

Раздел III. ЭКОЛОГИЯ И МЕТОДИКА

УДК 575.21.595.754

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО ЗНАЧИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЛУКТУАЦИИ МЕЛАНИЗИРОВАННОГО РИСУНКА ПЕРЕДНЕСПИНКИ КЛОПА-СОЛДАТИКА В БИОИНДИКАЦИИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

И.В. Батлуцкая, В.А. Глотов
г. Белгород

В связи с возрастающим естественным и антропогенным влиянием на биоты важнейшей задачей современных исследований становится разработка фундаментальных основ методов контроля за ответными реакциями живых организмов на прогрессивно увеличивающееся трансформирующее воздействие комплекса факторов на наземные экосистемы [1].

Среди многочисленных современных методов (в основном очень сложных и дорогостоящих) оценки влияния антропогенных факторов на различные биологические объекты в последнее время признание и все большее распространение получают экспресс-методы с помощью биоиндикации качества окружающей среды, основанные на получении объективных данных о комплексном воздействии экологических факторов, включающих использование биоиндикаторных свойств широко распространенных видов [2].

По изменениям визуально выраженных морфофункциональных признаков организмов можно быстро оценить уровень антропогенного пресса. В системе экологического мониторинга результаты биологической экспресс-индикации, при четкой ее организации и проведении, дают возможность выбора методов осуществления последующих химических, токсикологических и биохимических анализов. В отличие от лабораторных токсикологических исследований методы оценки экологического состояния *in situ* ориентированы на изучении организмов в природных экосистемах. Методы биоиндикации позволяют оценить отклик популяций на комплексную экологическую нагрузку [3].

Основное преимущество использования энтомологических видов в системе экологических оценок заключается в том, что они проявляют специфические, часто уникальные ответные реакции на весь спектр химических, физических, климатических, антропогенных и других факторов, характерных для определенной экосистемы [4].

Интегральным показателем уровня функционирования этих видов следует считать интенсивность физиологических процессов, обеспечивающих нормальное развитие организмов. В обычных условиях насекомые реагируют на воздействие среды посредством буферных гомеостатических механизмов [5, 6].

Многочисленность большинства видов насекомых, быстрая смена их генераций, высокий темп протекания метаболических процессов обеспечивают высокую скорость ответных реакций на воздействие различных факторов среды, из которых в современных условиях наиболее существенными являются антропогенные [7, 8, 9].

Успех биоиндикаторных исследований во многом определяется правильным выбором вида-индикатора. Такие виды должны отвечать ряду требований: быть широко распространенными, характеризоваться высокой популяционной численностью, обладать небольшой подвижностью и потому – быть трофически связанными с конкретными местами обитания, иметь широкий диапазон интенсивности метаболических процессов, характеризоваться высокой скоростью размножения (и как следствие – быстрой сменой генераций). Их адаптационно значимые изменения морфофизиологических

процессов должны легко диагностироваться спектром вариаций четко выраженных признаков, специфические закономерности динамики которых в различных экологических условиях несут в себе информацию о степени нарушенности биоты [10].

Показано, что под влиянием дополнительных или измененных по силе действия факторов среды гомеостатические процессы нарушаются, а это способствует быстрому проявлению у насекомых изменений параметров определенных признаков, среди которых наиболее информационно значимыми является изменчивость элементов меланизированного рисунка покрова. Из спектра проявления этого признака на основе ранжирования по биоиндикаторной значимости выделяются вариации того или иного признака, которые можно использовать в качестве маркеров состояния окружающей среды. Цель нашего исследования заключалась в выявлении определенных информационно значимых частот встречаемости вариаций рисунка переднеспинки в биоиндикаторной экспресс-оценке состояния наземных экосистем.

Материал исследования был сформирован по результатам изучения изменчивости элементов меланизированного рисунка покрова шести видов насекомых. Объектами исследований явились: клоп-солдатик (*Pirrhocoris apterus* L.), клоп итальянский (*Graphosoma italicum* Müll.), оса германская (*Vespula germanica* L.), тощий клоп (*Spilosthetus equestris* L.), клоп горчичный (*Eurydema oleracea* L.), божья коровка (*Coccinella distincta* L.).

В основу работы положены материалы, собранные на территории г. Белгорода и в его окрестностях, в Белгородском, Борисовском, Шебекинском, Корочанском, Яковлевском и Чернянском районах Белгородской области. Популяционные сравнительные сборы для выяснения общих и специфических особенностей изменчивости меланизированного рисунка покрова изучаемых видов насекомых производились в Николаевской и Саратовской областях.

Таблица 1

Объем исследованного материала

№ п/п	Объект	Место сбора	Кол-во особей
1	Клоп-солдатик (<i>Pirrhocoris apterus</i> L.)	Белгородская область Алексеевский район Белгородский район Борисовский район Чернянский район Шебекинский район Яковлевский район Николаевская область Саратовская область	150 1845 1502 1600 818 350 985 295 Σ 7545
2	Итальянский клоп (<i>Graphosoma italicum</i> Müll.)	Белгородская область Алексеевский район	400
3	Оса германская (<i>Vespula germanica</i> L.)	Белгородская область Белгородский район	246
4	Клоп горчичный (<i>Eurydema oleracea</i> L.)	Белгородская область Алексеевский район Белгородский район Корочанский район	243 182 198 Σ 623
5	Тошеклоп красивый (<i>Spilosthetus equestris</i> L.)	Белгородская область Белгородский район Корочанский район	166 146 Σ 212
6	Божья коровка (<i>Coccinella distincta</i> L.)	Белгородская область Алексеевский район	800

Сбор полевого материала проводили с 1986 по 2002 гг. При проведении исследования был применен комплекс общепринятых современных экологических и зоологических методов, а также ряд оригинальных методик.

Наряду с традиционными методами статистической обработки полученных данных и системным анализом нами применялся метод анализа иерархий. Этот метод разработан Т. Саати как инструмент планирования и принятия решений в ситуации, когда различные альтернативы должны сравниваться по критериям, не имеющим определённой количественной оценки.

Алгоритм метода анализа иерархий заключается в том, что конструируется многоуровневая иерархическая структура (альтернативы, критерии, задачи, цели и т.п.), горизонтальные элементы которой должны быть максимально независимы (альтернативны). Установили шкалу для перевода качественных параметров в числовые оценки. Использовали арифметическую шкалу от 1 до 9 [12].

Шкала для парного сравнения одноуровневых элементов иерархии

АНР	Качественные (вербальные) суждения
1	Одинаковая значимость
3	Слабое (умеренное) преобладание
5	Существенное (сильное) преобладание
7	Очень сильное преобладание
9	Абсолютное преобладание

Экспертами по приведенной фиксированной шкале попарно индивидуально оценивалась сравнительная значимость всех рассматриваемых показателей одного уровня (целей, критериев, проблем, решений, сценариев и г.д.) с точки зрения элементов вышестоящего уровня иерархии.

Составлялась матрица парных сравнений $A=(a_{ij})$ размерности N с использованием приведенной шкалы для перевода вербальных оценок в количественные.

Вычислялся вектор частных (условных) приоритетов $w=(w_1, w_2, \dots, w_N)$. Это может быть среднее геометрическое элементов каждой строки $w_i=(\prod_j a_{ij})^{1/N}$ матрицы парных сравнений (мультипликативная модификация МАИ) или собственный вектор, соответствующий максимальному собственному значению $Aw=\lambda_{\max}w$.

Определялась степень несогласованности индивидуальных суждений экспертов по каждой матрице $CI=(\lambda_{\max}-N)/(N-1)$ и сравнивалась с таблицей коэффициентов CI для случайной расстановки (в случае согласованности $\lambda_{\max}=N$ и $CI=0$).

№	CI	λ_{\max}
3	0,52	4,04
4	0,89	6,67
5	1,12	9,48
6	1,26	12,30
7	1,36	15,16

№	CI	λ_{\max}
8	1,41	17,87
9	1,46	20,68
10	1,49	23,41
11	1,52	26,20
12	1,54	28,94

Далее проводилось нормирование вектора w . В качестве нормирующего делителя может выступать сумма его координат $\sum w_i$ (схема распределения приоритетов). Этот способ приемлем в случае полного графа связей. Для получения более устойчивых ранжировок, когда в оценке нижнего уровня иерархии участвуют не все критерии или решения неальтернативны, нормирование вектора приоритетов производится по максимальному (опорному) значению (схема опорного приоритета).

По каждой матрице сравнений производилось усреднение мнений экспертов (групповая оценка). Для большей надёжности групповая оценка проводилась различными способами (арифметическая средняя, геометрическая средняя, медиана и др.) с

учётом весов экспертов и качества выполненной ими работы, которое может оцениваться по коэффициенту несогласованности.

При большом количестве экспертов может проводиться их кластеризация (по каждому ранжированию и в целом).

Для получения вектора полных (безусловных) приоритетов на нижестоящем уровне w_1, w_2, \dots, w_N производилась свёртка сверху вниз и вычислялись взвешенные суммы (АНР):

$${}_2w_1 = \sum_k {}_2w_{1k} {}_1w_k \quad \sum_k {}_1w_k = 1,$$

где ${}_1w_k$ – аналогичным образом проведенная ранжировка показателей предшествующего (в данном случае, первого) уровня, ${}_2W = ({}_2w_{ik})$ – матрица, составленная из ранжированных по различным критериям наборов факторов, k – номер критерия, либо взвешенные произведения (МАНР, REMBRANDT):

$${}_2w_1 = \prod_k {}_2w_{ik} {}_1w_k.$$

В общем виде для АНР (аддитивная версия) алгоритм свёртки выглядит так:

$${}_1w \rightarrow {}_2W; \quad {}_2w = {}_2W \cdot {}_1w \rightarrow {}_3W; \quad {}_3w = {}_3W \cdot {}_2w \text{ и т.д.}$$

Исходный пункт иерархии

↓

1 – первый уровень сверху (вектор ${}_1w$);

↓

2 – второй уровень сверху (${}_2W$ – матрица, после свёртывания ${}_2w$ -вектор);

↓

3 – нижний уровень (${}_3W$ – матрица, после свёртывания ${}_3w$ – вектор).

В мультипликативном варианте свёртка производится аналогично, но для логарифмов приоритетов, затем производится потенцирование.

Проведенная комплексная оценка биоиндикаторной значимости показателя изменчивости меланизированного рисунка покрова исследованных видов насекомых позволила определить, что этот показатель оказался самым высоким среди полученных при ранжировании. В этой связи возникла необходимость в детальном изучении особенностей изменчивости элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика и выявления вариаций рисунка, обладающих наибольшей информационной значимостью в оценке степени антропогенного воздействия на наземные экосистемы.

Изменчивость элементов меланизированного рисунка покрова насекомых изучали только у половозрелых особей, у которых полностью закончен процесс формирования рисунка, что исключает проявления онтогенетических процессов, при этом использовалась авторская методика по установлению личиночных стадий клопа-солдатика.

Меланизированный рисунок спинной части покрова клопа-солдатика состоит из рисунка переднеспинки и рисунка надкрылья (рис. 1 А).

На переднеспинке он представлен передней и задней меланизированными полосами. Вариабельной является нижняя часть рисунка, а верхняя изменяется гораздо реже (рис. 1 В). Наши многолетние исследования показали, что изменчивость рисунка переднеспинки наиболее информационно значима при проведении биоиндикаторных исследований.

Непрерывный характер изменчивости рисунка переднеспинки, как показали наши исследования, позволяет выделить вариации меланизированного рисунка переднеспинки клопа-солдатика [4, 11, 14, 15].

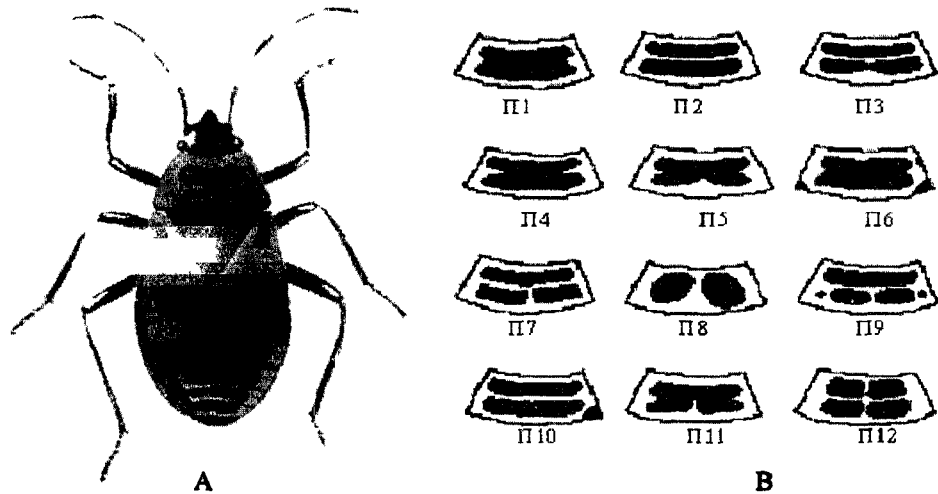


Рис. 1 Внешний вид покрова клопа-солдатика (А) и наиболее распространенные вариации меланизированного рисунка переднеспинки (В)

На основе генеральной совокупности выборок по клопу-солдатику (более 7500 особей) нами выделено и описано 12 наиболее часто встречающихся вариаций меланизированного рисунка переднеспинки. Вариации обозначали как П; каждой из них был присвоен порядковый номер, под которым она дальше фиксировалась.

Из всех выделенных вариаций меланизированного рисунка переднеспинки клопа-солдатика вариация П1 явилась единственной, обнаруженной во всех природных популяциях, но с различной частотой. Изучение непрерывного характера изменчивости меланизированного рисунка покрова переднеспинки позволило нам сделать предположение об эволюционной роли вариаций П1. В контексте данного высказывания представляется возможным рассматривать данную вариацию как исходную для всех остальных.

Анализ распространения вариации П1 в изучаемых выборочных сборах позволил разбить все изученные популяции на три типа в зависимости от степени антропогенного воздействия (АВ):

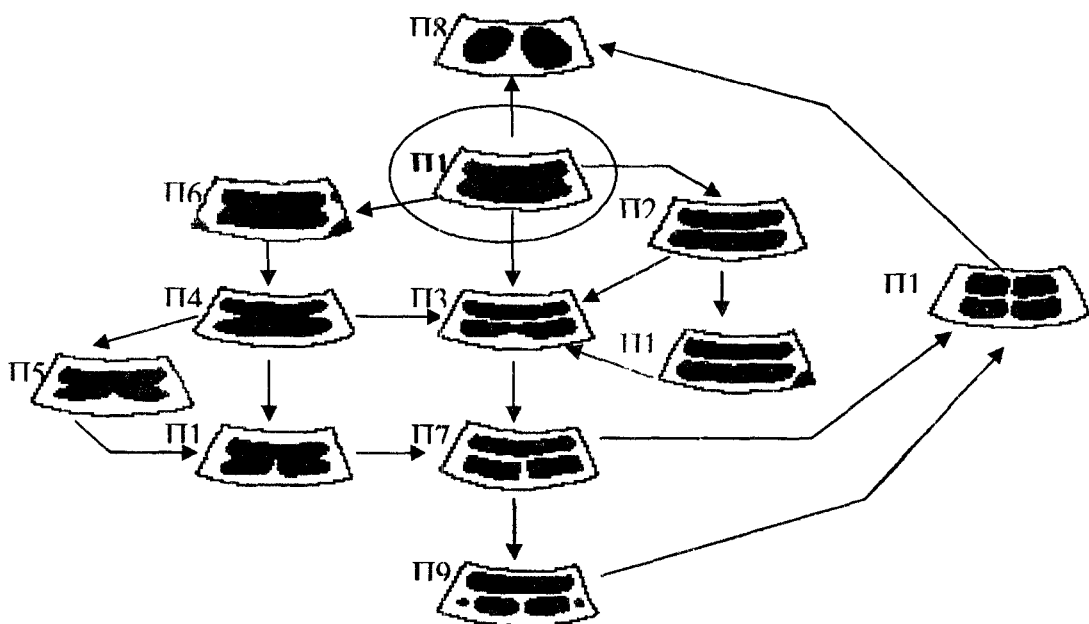


Рис.2 . Взаимосвязь вариации П1 с другими гипами меланизированного рисунка переднеспинки клопа-солдатика

- 1 тип (слабое АВ) от $70,0 \pm 2,3$ до $77,6 \pm 3,1\%$;
 2 тип (среднее АВ) от $40,0 \pm 2,2$ до $65,9 \pm 2,4\%$;
 3 тип (сильное АВ) от $13,5 \pm 2,0$ до $30,7 \pm 2,5\%$.

Показательно, что частоты встречаемости вариации III в этих трех типах популяций имеют неперекрывающиеся значения.

Таким образом, данные внутри- и межпопуляционного анализа частот встречаемости вариаций меланизированного рисунка переднеспинки клопа-солдатика свидетельствуют о возможности использования показателя распространенности вариации III в биотестировании различных наземных экосистем.

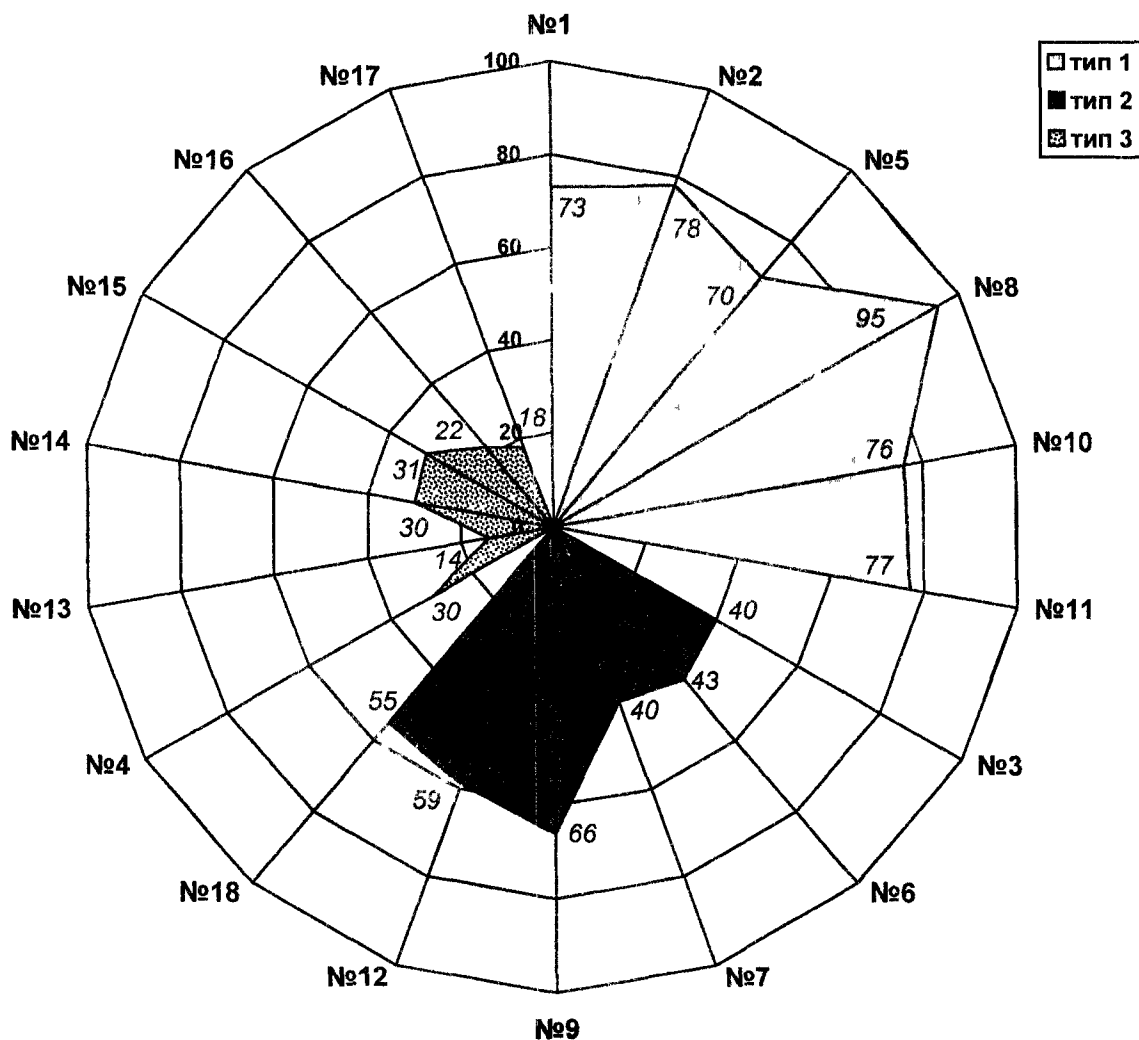


Рис. 3. Встречаемость вариации III рисунка переднеспинки клопа-солдатика в различных природных популяциях

ЛИТЕРАТУРА

1. Тигенберг, Т. Экономика природопользования и охрана окружающей среды : пер. с англ. Т. Тигенберг ; под ред. А. Д. Думнова, И. М. Потравного. – М. : ОЛМА-ПРЕСС, 2000. – 324 с.
2. Лукин, Ю. Н. Анализ техногенного воздействия на экосистемы региона : учеб пособие / Ю. Н. Лукин. – М. : Диалог, 1998. – 342 с.
3. Рюмина, Е. В. Анализ эколого-экономических взаимодействий / Е. В. Рюмина. – М. : Наука, 2000. – 275 с.

4. Батлуцкая, И. В. Морфологическая основа изменчивости меланизированного рисунка переднеспинки клопа-солдатика / И. В. Батлуцкая // Экология в теории и практике : материалы межвуз. науч.-практ. конф. – Белгород, 1992. – Ч. 1. – С. 15-16.

5. Криволицкий, Д. А. Биоиндикация и экологическое нормирование / Д. А. Криволицкий, Ф. А. Тихомиров, Е. А. Федоров // Влияние промышленных предприятий на экологическую среду / отв. ред. Д. А. Криволицкий. – М., 1987. – С. 18-26.

6. Береговой, В. Е. Стабилизация гетерогенности в популяциях полиморфного вида / В. Е. Береговой // Журнал общей биологии. – 1977. – Т. 38, № 2. – С. 182-184.

7. Сергиевский, С. О. Изучение генетического полиморфизма популяций двухточечной божьей коровки *Adalia bipunctata* в Ленинградской области. Состав популяций города Ленинграда / С. О. Сергиевский, И. А. Захаров // Генетика. – 1983. – Т. 19, № 4. – С. 635-640.

8. Сергиевский, С. О. Полифункциональность и пластичность генетического полиморфизма : на примере популяционного меланизма двухточечной божьей коровки *Adalia bipunctata* (L.) / С. О. Сергиевский // Журнал общей биологии. – 1985. – Т. 46, № 4. – С. 491-502.

9. Сергиевский, С. О. Реакция популяций на стрессовые воздействия / С. О. Сергиевский, И. А. Захаров. – М. : Наука, 1989.

10. Батлуцкая, И. В. Экологический и морфологический анализ изменчивости меланизированного рисунка покрова насекомых : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / И. В. Батлуцкая. – Ульяновск, 2004. – 38 с.

11. Батлуцкая, И. В. Закономерности изменчивости меланизированных покровов полужесткокрылых : автореф. дис. ... канд. биол. наук / И. В. Батлуцкая. – Екатеринбург, 1993. – 16 с.

12. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 314 с.

13. Батлуцкая, И. В. Закономерности изменчивости меланизированных покровов полужесткокрылых : дис. ... канд. биол. наук / И. В. Батлуцкая. – Екатеринбург, 1993. – 132 с.

14. Шляхтин, Г. В. Природа изменчивости меланизированных элементов переднеспинки представителей полужесткокрылых / Г. В. Шляхтин, И. В. Батлуцкая // Сборник научных трудов молодых ученых. – Белгород, 1997. – Вып. 2. – С. 173-181.

15. Гончарова, Е. Н. Изучение изменчивости меланизированного рисунка переднеспинки клопа-солдатика в природных популяциях / Е. Н. Гончарова, И. В. Батлуцкая // Сборник научных трудов. – Белгород, 1999. – Вып. 2. – С. 70-71.