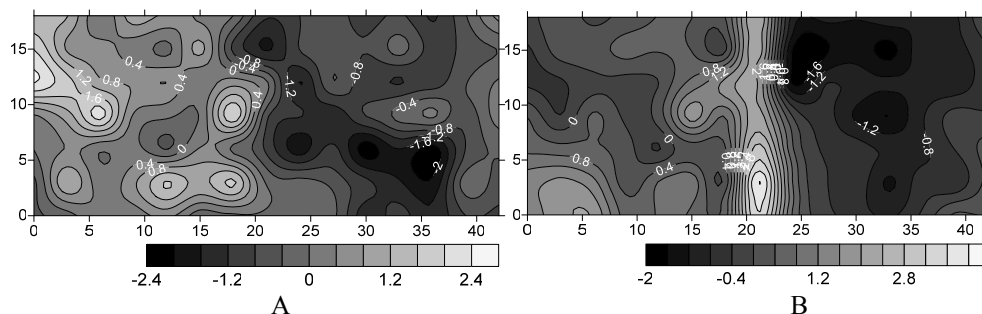


Рис. 5. Пространственная изменчивость RLQ-осей

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологическая ниша является ключевым понятием теоретической экологии. Однако для его использования возникают методические трудности, которые могут быть решены с помощью ряда статистических техник, к числу которых относится ОМІ-анализ. Эта процедура дала возможность визуализировать экологическую нишу сообщества почвенных животных дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах. Явление дифференциации экологической ниши требует объяснения структурирования экологического пространства и выявления ключевых факторов, которые оказывают влияние на облик сообществ мезопедобионтов. Важной задачей также является оценить роль экологической специализации животных, выраженной в терминах экоморфической структуры. Применение RLQ-анализа позволило количественно оценить влияние особенностей растительного покрова и эдафических факторов на пространственное распределение почвенной мезофауны.

Изученный полигон характеризуется как наличием участков с оптимальными условиями для жизнедеятельности, так и с неблагоприятными. Установлено, что для мезопедобионтов изученный полигон не является однородным по действующим почвенным режимам.

Функциональные группы А и В мезофауны представлены в большинстве своем собственно почвенными животными – личинками жесткокрылых. Облик данных групп, которые достаточно разнообразны в экологическом плане и характеризуются высокой плотностью животного населения, определяется осью 1. Эти группы населяют участки, 3–4 м в диаметре, с наиболее благоприятными условиями для жизнедеятельности. Такие участки не являются типичными для данного полигона. Функциональная группа С представлена животными-герпетобионтами, которые способны к миграциям и относительно толерантны к эдафическим факторам. Поэтому центроид данной группы наиболее близко расположен к типичным условиям данного полигона.

Рассмотренные в работе показатели почвы как среды обитания живых организмов позволяют оценить экологическую нишу сообщества. Установлены количественные характеристики экологических ниш видов, отмеченных на исследуемом полигоне, – маргинальности и специализации. Впервые для характеристики экологических ниш почвенных животных использованы фитоиндикационные шкалы и экоморфический анализ структуры растительного сообщества, а также физиономические типы растительности.

Выделение функциональных групп почвенных животных и наложение на них экоморфических характеристик, показывает высокую информационную ценность и соответствие индикационных шкал для описания реально существующих типов режимов в экосистемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Andrusevych, E. V., Lagunina, V. G., 2013.** Harakteristika usadki dornovo-litogennyih pochv na lessah po profilyu [The shrink characteristic of the sod-lithogenic soil on the loess loam in the profile]. Materials of the International Scientific Conference, Donetsk. 101–103 (in Russian).
- Bathke, G. R., Cassel, D. K., Hargrove, W. L., Porter, P. M., 1992.** Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. *Soil Science*. 154, 316–328.
- Belgard, A. L., 1971.** Stepnoe lesovedenie [Steppe forestry]. *Lesnaya promyshlennost*, Moscow (in Russian).
- Bondar, G. A., Zhukov, A. V., 2011.** Ekologicheskaya struktura rastitelnogo pokrova, sformirovannogo v rezultate samozarastaniya dornovo-litogennyih pochv na lessovidnyih suglinkah [Ecological structure of vegetation, formed as a result of self-overgrowing sod-lithogenic soil on loess loam]. *Bulletin of the Dnepropetrovsk State Agrarian University*. 54–62 (in Russian).
- Buligin, S. Yu., Oprishko, O. O., Gaybura, N. A., Bivolakh, D. I., 2005.** Vznachennya umistu gumusu v grunti nekontaktnimi metodami [Determination of the contents of humus in the soil non-contact methods]. *Journal of Agricultural Science*. 34–37 (in Ukrainian).
- Demidov, A. A., Kobets, A. S., Gritsan, Yu. I., Zhukov, A. V., 2013.** Prostranstvennaya agroekologiya i rekultivatsiya zemel [Spatial agroecology and reclamation]. *Svidler A. L., Dnipropetrovsk* (in Russian).
- Dospikhov, B. A., 1979.** Metodika opyitnogo dela [Methodology of experimental work]. *Kolos, Moscow*, (in Russian).
- Dray, S., Legendre, P., Peres-Neto, P., 2006.** Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbours matrices (PCNM). *Ecological Modelling*. 196, 483–493.
- Faechner, T., Pyrcz, M. J., Deutsch, C. V., 2000.** Prediction of Yield Response to Soil Remediation. *Geoderma*. 97, 21–38.
- Gilyarov, M.S., 1965.** Zoologicheskii metod diagnostiki pochv [Zoological method of diagnosis of soil]. *Moscow, Nauka* (in Russian).
- Hall, L., Krausman, P., Morrison, M., 1997.** The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*. 25, 173–182.
- Hutchinson, G. E., 1957.** Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology*. 22, 415–427.
- Kunakh, O. N., Kolyada, V. V., 2010.** Otobrazhenie tehnozemo v geograficheskom i ekologicheskom prostranstvakh [Displaying of the tehnozem in the geographical and ecological space]. *Bulletin of the Dnepropetrovsk State Agrarian University*. 56–60 (in Russian).
- Kunakh, O. N., Zhukov, A. V., Balyuk, Yu. A., 2013.** Prostranstvennaya organizatsiya soobschestva pochvennyih mezopedobiontov v usloviyah rekreatsionnoy nagruzki v lesoparkovom nasazhdenii [Spatial organization of soil mesopedobionts under load recreational park plantations]. *Biological Bulletin of The Melitopol State Pedagogical University*. 274–286 (in Russian).
- Matveyev, N. M., 2003.** Optimizatsiya sistemyi ekomorf rasteniy A. L. Belgarda v tselyah fitoindikatsii ekotopa i biotopa [The System Optimization of the A. L. Belgard's ecomorphs of plants in order phytoindication ecotope and habitat]. *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*. 105–113 (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2009.** Tverdost pochvyi [The soil hardness]. *Gorodskaya tipografiya, Kharkiv* (in Russian).
- Milchunas, D. G., Lauenroth, W. K., 1995.** Inertia in plant community structure: state changes after cessation of nutrient-enrichment stress. *Ecological Applications*. 5, 452–458.
- Pennisi, B. V., M. van Iersel, 2002.** 3 ways

to measure medium EC. *GMP*. 22(1), 46–48.

Samsonova, V. P., 2008. Prostranstvennaya izmenchivost pochvennykh svoystv: Na primere dernovo-podzolistykh pochv [Spatial variability of soil properties: the example of sod-podzolic soils]. Izdatelstvo LKI, Moscow. (in Russian).

Shein, Ye. V., 2005. Kurs fiziki pochv [Rates of soil physics]. Izdatelstvo Moskovskogo Universiteta, Moscow (in Russian).

Shemavnev, V. I., Gordiyenko, N. A., Dyrda, V. I., Zabaluyev, V. A., 2005. Ustoychivoe razvitie slozhnykh ekotekhnosistem [Sustainable development of the complex ekotekhnosystems]. Avantazh, Dnipropetrovsk (in Russian).

Tarasov, V. V., 2005. Flora Dnipropetrovskoyi ta Zaporizkoyi oblastey. Sudinns roslini. Biologoekologichna charakteristika vidsv [Flora of Dnipropetrovsk and Zaporizhzhya regions. Vascular plants. Biologoekological characteristic species]. Vidavnistvo DNU, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).

Tilman, D., 1984. Plant dominance along an experimental nutrient gradient. *Ecology*. 65, 1445–1453.

Tilman, D., 1987. Secondary succession and the pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients. *Ecological Monographs*. 57, 189–214.

Tsyganov, D. N., 1983. Fitoindikatsiya ekologicheskikh faktorov v podzone hvoynshirokolistvennykh lesov [Phytoindication environmental factors in the subzone of mixed coniferous-deciduous forests]. Nauka, Moscow (in Russian).

Uzbek, I. Kh., Galagan, T. I., 2004. Fiziko-himichni vlastivosti edafotopiv tehnogennih landshaftiv i yih ekologo-ekonomichne

znachennya [Physical and chemical properties of the edafotops of techogenic landscapes and their ecological and economic importance]. *Eurasian Soil Science*. 102–106 (in Ukrainian).

Verhagen, A., Booltink, H. W. G., Bouma, J., 1995. Site-specific management: Balancing production and environmental requirements at farm level. *Agric. Syst.* 49, 369–384.

Vinton, M. A., Burke, I. C., 1995. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in short-grass steppe. *Ecology*. 76, 1116–1133.

Volokh, P. V., Uzbek, I. Kh., 2010. Suchasniy Gruntogenez na rekultivovanih ltozemah zoni stepu Ukrayini [Modern forming process on reclaimed soils in the Steppe Zone of Ukraine]. *Bulletin of the Dnepropetrovsk State Agrarian University*. 39–47 (in Ukrainian).

Zadorozhnaya, G. A., 2012. Prostorova organlzatsiya dernovo-litogennih gruntiv na siro-zelenih glinah [Spatial variability of hardness of the sod-lithogenic soils on the gray-green clay]. *Biological Bulletin of The Melitopol State Pedagogical University*. 48–57 (in Ukrainian).

Zhukov, A. V., Zadorozhnaya G. A., Andrusevich Ye. V., 2012. Optimalnaya strategiya otbora pochvennykh obraztsov na osnovanii danykh ob elektricheskoy provodimosti tehnomezov [The optimal strategy for soil sampling on the basis of data on the electrical conductivity of tehnomez]. *Biological Bulletin of The Melitopol State Pedagogical University*. 64–80 (in Russian).

Zhukov, O. V., 2009. Ekomorfichniy analiz konsortsly gruntovih tvarin [Ekomorphical analysis of the soil animals consortium]. Svidler A. L., Dnipropetrovsk (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 28.03.2014

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. О. В. Мацюра