



УДК 504.064.2 (470.325)

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-ЗНАЧИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВИДА-БИОИНДИКАТОРА (НА ПРИМЕРЕ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ АЛЕКСЕЕВСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

**И.В. Батлущая**  
**Е.Н. Хорольская**  
**Е.А. Болховитина**  
**О.А. Маканина**

Белгородский  
государственный  
университет,  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85

E-mail: bat@bsu.edu.ru

Применение биоиндикации для оценки состояния среды возможно при наличии адаптированной к региону системы, включающей одновременное использование нескольких информационно-значимых показателей вида биоиндикатора, обитающего в анализируемых биотопах. Материалом для данной работы послужило более 1400 половозрелых особей клопа-солдатика (*Pyrrhocoris apterus* L.) из 3 природных популяций. Авторами было проведено биоиндикационное исследование состояния биоты в Алексеевском районе Белгородской области России, с использованием показателей изменчивости отдельных элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика с учетом их флуктуирующей асимметрии, анализа половой структуры исследуемых популяций, а также анатомо-морфологических особенностей переднеспинки клопа-солдатика.

Ключевые слова: биоиндикация, клоп-солдатик, меланизированный рисунок, изменчивость, наземные экосистемы.

### Введение

Сложность использования биоиндикации для оценки состояния среды и биотических комплексов объясняется затруднениями в оценке экологической значимости многих гомеостатических реакций на клеточном, тканевом, популяционном уровнях на фоне природных изменений антропогенного климатического и сезонного характера.

Применение биоиндикации для оценки состояния среды возможно при наличии адаптированной к региону системы, включающей одновременное использование нескольких информационно-значимых показателей вида биоиндикатора, обитающего в анализируемых биотопах. Преимущества такого подхода усиливаются на фоне отсутствия единой системы нормирования экологических показателей для всех стран и регионов. В качестве биоиндикаторов все чаще предлагают использовать животных. Целесообразность их применения в качестве биоиндикаторов связана с тем, что они взаимодействуют со средой гораздо плотнее, чем человек. Экспериментально показано, что биологические виды более чувствительны к изменениям в среде, чем приборы аналитических исследований. ПДК не учитывают эффектов кумуляции и транслокации, тем не менее, незначительные постоянные дозы трудноразложимых загрязнителей ведут к накоплению последних в природной среде в концентрациях, опасных для биологического сообщества [1, 2].

Насекомые представляют собой один из самых удобных объектов биоиндикации. Их популяции многочисленны, смена поколений происходит быстро, метаболизм характеризуется высоким темпом протекания. Извлеченные из естественных мест обитания, насекомые демонстрируют специфические, часто уникальные ответные реакции на весь спектр химических, физических, климатических факторов, характерных для данной экосистемы. Это обстоятельство позволяет использовать насекомых в качестве биоиндикаторов состояния среды [3, 4].

Далеко не каждый вид насекомых может быть использован в качестве биоиндикатора. Помимо чувствительности к определенным дозам воздействия, вид-индикатор должен отличаться распространенностью, относительно низкой подвижностью и, в этой связи, трофической связью с анализируемым биотопом достаточно большой продолжительностью жизни [2, 5]. Корректность подхода к выбору объектов, напрямую связана с определением явлений и признаков, используемых при биоиндикации. Изучение изменчивости меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика, по мнению авторов, формирует необходимую определяющую триаду в

биоиндикации: виды, явления, признак. В большинстве случаев меланизированный рисунок сформирован из отдельных, легко диагностируемых элементов. Изучение их изменчивости в различных экосистемах позволяет выделить те, которые возможно применять в качестве маркеров определенных экологических состояний [3].

Цель исследования – проведение мониторинга наземных экосистем Алексеевского района Белгородской области. Задачи выполнения данного исследования включали использование следующих биоиндикационных показателей: изменчивость отдельных элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика с учетом их флуктуирующей асимметрии; анализ половой структуры исследуемых популяций; анатомо-морфологические особенности внутреннего строения кутикулы переднеспинки *Pyrrhocoris apterus* L. из различных наземных экосистем.

### Материал и методика

Материалом для данной работы послужило более 1400 половозрелых особей клопа-солдатика из 3 природных популяций Алексеевского района Белгородской области РФ. Авторами использован общепринятый комплекс методов полевого наблюдения и камеральной обработки собранного материала. При фенотипическом описании вариаций элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика использовали ранее составленные каталоги [3, 6]; для изучения анатомо-морфологических особенностей использовали авторскую адаптированную методику приготовления постоянных препаратов, применительно к насекомым [7].

### Результаты и их обсуждение

Из популяции КС-1 всего сделано 3 выборки: летняя, осенняя и весенняя (перезимовавшая). Анализ половой структуры, фенотипического разнообразия и асимметрии вариаций элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика позволил проследить следующие изменения. В половой структуре исследованной популяции во второй выборке по сравнению с первой наблюдается увеличение доли самок (рис. 1).

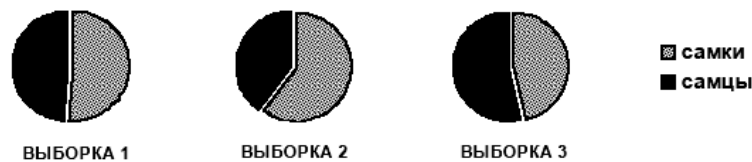


Рис. 1. Динамика половой структуры в популяции КС-1

Наблюдаемая динамика соотношения самок и самцов свидетельствует о популяционной стратегии, направленной на активное размножение. Анализ фенотипического разнообразия и учет асимметрии обнаруженных вариаций элементов меланизированного рисунка покрова указывает на неблагоприятную обстановку анализируемой экосистемы. Малая частота встречаемости особей с вариацией П1 (1 выборка –  $6.1 \pm 4.2\%$ ; 2 выборка –  $19.4 \pm 3.8\%$ ; 3 выборка –  $5.0 \pm 2.0\%$ ), увеличение количества асимметричных элементов и их сочетаний (1 выборка – А, В, А-В, В-D и П-В-D; 2 выборка – А, В, D, А-D, В-D, П-А-В и А-В-D; 3 выборка – А, В, D, А-В, А-D, В-D и А-В-D.), при сходном общем проценте особей с асимметрией вариаций (1 выборка –  $81.8 \pm 6.7\%$ ; 2 выборка –  $81.5 \pm 3.7\%$ ; 3 выборка –  $60.3 \pm 6.7\%$ ) свидетельствуют о том, что экологические условия функционирования исследуемой популяционной системы неблагоприятные. Сравнивая показатели средней частоты асимметричного проявления вариаций элементов меланизированного рисунка покрова, можно оценить условия обитания популяции КС-1 как неблагоприятные. По шкале оценки уровня антропогенного воздействия на экосистемы, разработанной Е.Н. Хорольской [8] анализируемой экосистеме следует присвоить 5 баллов, что соответствует критическому уровню условий существования популяции КС-1. Однако, учитывая адаптационные процессы насекомых исследуемой популяции, важно отметить успешное приспособление к условиям



существования и выделить популяционную стратегию, направленную в анализируемый период времени на размножение и дальнейшее развитие. Анализ половой структуры третьей перезимовавшей выборки дает возможность говорить о том, что популяция благоприятно перенесла зимний период. Преимущество самцов подтверждает сложившуюся стратегию популяции для сохранения генофонда. Условия зимней спячки перенесены удовлетворительно, о чем свидетельствует сохранение соотношения полов поздней осенью и ранней весной. Массовой гибели насекомых не выявлено.

Характеристика фенотипического разнообразия меланизированных элементов покрова клопа-солдатика показала высокую вариабельность элементов П (24 вариации), А (28 вариаций), В (48 вариаций) и D (13 вариаций). Проявление широкой изменчивости элементов меланизированного рисунка клопа-солдатика позволяет положительно охарактеризовать условия существования насекомых. Изучение асимметрии у половозрелых особей показывает большое количество самок, имеющих билатерально симметричный меланизированный рисунок покрова. Это свидетельствует о стабильности условий.

Анализируемый материал популяции КС-2 представлен 4 выборками. Динамика полового соотношения особей представлена на рис. 2.

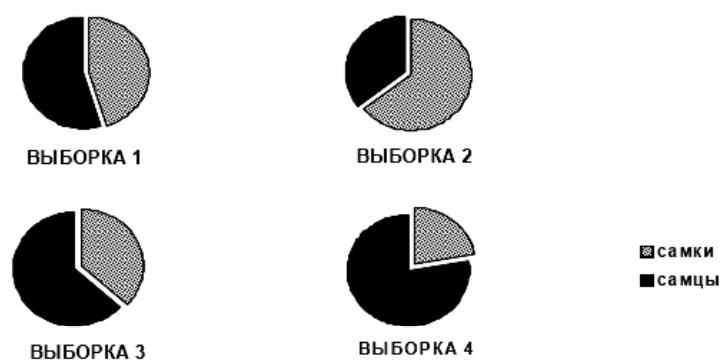


Рис. 2. Динамика половой структуры в популяции КС-2

В данном случае можно предположить, что окружающие условия благоприятно действовали на существование и развитие анализируемой популяции. В третьей выборке наблюдается явное преимущество самцов, что указывает на изменение адапционной стратегии популяции и подготовке к перенесению неблагоприятных условий (зимовке). Анализ фенотипического разнообразия элементов меланизированного рисунка покрова и их асимметрии позволяют охарактеризовать экологические условия обитания популяции КС-2 как неблагоприятные. Об этом свидетельствует низкая частота встречаемости вариации П1 (1 выборка –  $9.9 \pm 2.0\%$ ; 2 выборка –  $15.8 \pm 3.2\%$ ; 3 выборка –  $13.5 \pm 2.7\%$ ; 4 выборка –  $3.9 \pm 1.5\%$ ), меланизированного рисунка покрова; большое разнообразие вариантов асимметричных элементов и их сочетаний; общее количество особей, имеющих асимметрию в меланизированном рисунке (1 выборка –  $77.6 \pm 2.7\%$ ; 2 выборка –  $74.4 \pm 3.8\%$ ; 3 выборка –  $78.5 \pm 3.2\%$ ; 4 выборка –  $62.6 \pm 3.9\%$ ). Сравнение средней частоты асимметричного проявления вариаций элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика (1 выборка – 0.27; 2 выборка – 0.16; 3 выборка – 0.30; 4 выборка – 0.20) позволило подтвердить справедливость ранее высказанного предположения о неблагоприятной экологической обстановке места обитания популяции КС-2. По шкале оценки антропогенного воздействия [8] условия существования природной популяции можно охарактеризовать, как подвергающиеся сильному антропогенному воздействию, а в определенные временные промежутки – критическому.

Анализ полового соотношения весенней выборки показал численное превосходство самцов. Это свидетельствует о том, что популяция насекомых хорошо перезимовала. Повышенное количество самцов демонстрирует способность природной популяции

к лабильным изменениям в случае периодически повторяющихся сезонных ухудшений условий окружающей среды. В этих случаях адаптационная стратегия популяции направлена на сохранение генофонда. Поэтому целесообразно сохранение самцов, имеющих ту же часть генофонда, что и самки, но требующих меньших питательных ресурсов. Проведенные ранее исследования по взаимосвязи меланизированных элементов и внутреннему строению клопов [1] позволяют говорить о существовании топографического соответствия элемента В меланизированного рисунка покрова и расположенных под ним половых желез и жирового тела. Проявление широкого диапазона изменчивости элементов у насекомых популяции КС-2 можно объяснить адаптацией клопов к изменяющимся условиям.

Из популяции КС-3 сделано 2 выборки. Анализ полового соотношения осенней выборки показывает незначительное превосходство самок (рис. 3).



Рис. 3. Динамика половой структуры в популяции КС-3

Данное явление свидетельствует о нарушении стабильности существования анализируемых насекомых.

Частота встречаемости вариации П1 (1 выборка –  $13.2 \pm 1.9\%$ ; 2 выборка –  $4.2 \pm 1.7\%$ ) так же, как и в предыдущих популяциях, невысока. Однако высокий процент особей с асимметрией в меланизированном рисунке (1 выборка –  $82.2 \pm 2.1\%$ ; 2 выборка –  $73.4 \pm 3.7\%$ ) и характеризует условия обитания насекомых как неблагоприятные. Средняя частота асимметричного проявления вариаций элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика: 1 выборка – 0.33; 2 выборка – 0.28. Большая фенотипическая изменчивость элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика, большое разнообразие асимметричных элементов и их сочетаний также свидетельствуют о нестабильности существования анализируемой популяции.

Анализ полового соотношения насекомых весенней выборки показывает незначительное превышение самок. Это свидетельствует о подготовке популяции к размножению, сохранению соотношения полов и благоприятном существовании. Обнаружены широкие вариационные ряды изменчивости элементов П (31 вариация), А (29 вариаций), В (48 вариаций), С (2 вариации) и D (14 вариаций) меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика, которые свидетельствуют о том, что популяция насекомых приспосабливается к изменяющимся условиям обитания. Так же, об этом свидетельствует большое количество насекомых с асимметрией в билатеральном меланизированном рисунке покрова.

В результате исследования анатомо-морфологических особенностей кутикулы переднеспинки клопа-солдатика было показано, что она имеет характерное строение и состоит из 2 основных слоев: эпикутикулы и прокутикулы. Самый наружный слой – эпикутикула: полупрозрачная, тонкая, ее толщина варьирует от 0,75 до 2 мкм; слабо заметна на препаратах. На препаратах отчетливо видно разделение прокутикулы на экзо- и эндокутикулу (рис. 4).

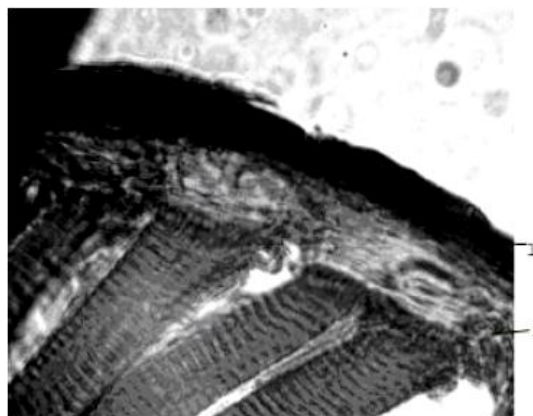


Рис. 4. Кутикула переднеспинки клопа-солдатика, поперечный срез:  
1 – экзокутикула, 2 – эндокутикула

В экзокутикуле видно залегание гранул меланина в наиболее склеротизированных участках, толщина ее составляет 1.83–2.89 мкм. Эндокутикула по толщине



больше экзокутикулы  $20.83 \pm 0.83 - 33.75 \pm 1.25$  мкм, процессы пигментации не выражены, непосредственно прилегает к гиподерме. Ламеллы имеют волокнистое строение, направления волокон перекрещиваются.

Данные по толщине экзо- и эндокутикулы переднеспинки клопа-солдатика представлены в таблице.

Таблица

Толщина основных слоев прокутикулы (мкм)

№ п/п	Алексеевский р-он, Лиман КС-1		Алексеевский р-он, Лиман КС-2		г. Алексеевка, дет сад №1 КС-3	
	экзокутикула	эндокутикула	экзокутикула	эндокутикула	экзокутикула	эндокутикула
1	$2.00 \pm 0.03$	$13.75 \pm 1.25$	$2.03 \pm 0.07$	$13.75 \pm 1.25$	$2.14 \pm 0.12$	$10.82 \pm 0.76$
2	$1.94 \pm 0.06$	$11.00 \pm 0.67$	$2.33 \pm 0.08$	$14.72 \pm 0.50$	$2.32 \pm 0.09$	$10.36 \pm 0.58$
3	$1.97 \pm 0.03$	$13.33 \pm 0.72$	$2.10 \pm 0.10$	$15.50 \pm 0.93$	$2.06 \pm 0.16$	$9.94 \pm 0.45$
4	$1.93 \pm 0.04$	$11.96 \pm 0.66$	$2.10 \pm 0.10$	$16.75 \pm 0.50$	$2.06 \pm 0.29$	$9.81 \pm 0.12$
5	$2.20 \pm 0.06$	$12.86 \pm 0.64$	$2.12 \pm 0.12$	$16.87 \pm 0.62$	$2.05 \pm 0.14$	$9.90 \pm 0.64$
6	$2.00 \pm 0.08$	$12.50 \pm 0.72$	$2.31 \pm 0.09$	$13.37 \pm 0.39$	$1.94 \pm 0.04$	$9.84 \pm 0.14$
7	$1.92 \pm 0.11$	$13.00 \pm 1.17$	$2.00 \pm 0.05$	$14.50 \pm 0.93$	$1.92 \pm 0.08$	$9.00 \pm 0.42$
8	$2.03 \pm 0.07$	$13.59 \pm 1.02$	$2.08 \pm 0.08$	$16.83 \pm 0.60$	$2.08 \pm 0.08$	$10.12 \pm 0.16$
9	$1.95 \pm 0.09$	$11.11 \pm 0.84$	$2.28 \pm 0.09$	$13.75 \pm 0.47$	$1.94 \pm 0.04$	$10.32 \pm 0.20$
10	$2.12 \pm 0.06$	$13.12 \pm 0.62$	$2.20 \pm 0.12$	$15.0 \pm 0.79$	$1.95 \pm 0.05$	$10.95 \pm 0.83$

Толщина экзокутикулы переднеспинки клопа-солдатика популяций КС-1, КС-2 и КС-3 варьирует незначительно от  $1.92 \pm 0.08$  до  $2.33 \pm 0.08$  мкм. Анализ мест обитания этих популяций показал различие условий существования по антропогенному действию. Толщина эндокутикулы переднеспинки клопа-солдатика из популяций КС-1 и КС-2 варьирует от  $11.00 \pm 0.67$  до  $16.87 \pm 0.62$  мкм, что сравнительно отличается в популяции КС-3, где значения несколько меньше –  $9.81 \pm 0.12 - 10.95 \pm 0.83$  мкм. Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что эндокутикула толще экзокутикулы, толщина эндокутикулы в популяции КС-3 меньше, чем в КС-1, КС-2, где наблюдается слабое антропогенное воздействие.

На основе изучения полового соотношения фенотипического разнообразия меланизированного рисунка покрова и внутрииндивидуальной изменчивости клопов-солдатиков, представляется возможным отметить следующее:

1. Показатели половой структуры, фенотипического разнообразия, асимметричного проявления вариаций элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика позволяют оценить условия существования популяций КС-1, КС-2 и КС-3, как неблагоприятные.

2. Стрессовые условия зимовки популяции КС-1, КС-2 и КС-3 перенесли удовлетворительно.

3. Изучено морфологическое строение кутикулы переднеспинки клопа-солдатика, наблюдается различие в толщине экзо- и эндокутикулы у особей изучаемых популяций.

Исследование выполнено в рамках гос. контракта № П2028 и финансовой поддержке ОАО «ЭФКО».

#### Список литературы

1. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов // Успехи современной биологии. – 2002. – Т. 122, №2. – С. 115-135.
2. Кривошук Д.А. Почвенная фауна биоиндикаторов радиоактивных загрязнителей / Радиоэкология почвенных животных. – М.: Наука, 1985. – С. 5-52.
3. Батлуцкая И.В. Изменчивость меланизированного рисунка насекомых в условиях антропогенного воздействия. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2003. – 168 с.
4. Стадницкий Г.В. Растительноядные наземные насекомые и загрязнение среды // Биологические методы оценки природной среды. – М.: Наука, 1978. – С. 58-77.
5. Козлов М.В. Ответные реакции популяций насекомых на антропогенные воздействия. – Красноярск, 1987, – 25 с.



6. Хорольская Е.Н. Гунченко О.А., Батлущая И.В., Глотов В.А. Определение уровня антропогенного воздействия по асимметрии рисунка *Pyrrhocoris apterus* L. // Аграрная наука. – 2006. – №12. – С. 24 - 26.

7. Батлущая И.В., Болховитина Е.А. Молекулярные комплексы кутикулы в анатомо-морфологическом подходе к энтомобиоиндикации наземных экосистем // Сборник учеб.-метод. материалов всерос. шк.-семинара для студ., аспирантов и молодых ученых «Нанобиотехнологии: проблемы и перспективы», сост. 14-17 окт. 2009. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2009 – С. 84-91.

8. Хорольская Е.Н. Батлущая И.В., Глотов В.А. Спектр изменчивости меланизированного рисунка переднеспинки клопа-солдатика // Научные ведомости БелГУ. – 2006. – №3(23). Вып. 4. – С. 186-189.

#### **ENVIRONMENTAL ASSESMENT WITH USING OF INFORMATIVE-SIGNIFICANT PARAMETERS OF A SPECIES-BIOINDICATOR (WITH TERRANEOUS ECOSYSTEMS IN ALEKSEVSKY DISTRICT OF BELGOROD REGION AS AN EXAMPLE)**

**I.V. Batlutskaya  
E.N. Horolskaya  
E.A. Bolkhovitina  
O.A. Makanina**

*Belgorod State University,  
Pobedy Str., 85, Belgorod,  
308015, Russia  
E-mail: bat@bsu.edu.ru*

The application of bioindication for an estimation of a condition of environment is possible if there exists a system adapted to the region and including simultaneous use of several informative-significant parameters of a species-bioindicator living in analyzed biotopes. More than 1400 sexually mature samples of red soldier bug (*Pyrrhocoris apterus* L.) from 3 natural populations served as a material for the work. The authors carried out bioindicator research of a condition of biota in Alekseevsky District of Belgorod Area of Russia with use of parameters of variability of separate elements of melanin figure of a red soldier bug covers in view of their fluctuating asymmetry, analysis of sexual structure of researched populations, and also anatomic-morphological features of red soldier bugs pronotum.

**Key words:** bioindication, red soldier bug, melanin figure, variability, terrestrial ecosystems.