

УДК 595.762.12:591.4:57.04

В. А. Слинько, В. В. Бригадиренко, О. Е. Пахомов

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
Bembidion varium (Carabidae, Coleoptera)
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара
пр. Гагарина, 72, Днепропетровск, 49050, Украина, brigad@ua.fm

Оценена морфологическая изменчивость *Bembidion varium* (Olivier, 1795) в эталонных экосистемах, в условиях нерегулируемого выпаса скота и под воздействием промышленного загрязнения. Для трех популяций характерно близкое к нормальному распределение морфометрических характеристик. Наиболее тесная связь наблюдается между шириной головы и переднеспинки. Наименьшие отличия между полами выявлены для популяции, находящейся в условиях чрезмерного выпаса скота, а максимальные – по ширине головы, переднеспинки и надкрыльев на участках с выраженным промышленным загрязнением.

V. O. Slin'ko, V. V. Brygadyrenko, O. Y. Pakhomov

**MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF *Bembidion varium* (Carabidae, Coleoptera)
IN THE CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC PRESS**

Oles' Gonchar Dnipropetrovsk National University
Gagarin ave., 72, Dnipropetrovsk, 49050, Ukraine

Morphological variability of *Bembidion varium* (Olivier, 1795) in undisturbed ecosystems, conditions of unlimited pasture press and under impact of industrial contamination was estimated. The 3 populations of this species had normal distribution of morphological characteristics. The close connection was observed between widths of cephalon and prothorax. The minimum sexual differences of characteristics were detected for population in conditions of unlimited pasture press, the highest differences on the width of cephalon, prothorax and elytrae were found on areas under impact of industrial contamination.

Введение

Приспособление живых организмов к изменениям условий окружающей среды сопровождается формированием адаптаций, одним из проявлений которых является морфологическая изменчивость. Форма и линейные размеры тела во многом связаны с приспособлениями организма к условиям обитания (питанию, размножению) (Животовский, 1979; Matthieu et al., 1997; Paetzold et al., 2005). Морфологические изменения в популяциях подстилочных групп беспозвоночных животных позволяют оценить состояние качества среды обитания (Hodkinson, Jackson, 2005). Биологические объекты накапливают (суммируют) эффекты воздействия фактора за определенный промежуток времени. Результаты влияния фактора определяются с одной стороны продолжительностью, интенсивностью и синергизмом с другими воздействиями окружающей среды, а с другой – эффективностью компенсаторных механизмов на молекулярном, генетическом, клеточном, организменном, популяционном и экосистемном уровнях.

Чаще всего морфологические изменения оценивают с помощью морфометрических индексов или используя многомерные методы статистического анализа (оценка коррелирующих комплексов взаимосвязанных признаков). Такие методы позволяют выявить индикаторные признаки, наиболее чувствительные к воздействию тестируемых факторов (Аналіз ..., 2008). Отбор, осуществляемый на уровне индивидов, элиминирует особи, недостаточно приспособленные к конкретным условиям обитания, изменяя не только средние значения признака или индекса, но и приводя к изменениям параметров статистического распределения, диапазона изменчивости характеристики, отражая оптимальный уровень приспособления организма к конкретным значениям факторов окружающей среды (Вершинин, 1990).

Степная зона Украины трансформирована многолетними воздействиями сельского хозяйства и промышленности. Из-за нерационального использования территории во многих частях степной зоны сохранилось не более 20–30 % природных экосистем. Например, в Днепропетровской области проводится добыча угля, марганца и железной руды, налажено производство строительных материалов, распаханно более 75 % территории, еще 9 % занято населенными пунктами, путями

сообщений, местами хранения отходов. Особенно интенсивное воздействие осуществляется на долины степных рек. Скопление промышленных и бытовых отходов на пойменных участках ведет к коренной трансформации растительных сообществ и почвенного покрова (Барановский, 2000; Тарасов, 2005), а нерегулируемый выпас скота резко усиливает темпы деградации биологических сообществ (Behan-Pelletier, 1999).

Река Волчья протекает по территории Донецкой, Запорожской и Днепропетровской областей. Это самая большая из малых рек степной зоны Украины (длина – 336 км, площадь бассейна – 13320 км²). Волчья имеет 96 притоков, общая длина которых достигает 2370 км. Вместе с рекой общая длина речной сети составляет 2740 км, плотность речной сети – 0,21 км/км². Река Волчья аккумулирует загрязнения различных производственных предприятий и, в связи с этим, является удобным объектом для биоиндикационных исследований всей суммы антропогенных воздействий на биологические объекты на популяционном уровне.

Подстилочная фауна аккумулирует на себе воздействие антропогенных факторов, концентрирует эффекты выбросов почвенного покрова, водных объектов и воздушной среды (Nahmani, Lavelle, 2002). Животные средней величины являются удобным объектом биоиндикационных исследований, так как они обычно достигают достаточно высокой численности на небольшой территории с определенным уровнем загрязнения и имеют невысокую миграционную активность (Biotic indicators ..., 2003). Жужелицы являются одной из наиболее массовых и исследованных групп беспозвоночных (Matalin, 2003; Traugott, 1998).

В околородных экосистемах Днепропетровской области зарегистрировано около 160 видов жужелиц (Бригадиренко, 2003). Миграционная активность жужелиц наиболее выражена в околородных сообществах, что позволяет сравнить между собой только достаточно отдаленные участки, находящиеся на расстоянии более 5 км друг от друга (Sadler et al., 2004). Один из массовых видов жужелиц околородных экосистем в степной зоне – *Bembidion varium* (Olivier, 1795). Его целесообразно использовать для оценки трансформированности территорий. Цель данной работы – оценить морфологическую изменчивость популяций *B. varium* в околородных экосистемах реки Волчья, выявить индикаторные характеристики для воздействия выпаса скота и промышленных загрязнений.

Материал и методы исследований

Исследования популяционной морфологической изменчивости рода *Bembidion* в Днепропетровской области проведены на массовом виде *Bembidion varium* (Olivier, 1795) (*Carabidae*, *Coleoptera*). Его длина – 3,8–5,0 мм. Окраска зеленая или бронзово-черная, усики и ноги темно-бурые. Надкрылья с многочисленными светло-желтыми пятнами. Плечевой бугорок надкрылий темный. Жуки обитают на влажной глинистой почве. Питаются мелкими *Oligochaeta* и личинками насекомых (например *Heterocerus*, *Ochthebius*). Размножение проходит весной (Яблоков-Хнзорян, 1976; Lindroth, 1972).

Исследования проводили в апреле–октябре 2006–2008 гг. на пробных площадях, которые отражают основные условия различных типов околородных экосистем реки Волчья. Для количественного учета беспозвоночных в гигрофильных биотопах использовали биоценометр (площадью 0,25 м²) и метод ручного разбора подстилки, сбор с помощью эксгаустера (Крыжановский, 1983; Thiele, 1977).

Для данной работы использовали выборки из трех районов Днепропетровской области (Покровский, Васильковский, Павлоградский).

Биотопы, в которых проводили исследования, выбирали в зависимости от вида антропогенного воздействия. Трудно найти на территории степной зоны участки, изолированные от влияния промышленного и сельскохозяйственного производства. Близки к эталонному состоянию природные околородные сообщества на территории Покровского района (популяция I), где практически отсутствует промышленное производство, и сохранились ненарушенные участки лесных, степных, околородных биотопов. Нерегулируемый выпас скота, ведущий к деградации растительного покрова, оказывает наибольшее воздействие на популяцию II в Васильковском районе, который расположен ниже по течению реки Волчья и незначительно загрязнен выбросами промышленности. Анализ воздействия промышленного производства проводили на примере популяции III в Павлоградском районе (центр промышленного производства – Павлоградский механический завод, Павлоградский химический завод, Павлоградуголь) – нижнее течение реки Волчья.

Для оценки популяционной изменчивости *B. varium* использовали как морфометрические линейные показатели, так и индексы пропорций тела (Шарова, 1981).

Измеряли 14 морфологических признаков с использованием бинокля МБС–10 с окуляр-микрометром (точность – 10 мкм). Измерение длины частей тела (голова, переднеспинка, надкрылья) проводили по средней линии (сaphalon – L_c , prothorax – L_p , elytrae – L_e). Длину головы определяли от переднего края наличника, ширину надкрылий – в самом широком месте (Se), головы – вместе с глазами (Sc). У многих видов жужелиц значительно варьируют параметры переднеспинки, поэтому оценивали также ширину переднего и заднего краев переднеспинки, ее максимальную ширину (Sp_1 , Sp_2 , Sp_m). Измеряли расстояние между щетинконосными порами на правом и левом надкрыльях (L_{2l} , L_{2r}), а также расстояние от основания надкрылья до первой щетинконосной поры (L_{1l} , L_{1r}), рассматривали преобладание мандибул (m).

Вычислены 7 индексов пропорций тела:

$\frac{Sp_1}{Sp_2}$ – отношение ширины переднего края переднеспинки к ширине заднего;

Sp_2

$\frac{Sp_m}{Se}$ – отношение максимальной ширины переднеспинки к максимальной ширине надкрылий;

$\frac{Sp_1 + Sp_2}{2Sp_m}$ – отношение полусуммы ширины переднего и заднего краев переднеспинки к ее максимальной

ширине;

$\frac{L_p}{Le}$ – отношение длины переднеспинки к длине надкрылий;

Le

$\frac{2Sc}{Sp_m + Se}$ – отношение ширины головы с глазами к полусумме максимальной ширины переднеспинки и

надкрылий;

$SDCh$ – среднее квадратическое отклонение по расстоянию между порами;

$\frac{L_p}{Sp_m}$ – отношение длины переднеспинки к ее максимальной ширине.

Sp_m

Результаты и их обсуждение

Линейные промеры. Межпопуляционная изменчивость *B. varium* для обоих полов зарегистрирована по ширине переднего края переднеспинки ($F=4,42$ при $F_{0,05}=2,67$, $p<0,05$), ее максимальной ширине ($F=5,45$, $p<0,01$) и длине ($F=3,31$, $p<0,05$), а также по расстоянию между щетинконосными порами на правом надкрылье ($F=3,42$, $p<0,05$). Для особей популяции I по сравнению с особями других популяций характерны наибольшие значения максимальной ширины переднеспинки, а представители популяции III имеют более длинную и широкую переднюю ее часть, максимальное расстояние между щетинконосными порами на правом надкрылье. Для всех трех популяций характерно сохранение близкого к нормальному распределению основных линейных признаков.

По результатам кластерного анализа среди всех морфологических характеристик наибольшая зависимость наблюдается между шириной головы и максимальной шириной переднеспинки (рис. 1). Отдельный кластер составляет ширина переднего и заднего краев переднеспинки. Еще один блок образуют расстояния между щетинконосными порами на правом и левом надкрыльях. Пол и преобладание мандибул изменяются не зависимо от других линейных признаков.

Морфометрические индексы. Анализ морфометрических признаков не дает полного представления о популяционной изменчивости вида. Более информативными являются индексы пропорций тела (Шарова, 1981). Межпопуляционные отличия имаго наблюдали по индексам:

$\frac{Sp_1 + Sp_2}{2Sp_m}$

($F=8,32$ при $F_{0,05}=2,74$, $p<0,001$) и $\frac{L_p}{Sp_m}$ ($F=3,99$ при $F_{0,05}=2,74$, $p<0,05$). При сравнении отдельно взятых

самок и самцов у последних выявлены достоверные изменения индексов $\frac{Sp_1}{Sp_2}$ ($F=4,39$ при $F_{0,05}=3,29$,

Sp_2

$p<0,05$), $\frac{L_p}{Sp_m}$ ($F=4,32$ при $F_{0,05}=3,29$, $p<0,05$) между популяциями (табл. 1).

Sp_m

Кластерный анализ морфометрических индексов показывает наибольшую связь между изменениями $\frac{Sp_m}{Se}$, $\frac{L_p}{Sp_m}$, $\frac{2Sc}{Sp_m + Se}$ и $\frac{Sp_1 + Sp_2}{2Sp_m}$ (рис. 2). Можно предположить, что параметры головы и

переднеспинки взаимосвязаны. Отдельный блок образуют $\frac{Lp}{Le}$ и $SDCh$. Это указывает на зависимость расстояния между щетинконосными порами от длины тела.

Таблица 1

Изменчивость морфометрических индексов
Bembidion varium (Olivier, 1795) под воздействием антропогенных факторов в условиях степной зоны Украины

Индексы	Популяция	Пол	Значение индекса	Половой диморфизм			Межпопуляционные отличия	
				$F_{0,05}$	F	p	F при $F_{0,05}=3,11$	p
$\frac{Sp_1}{Sp_2}$	1	♀	0,96 ± 0,053	4,17	0,22	>0,05	1,90	>0,05
		♂	0,95 ± 0,048					
	2	♀	0,96 ± 0,051	4,20	9,91	<0,01		
		♂	0,93 ± 0,047					
	3	♀	0,96 ± 0,049	4,38	0,01	>0,05		
		♂	0,96 ± 0,050					
$\frac{Sp_m}{Se}$	1	♀	0,73 ± 0,078	4,17	0,73	>0,05	1,97	>0,05
		♂	0,71 ± 0,051					
	2	♀	0,71 ± 0,062	4,20	1,80	>0,05		
		♂	0,72 ± 0,048					
	3	♀	0,71 ± 0,075	4,38	0,27	>0,05		
		♂	0,70 ± 0,080					
$\frac{Sp_1 + Sp_2}{2Sp_m}$	1	♀	0,75 ± 0,032	4,17	0,20	>0,05	10,82	<0,001
		♂	0,75 ± 0,028					
	2	♀	0,76 ± 0,026	4,20	0,01	>0,05		
		♂	0,76 ± 0,060					
	3	♀	0,78 ± 0,061	4,38	0,61	>0,05		
		♂	0,79 ± 0,078					
$\frac{Lp}{Le}$	1	♀	0,32 ± 0,023	4,17	0,15	>0,05	0,48	>0,05
		♂	0,32 ± 0,033					
	2	♀	0,32 ± 0,016	4,20	8,49	<0,01		
		♂	0,33 ± 0,025					
	3	♀	0,32 ± 0,020	4,38	0,89	>0,05		
		♂	0,33 ± 0,024					
$\frac{2Sc}{Sp_m + Se}$	1	♀	0,67 ± 0,044	4,17	0,02	>0,05	0,70	>0,05
		♂	0,67 ± 0,043					
	2	♀	0,66 ± 0,036	4,20	1,23	>0,05		
		♂	0,67 ± 0,030					
	3	♀	0,66 ± 0,034	4,38	0,70	>0,05		
		♂	0,67 ± 0,035					
$SDCh$	1	♀	0,03 ± 0,039	4,17	0,37	>0,05	0,93	>0,05
		♂	0,03 ± 0,036					
	2	♀	0,03 ± 0,057	4,20	1,34	>0,05		
		♂	0,02 ± 0,025					
	3	♀	0,03 ± 0,061	4,38	2,07	>0,05		
		♂	0,02 ± 0,016					
$\frac{Lp}{Sp_m}$	1	♀	0,70 ± 0,049	4,17	0,28	>0,05	5,50	<0,01
		♂	0,70 ± 0,076					
	2	♀	0,70 ± 0,042	4,20	1,55	>0,05		
		♂	0,71 ± 0,062					
	3	♀	0,71 ± 0,065	4,38	5,67	<0,05		
		♂	0,71 ± 0,065					

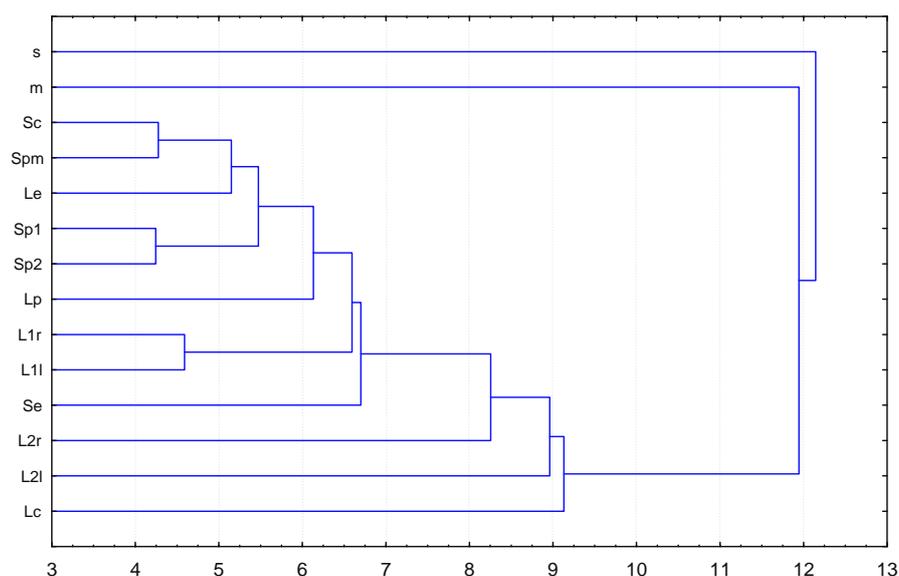


Рис. 1. Связь между изменчивостью основных морфологических признаков *Bembidion varium* (Olivier, 1795): названия характеристик приведены в разделе «Материалы и методы исследований»

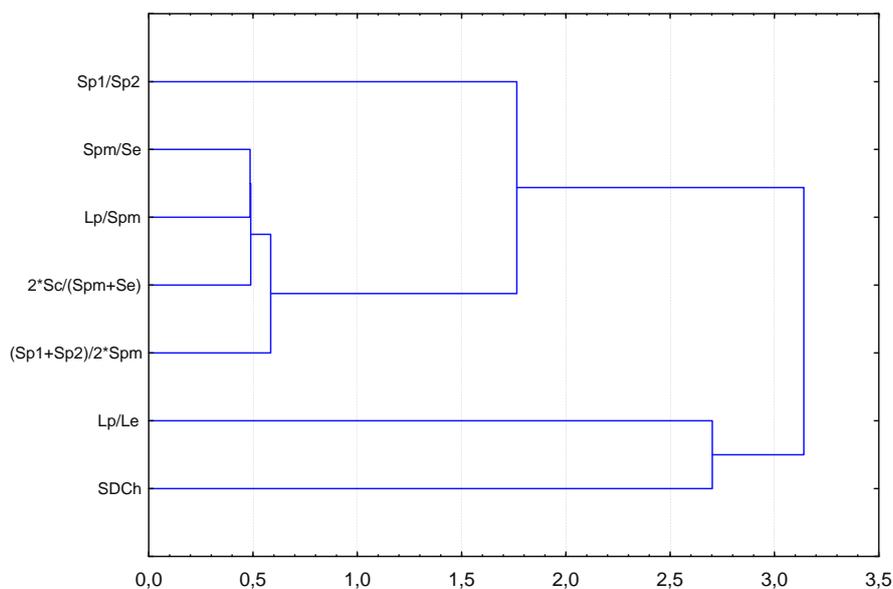


Рис. 2. Связь между изменчивостью морфометрических индексов *Bembidion varium* (Olivier, 1795): названия характеристик приведены в разделе «Материалы и методы исследований»

Половой диморфизм. Внутрипопуляционная изменчивость, обусловленная как генетическими факторами, так и факторами окружающей среды, является индикатором стойкости популяции в условиях антропогенного воздействия. По эволюционной теории пола В. А. Геодакяна (1965, 1983) оценить состояние экологической среды можно, сравнивая основные характеристики особей женского и мужского пола. В стабильной (оптимальной) среде, когда нет «необходимости ничего менять», сильны консервативные тенденции и эволюционная пластичность минимальна (снижается количество самцов в популяции, уменьшается выраженность полового диморфизма). В неблагоприятной (экстремальной) среде, когда требуется повысить пластичность, усиливаются оперативные тенденции (растут различия между полами).

По результатам однофакторного дисперсионного анализа самцы и самки *B. varium* для объединенных выборок из трех рассмотренных популяций достоверно отличаются по длине головы ($F=4,53$ при $F_{0,05}=1,69$, $p<0,05$) и отношению ширины переднего и заднего краев переднеспинки

($F=4,43$ при $F_{0,05}=1,75$, $p<0,05$). Отличия по другим морфометрическим параметрам не достоверны и это вызывает интерес. Таким образом, для данного вида характерен наиболее выраженный половой диморфизм по промерам передней части тела (головы и переднеспинки), в то время как у самок других видов жужелиц чаще увеличиваются размеры брюшка и надкрылий.

Внутри популяций изменчивость значительна. В соответствии с теорией полового отбора В. А. Геодакяна (1983) в оптимальных условиях половой диморфизм линейных характеристик должен быть минимальным. По оценкам состояния фитоценоза и статистических данных о выбросах загрязняющих веществ оптимальными для *B. varium* должны быть условия Покровского района (популяция I). Однако наименьшие отличия между полами выявлены для популяции II (Васильковский район), где перевыпас скота ведет к деградации растительности, распространению рудеральных видов, развитию осолонцевания. Накопление экскрементов крупного рогатого скота на поверхности почв ведет к увеличению биомассы *Collembola*, личинок *Diptera*, *Coleoptera*, *Nematoda*, *Oligochaeta*, которые являются потенциальными объектами питания для *B. varium*. Как и ожидалось, максимальные отличия по ширине головы, переднеспинки и надкрыльев отмечены на участках с выраженным промышленным загрязнением (популяция III) в результате сжигания твердого ракетного топлива баллистических ракет СС-20 на Павлоградском механическом заводе. Кроме того, сильно выражено на данной территории аэрогенное загрязнение шахт производственного объединения «Павлоградуголь» и других предприятий.

Половой диморфизм по всем выделенным индексам у особей популяции I не выражен, что не характерно для представителей II и III (см. табл. 1). Значение F -критерия колеблется в пределах 0,20–0,73 при пороговом значении отличий (5 %-ный уровень достоверности) – 4,17. То есть пропорции тела в ненарушенных антропогенным воздействием популяциях *B. varium* остаются неизменными, меняются лишь линейные характеристики.

В условиях перевыпаса скота (популяция II Васильковского района) изменяется соотношение переднего и заднего краев переднеспинки $\frac{Sp_1}{Sp_2}$. У самцов передний край переднеспинки становится

уже, чем у самок. Также наблюдаются различия по соотношению длин переднеспинки и надкрыльев $\frac{Lp}{Le}$ (см. табл. 1). Биологический смысл этих изменений необходимо исследовать дополнительно.

Вытянутость переднеспинки $\frac{Lp}{Sp_m}$ резко увеличивается у самцов в популяции III. Эту характеристику

можно использовать для биоиндикации промышленного загрязнения.

Выводы

Bembidion varium (Olivier, 1795) (*Carabidae*, *Coleoptera*) – удобный объект биоиндикационных исследований. Его организм отражает прямое воздействие антропогенных факторов и опосредованное через трансформацию растительного покрова изменение соотношения пищевых объектов.

Для трех рассмотренных популяций характерно сохранение близкого к нормальному распределению линейных признаков. Кластерный анализ показывает наибольшую зависимость между шириной головы и максимальной шириной переднеспинки среди всех морфологических характеристик.

Для *B. varium* половой диморфизм значителен по промерам передней части тела (головы и переднеспинки). Наименьшие отличия между полами выявлены для популяции II (Васильковский район), максимальные отличия по ширине головы, переднеспинки и надкрыльев отмечены на участках с выраженным промышленным загрязнением (популяция III).

У особей популяции I половой диморфизм по морфометрическим индексам не выражен. В условиях перевыпаса скота (популяция II) изменяется соотношение переднего и заднего краев переднеспинки. У самцов популяции III резко увеличивается отношение длины переднеспинки к ее максимальной ширине.

Литература

1. Аналіз структури популяцій / В. С. Шебанін, С. І. Мельник, С. С. Крамаренко, В. М. Ганганов. – Миколаїв: МДАУ, 2008. – 240 с.
2. Барановский Б. А. Растительность руслового равнинного водохранилища. – Днепропетровск: Изд-во ДНУ, 2000. – 172 с.

3. Бригадиренко В. В. Фауна жужелиц (*Coleoptera, Carabidae*) Днепропетровской области // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – Вып. 3. – Донецк: ДонНУ, 2003. – С. 78–88.
4. Вершинин В. Л. Морфологические аномалии амфибий городской черты // Экология. – 1990. – № 3. – С. 61–66.
5. Геодакян В. А. О существовании обратной связи, регулирующей соотношение полов // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1965. – Вып. 13. – С. 187–195.
6. Геодакян В. А. Эволюционная логика дифференциации полов // Природа. – 1983. – № 1. – С. 70–80.
7. Животовский Л. А. Показатель сходства популяций по полиморфным признакам // Журнал общей биологии. – 1979. – Т. 40, № 4. – С. 587–602.
8. Крыжановский О. Л. Жуки подотряда *Adephaga*: сем. *Rhysopidae, Trachypachyidae*; сем. *Carabidae* (вводная часть, обзор фауны СССР). – Л.: Наука, 1983. – 341 с.
9. Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біологоекологічна характеристика видів. – Д.: ДНУ, 2005. – 276 с.
10. Шарова И. Х. Жизненные формы жужелиц (*Coleoptera, Carabidae*). – М.: Наука, 1981. – 359 с.
11. Яблоков-Хнзорян С. М. Жужелицы (*Carabidae*). Фауна Армянской ССР: Насекомые жесткокрылые. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1976. – Ч. 1. – 295 с.
12. Behan-Pelletier V. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 1999. – Vol. 74, Is. 1–3. – P. 411–423.
13. Biotic indicators of carabid species richness on organically and conventionally managed arable fields / T. Döring, A. Hiller, S. Wehke et al. // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2003. – Vol. 98, Is. 1–3. – P. 133–139.
14. Hodkinson I. D., Jackson J. K. Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems // Environmental Management. – 2005. – Vol. 35, Is. 5. – P. 649–666.
15. Lindroth C. H. Changes in the fennoscandian ground-beetle fauna (*Coleoptera, Carabidae*) during the twentieth century // Ann. Zool. Fennici. – 1972. – Vol. 9. – P. 49–64.
16. Matalin A. V. Variations in flight ability with sex and age in ground beetles (*Coleoptera, Carabidae*) of southwestern Moldova // Pedobiologia. – 2003. – Vol. 47, Is. 4. – P. 311–319.
17. Matthieu G., Michel L., Tanguy D. Relationships between the regional distribution of carabid beetles (*Coleoptera, Carabidae*) and the abundance of their potential prey // Acta Oecologica. – 1997. – Vol. 18, Is. 4. – P. 465–483.
18. Nahmani J., Lavelle P. Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France // European Journal of Soil Biology. – 2002. – Vol. 38, Is. 3. – P. 297–300.
19. Paetzold A., Schubert C., Tockner K. Aquatic terrestrial linkages along a Braided-River: riparian arthropods feeding on aquatic insects // Ecosystems. – 2005. – Vol. 8, Is. 7. – P. 748–759.
20. Sadler J. P., Bell D., Fowles A. The hydroecological controls and conservation value of beetles on exposed riverine sediments in England and Wales // Biological Conservation. – 2004. – Vol. 118, Is. 1. – P. 41–56.
21. Thiele H. U. Carabid beetles in their environments. – Berlin: Springer-Verlag, 1977. – 369 p.
22. Traugott M. Larval and adult species composition, phenology and life cycles of carabid beetles (*Coleoptera: Carabidae*) in an organic potato field // European Journal of Soil Biology. – 1998. – Vol. 34, Is. 4. – P. 189–197.