

УДК 632.7

ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РИСУНКА ПЕРЕДНЕСПИНКИ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA SAY*) КАК ОЦЕНКА ЗДОРОВЬЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Г. Н. Тихончук

кандидат биологических наук, доцент

Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

А. С. Доронькина

магистрант

Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

В работе представлены результаты изучения состояния окружающей среды на трех модельных участках в течение двух вегетационных сезонов.

*В качестве биоиндикатора использовалась взрослая особь колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata Say*). В статье обсуждается возможность использования полиморфизма рисунка переднеспинки жука в качестве тест-объекта окружающей среды посредством анализа группы фенотипов переднеспинки и степени их асимметричности.*

Ключевые слова: колорадский жук, флуктуирующая асимметрия, биоиндикация, коэффициент оценки состояния окружающей среды, морфа.

Введение

Исследования внутривидовой изменчивости в связи с антропогенными изменениями среды обитания особенно широко развиваются последние десятилетия. Одним из новых направлений таких исследований является изучение флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков.

Особенностью этого направления является то, что в этом случае анализируется особая форма изменчивости – внутри индивидуальное разнообразие как проявление случайной изменчивости развития. Уровень флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков является характеристикой общей стабильности развития, понимая под этим наличие стабилизированного потока, траектории развития. Являясь показателем случайных отклонений в развитии, т. е. стабилизированности развития, флуктуирующая асимметрия одновременно является неспецифическим показателем условий развития, что дает возможность использовать ее для оценки условий существования как естественных, так и искусственных популяций [1]. В связи с этим представляет интерес проведение сравнительного анализа флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков у видов с широким ареалом для оценки стабильности развития в отдельных популяциях и установления связи уровня стабильности развития с теми или иными параметрами среды. Эти исследования позволяют выяснить значения параметров среды, близкие к оптимальным в отношении стабильности развития, и сделать определенные филогенетические выводы [2].

Выбор колорадского (*Leptinotarsa decemlineata Say*) жука в качестве объекта изучения фенотипической изменчивости под влиянием экологических условий на выбранных нами участках обусловлен тем, что он характеризуется обширным внутривидовым полиморфизмом, достаточно сложной популяционной структурой и экологической пластичностью, которые позволяют ему быстро адаптироваться к разнообразным естественным и антропогенным воздействиям. Флуктуирующая асимметрия рисунка надкрылий колорадского жука точно отражает степень антропогенного воздействия и используется для биоиндикации. Характер рисунка переднеспинки позволяет сформулировать представление о норме, о наличии и частоте отклонений от нее и может служить дополнительным критерием оценки степени неблагоприятных условий [3].

© Тихончук Г. Н., 2019

© Доронькина А. С., 2019

Основная часть

Материал был собран на трех модельных приусадебных участках картофельного поля. 1-й участок находился у д. Мосток Могилевского района (место сбора жуков находилось в 400 метрах от шоссе в окружении лесного массива). 2-й участок – у д. Кадино Могилевского района (располагался в 200 метрах от шоссе). 3-я площадка – у д. Добрейка Шкловского района (участок характеризуется расположением в естественной низине и прохождением в 200 метрах железнодорожного полотна). Площадки имели схожий гранулометрический состав почвы, агротехнику возделывания. На всех площадках для выращивания использовался сорт белорусской селекции “Ласунак”, растения которого не обрабатывались инсектицидами, так как этот сорт считается одним из наиболее устойчивых к повреждениям колорадским жуком.

На переднеспинке жука имеются 10-11 черных пятен и полос, которые в совокупности образуют типичный рисунок у жуков этого вида, вариации которого могут рассматриваться как фены. При анализе изменчивости рисунка можно выделить ряд фенов по изменчивости формы центральных полос **A** [4].

Фен **U**: вертикальные полосы расположены отдельно друг от друга.

Фен **H**: вертикальные полосы соединены друг с другом горизонтальной линией.

Фен **V**: полосы соединяются в нижней точке под углом.

Фен **Y**: полосы соединяются под углом и с пятном **P** в нижней точке.

Фен $E_{(3)}$: три пятна объединены в одно. Фен E_3 : три пятна находятся отдельно друг от друга. Фен $E_{(2)+1}$: два пятна соединены в одно, а одно пятно находится на определенном расстоянии от них.

Фен **P**: Крупное, четко выраженное пятно. Фен **p**: Пятно едва заметно, напоминает точку. Фен -: Фен **P** отсутствует.

Группа фенов **A** может образовывать слияния с пятном **B**. Если вертикальные полосы группы пятен **A** слиты с пятнами **B** с обеих сторон, то такой фен обозначают **A**. Если вертикальные полосы группы пятен **A** слиты с пятном **B** только с одной стороны, то такой фен обозначают **AB**. Если вертикальные полосы пятен **A** расположены отдельно от пятен **B**, то такой фен обозначают **B**.

Пятно **D**, расположено между вертикальным пятном **A** и тремя пятнами **E**. Но возможно слияние пятен **E** и **D**, что обозначается как **E+D** (рисунок 1).

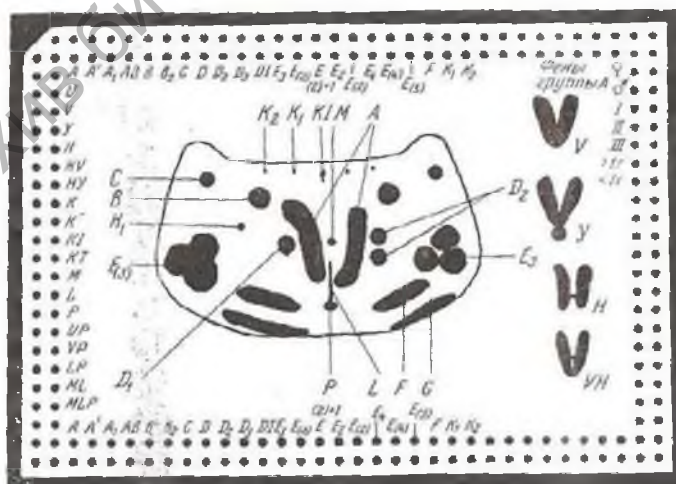


Рис. 1. Схема расположения фенов на переднеспинке колорадского жука

Из всего многообразия наиболее изменчивы фены групп: А, D, E, K. Анализ их изменчивости позволил выделить как самостоятельные фены, так и некоторые их модификации.

Для анализа фенетической изменчивости структуры популяций колорадского жука в данной работе использовались фены: А, В, D, E, P, которые, как показано ниже, могут служить маркерами состояния окружающей среды.

Анализ фенетической структуры переднеспинки на трех участках показал (таблица 1, 2), что каждая из них характеризуется своим набором частот фенов.

Таблица 1 – Анализ фенетической структуры переднеспинки (особей)

Выборка 2016 г.																
Место сбора	Кол-во особей	Фен														
		фены группы А				фены группы E			фены группы P			фены группы АВ			фены группы D	
		V	Y	H	U	E ₍₃₎	E ₃	E ₍₂₊₁₎	P	P	-	A	AB	B	D	D+E
д. Мосток	100	16	0	8	76	180	0	20	48	32	20	54	16	30	192	8
а\г Кадино	100	6	2	24	68	186	0	14	64	10	26	52	18	30	188	12
а\г Добрейка	100	16	0	12	72	176	0	24	56	32	12	42	30	28	192	8

Таблица 2 – Анализ фенетической структуры переднеспинки (особей)

Выборка 2017 г.																
Место сбора	Кол-во особей	Фен														
		фены группы А				фены группы E			фены группы P			фены группы АВ			фены группы D	
		V	Y	H	U	E ₍₃₎	E ₃	E ₍₂₊₁₎	P	P	-	A	AB	B	D	D+E
д. Мосток	100	5	3	14	78	185	0	15	41	8	3	43	18	42	200	0
а\г Кадино	100	15	3	11	74	193	0	7	51	31	18	44	25	31	195	5
а\г Добрейка	100	10	6	27	57	182	1	17	88	8	4	42	26	32	194	6

Из представленных данных в таблицах видно, что для каждой группы фенов есть лидирующая фенормфа, которая преобладает на каждом из трех участков. В фенах группы А чаще всего на трех модельных участках встречается морфа U (количество особей в 2016 г. от 68 до 76%, в 2017 г. от 57 до 78% в зависимости от участка). В фенах группы E для всех участков и в выборках разных лет преобладала морфа E₍₃₎. В 2016 г. ее процент встречаемости колебался в районе 88–93%. В 2017 г. – от 93 до 97%. В фенах группы P преобладала на всех модельных участках морфа P.

В группе фенов АВ преобладает морфа А. В фенах группы D ведущую позицию занимает морфа D: в 2016 г. колебания встречаемости данного признака составило от 94 до 96%, в 2017 г. – от 97 до 100%.

Таким образом, количество каждого фена, соответствующего какой-либо группе, есть своя ниша, свое место, которое данная морфа занимает по отношению к другим морфам своей группы.

С.Р. Фасулати выявил различия между природными популяциями колорадского жука, учитывая формы рисунка переднеспинки как совокупности фенов. Суть метода состоит в следующем: из всего многообразия форм изменчивого вида выбираются 5-10 легко различимых форм и определяются частоты их встречаемости в сравниваемых популяциях в процентах от общего числа особей на примере выборок в несколько сотен экземпляров. Им выделены девять основных форм рисунка центральной части переднеспинки имаго колорадского жука [5; 6]. Фасулати считает, что к этим девяти формам (рисунок 2), можно свести все фактическое разнообразие рисунка на переднеспинке жуков.

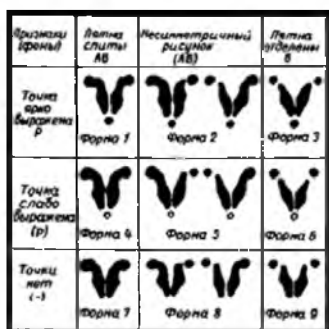


Рис. 2. Девять форм рисунков на переднеспинке колорадского жука (по С.Р. Фасулати, 1985)

Количество форм 2, 5, 8 использовалось как экологический маркер в данном исследовании. Таким способом было проанализировано 600 шт. взрослых особей колорадского жука (таблица 3, 4).

Таблица 3 – Встречаемость форм рисунков переднеспинки колорадского жука (по Фасулати, шт.)

Место сбора	2016 г.								
	Формы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
д. Мосток	16	16	16	32	0	0	6	0	14
а\г Кадино	42	14	8	2	2	6	8	2	16
а\г Добрейка	42	2	12	0	28	0	0	4	12

Таблица 4 – Встречаемость форм рисунков переднеспинки колорадского жука (по Фасулати, шт.)

Место сбора	2017 г.								
	Формы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
д. Мосток	39	6	11	0	11	30	1	1	1
а\г Кадино	30	10	11	2	10	19	12	5	1
а\г Добрейка	39	23	23	0	2	8	3	1	1

Все девять рассматриваемых феноформ имаго встречаются во всех проанализированных популяциях колорадского жука, но с разной частотой. Результаты анализа закономерностей распространения феноформ показали, что форма 1 на всех участках встречается чаще всего (33–36%). Форма 8 встречается реже всего на всех модельных участках.

Наибольшее количество несимметричных особей по признаку А+В+Р было обнаружено как в 2016 г., так и в 2017 г. в а\г Добрейка (таблица 5). Наименьшее количество асимметричных особей было собрано на участке в деревне Мосток, что подтверждает полученные выше результаты о том, что этот участок является наиболее экологически чистым.

Таблица 5 – Количество несимметричных особей по совокупности пятен А+В+Р, шт.

Место сбора	2016 г.	2017 г.
д. Мосток	16	18
а\г Кадино	18	25
а\г Добрейка	34	26

Таким образом, участок в а\г Добрейка является наиболее загрязненным, т.к. при анализе колорадского жука было выявлено наибольшее количество ассиметричных особей (26–34%), а предполагаемо чистым является участок у деревни Мосток (уровень ассиметрии в разные годы колеблется в пределах 16–18%). Процент ассиметричных особей вырос в 2017 г. по сравнению с 2016 г. на модельных участках Мосток и Кадино; в Добрейке коэффициент ассиметричных особей снизился. Такие же результаты были получены при анализе надкрылий имаго колорадского жука [7]. В 2016 г. на участке Добрейка коэффициент ассиметричного проявления был 34%, что соответствует среднему уровню загрязненности. На других участках в разные годы коэффициент флуктуирующей ассиметрии низкий и соответствует норме.

С.Р. Фасулаги в своих трудах предложил методику определения состояния окружающей среды по трем пятнам А, В, Р. Но анализ рисунка переднеспинки колорадского жука показал, что ассиметричными являются не только эти пятна, но и пятна группы Е, D (таблица 6, 7).

Таблица 6 – Анализ групп фенев Е и D, шт.

2016 г.							
Место сбора	феноформы группы Е				феноформы группы D		
	$E_{(3)}/E_{(3)}$	$E_{(3)}/E_{(2)+1}$	$E_{(2)+1}/E_{(2)+1}$	$E_{(3)}/E_3$	D/D	D/D+E	D+E/D+E
д. Мосток	88	4	8	0	96	0	4
а\г Кадино	90	6	4	0	94	0	6
а\г Добрейка	82	12	6	0	96	0	4

Таблица 7 – Анализ групп фенев Е и D, шт.

2017 г.							
Место сбора	феноформы группы Е				феноформы группы D		
	$E_{(3)}/E_{(3)}$	$E_{(3)}/E_{(2)+1}$	$E_{(2)+1}/E_{(2)+1}$	$E_{(3)}/E_3$	D/D	D/D+E	D+E/D+E
д. Мосток	88	5	7	1	100	0	0
а\г Кадино	93	7	0	0	96	3	1
а\г Добрейка	89	9	2	0	95	3	2

Из таблиц видно, что число несимметричных фенев подгруппы Е, увеличивается от первого участка к третьему. Причем в 2016 г. в выборке из 300 особей ни одна не имела феноформу D/D+E в отличие от выборки 2017 г. Возможно, что задержка в развитии жуков из-за погодных условий была причиной появления данных феноформ.

Исходя из полученных данных очевидно (таблица 8), что участок в Добрейке наиболее загрязненный, процент ассиметрии составляет 12%; участку у д. Мосток наиболее чистый, процентное содержание не симметричных особей в выборке 4–6%. Но в целом на всех участках уровень ассиметричного проявления низкий и соответствует норме.

Таблица 8. Количество несимметричных особей по совокупности пятен Е, D, шт.

Место сбора	2016 г.	2017 г.
д. Мосток	4	6
а\г Кадино	6	10
а\г Добрейка	12	12

Таким образом, колорадский картофельный жук, удобный объект изучения полиморфизма: по обилию и доступности материала он может быть сравним лишь с лабораторными культурами насекомых [8]. Полиморфизм рисунка покровов жука

определяется генетическим и экологическим факторами [2], что предполагает возможность использования характера полиморфизма этого вида для биоиндикации. Наиболее подходящими для этих целей представляются следующие признаки: степень меланизма покровов, соотношение форм рисунка, характер и степень асимметрии признаков [1].

При анализе переднеспинки по методу С.Р. Фасулати, особи были разделены на 9 групп в зависимости от вариации пятен А, В, Р, из которых чаще других встречалась форма 1. Асимметричными в этой классификации являлись формы 2, 5, 8.

При анализе переднеспинки по методике, предложенной нами, имаго колорадского жука были разделены на группы в зависимости от вариации пятен группы Е и D. Из группы Е чаще других встречалась феноформа $E_{(3)}/E_{(3)}$, А из группы D лидирующую позицию занимала феноформа D/D. Асимметричными в этой классификации являются феноформы $E_{(3)}/E_{(2)+1}$ и D/D+E.

При проведении анализа надкрылий [7] и переднеспинки выявлено, что наиболее загрязненным является участок у агрогородка Добрейка Шкловского района. Вероятно, степень стрессующего состояния этого участка определяется шумовой вибрацией железнодорожного транспорта и выбросами выхлопных газов.

Нужно отметить, что данный способ оценки окружающей среды очень прост и доступен, но он не дает гарантии, что результаты, полученные при исследовании, полно отражают состояние окружающей среды, т. к. колорадские жуки имеют свойство перемещаться с одного участка на другой. И, тем не менее, метод флуктуирующей асимметрии возможно использовать при первичной оценке здоровья окружающей среды.

Заключение

Флуктуирующая асимметрия может быть использована для оценки стрессующего воздействия среды на популяции и конкретные организмы. Характеристикой ее на популяционном уровне является коэффициент флуктуирующей асимметрии, демонстрирующий долю асимметричных особей в данной популяции. Среди особей колорадского жука в исследуемых выборках отмечены асимметричные варианты групп пятен переднеспинки. При проведении анализа морф переднеспинки выявлено, что наиболее загрязненным является участок у агрогородка Добрейка Шкловского района.

Данный метод оценки состояния окружающей среды позволяет с помощью коэффициента асимметричного проявления отследить уровень загрязненности на интересующем участке с минимальными затратами на исследование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Захаров, В. М.* Асимметрия животных (популяционно-фенетический подход) / В. М. Захаров. – Москва : Наука, 1987. – 215 с.
2. *Тихончук, Г. Н.* Использование биоиндикационных методов на занятиях по зоологии / Г. Н. Тихончук, А. С. Доронькина // Итоги научных исследований ученых МГУ имени А. А. Кулешова 2016 г. : сб. материалов науч.-методической конференции, Могилев, 25 января – 1 февраля 2017 г. – С. 160–162.
3. *Доронькина, А. С.* Оценка здоровья окружающей среды методом флуктуирующей асимметрии / А. С. Доронькина // Дни студенческой науки : сб. материалов XLVI студенческой науч.-практ. конференции, Гомель, 11–12 мая 2017 года / ГТУ им. Ф. Скорины. – 2017. – № 1. – С. 77.
4. *Фасулати, С. Р.* Полиморфизм и популяционная структура колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say в Европейской части СССР / С. Р. Фасулати // Экология. – 1985. – № 6. – С. 50–56.
5. *Зелеев, Р. М.* Оценка полиморфизма рисунка переднеспинки и надкрылий колорадского жука, *Leptinotarsa decemlineata*, в окрестностях Казани / Р. М. Зелеев // Зоологический журнал. – 2002. – Т. 81. – № 3. – С. 316–322.

6. **Кохманюк, Ф. С.** Колорадский жук как модель микроэволюции / Ф. С. Кохманюк // Природа. – 1981. – № 12. – С. 86–87.
7. **Тихончук, Г. Н.** Фенотипическая изменчивость рисунка надкрылий колорадского жука как оценка здоровья окружающей среды / Г. Н. Тихончук // Веснік Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. А. Куляшова. – 2017. – № 1. – С. 96–100.
8. **Бацылев, Е. Г.** Колорадский картофельный жук / Е. Г. Бацылев // Наука и Жизнь. – 1949. – № 4. – С. 14–15.
9. **Гриценко, В. В.** Эколого-генетический анализ изменчивости центральных элементов рисунка переднеспинки у колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*) // В. В. Гриценко, Н. В. Глотов, Д. Б. Орлинский // Зоол. журнал. – 1998. – Т. 77. – № 3. – С. 278–284.

Поступила в редакцию 01.10.2018 г.

Контакты: +375 29 741 29 59 (Тихончук Галина Николаевна)

(Доронькина Анастасия Сергеевна)

Tikhonchuk G., Doronkina A. PHENOTYPIC VARIABILITY OF COLORADO PRONOTUM PICTURE (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY) AS ENVIRONMENT HEALTH ASSESSMENT.

The article presents the results of the study aimed to determine the state of the environment in three model areas during two growing seasons.

*An adult individual of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) was used as a bioindicator. The article discusses the possibility of using the beetle's pronotum polymorphism as a test object of the environment by analyzing the group of pronotum phenes and the degree of their asymmetry.*

Keywords: Colorado potato beetle, fluctuating asymmetry, bioindication, coefficient of environmental assessment, morph.