

ISSN 1817-7204 (print.)
УДК 632.768.12:632.7.04/.08

Поступила в редакцию 18.03.2016
Received 18.03.2016

Е. В. Бречко¹, Д. С. Елисовецкая², Т. Н. Настас², Д. В. Войтка¹, Е. Н. Янковская¹

¹Институт защиты растений, Прилуки, Беларусь, e-mail: belizr@tut.by

²Институт генетики, физиологии и защиты растений АНМ, Кишинев, Молдова,
e-mail: dina.elis.s@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ ФЕНОТИПИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY) В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СТРЕССОВ

Изучено распределение фенотипов рисунка центральной части переднеспинки у имаго колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), обитающего в Республике Беларусь и Республике Молдова. Установлена генотипическая разнокачественность белорусской и молдавской популяций фитофага. В популяциях колорадского жука в Беларуси доминировали фенотипы № 1, 3 и 6 по рисунку переднеспинки имаго (15,4–25,3 % всех особей), редкими являлись фенотипы № 7, 8 и 9 (частота встречаемости до 3,0 %). В популяции колорадского жука в Молдове доминировали фенотипы № 3 и 6 по рисунку переднеспинки имаго с частотой встречаемости 15,0–17,8 и 38,4–40,2 % от всех особей соответственно, редкими являлись фенотипы № 7 (1,8–2,1 %) и № 8 (1,8–2,3 %). Выявлена принадлежность белорусской популяции к северному и центральному экотипам, молдавской популяции – к юго-восточному экотипу. Показана изменчивость фенотипической структуры под влиянием экологических стрессов. Проведено диагностирование популяций по резистентности к инсектицидным препаратам из класса пиретроидов с помощью морфотипического метода. Выявлена частота встречаемости чувствительных, толерантных, резистентных и высокорезистентных популяций вредителя в различных географических регионах обитания фитофага. В Беларуси чувствительные популяции встречались в 17,1 % случаев, в Молдове – в 47,8 %, резистентные популяции – 43,9 и 21,7 % случаев соответственно. Высокореизистентные популяции были обнаружены в незначительном количестве и встречались на одинаковом уровне: в Беларуси – 4,9 %, Молдове – 4,3 %. Полученные результаты позволят обосновать разработку экологизированной системы защиты картофеля от колорадского жука с использованием энтомопатогенных микроорганизмов и биологически активных веществ растительного происхождения, что будет препятствовать формированию резистентности колорадского жука к химическим инсектицидам. **Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № Б13МЛД-008.

Ключевые слова: колорадский жук, *Leptinotarsa decemlineata*, резистентность, фенотипы, фенотипическая структура популяции, маркер резистентности, пиретроиды, неоникотиноиды, экотип, реверсия резистентности.

A. V. Brechka¹, D. S. Elisovetskaya², T. N. Nastas², D. V. Voitka¹, A. N. Yankouskaya¹,

¹Institute of Plant Protection, Priluki, Belarus, e-mail: biocontrol@tut.by

²Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection ASM, Chisinau, Moldova, e-mail: dina.elis.s@gmail.com

FORMATION OF PHENOTYPIC STRUCTURE OF COLORADO POTATO BEETLE (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY) POPULATIONS UNDER ECOLOGICAL STRESS CONDITIONS

The phenomorphic distribution of pronotum cover spot pattern of Colorado potato beetle (*Lepinortarsa decemlineata* Say) imago in the Republic of Belarus and the Republic of Moldova is studied. The genetic heterogeneity of the Belarusian and Moldavian phytophage populations is determined. The dominance of No.1, 3 and 6 phenomorphs in the Colorado potato beetle populations based on the imago pronotum cover spot pattern (15.4–25.3 % of all individuals) is determined, the phenomorphs No.7, 8 and 9 are rare (the frequency of occurrence up to 3.0 %). It is determined that on the territory of Moldova in the population of Colorado potato beetle phenomorphs No. 3 and 6 dominate by imago front back figure, by frequency of occurrence 15.0–17.8 % and 38.4–40.2 % from all the individuals, respectively, the phenomorphs No.7 (1.8–2.1 %) and No.8 (1.8–2.3 %) are rare. It is determined that the Belarusian population belongs to the northern and central ecotypes, the Moldavian one – to the southeast ecotype. The phenotypic structure diversity under the ecological stress conditions is shown. The populations diagnosis according to pyrethroid chemical group preparations resistance is specified by the morphotypic method. The frequency of occurrence of sensitive, tolerant, resistant and highly resistant pest populations in different geographical regions of the phytophage habitat is revealed. In Belarus the sensitive populations were present in 17.1 %, in Moldova – in 47.8 %, the resistant populations – 43.9 and 21.7 %, respectively. Highly resistant populations were discovered in insignificant number and were met at the same level: in Belarus – 4.9 %, in Moldova – 4.3 %. The results obtained will allow to substantiate the development of ecologized potato protection system from the Colorado potato beetle using entomopathogenic microorganisms and biologically active substances of plant origin, that would prevent resistance of the Colorado potato beetle to chemical insecticides. **Acknowledgments.** The study

is performed with financial support of the Belarusian Republican Foundation of Fundamental Researches within the frameworks of project No. Б13МЛД-008.

Keywords: Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, resistance, phenomorphs, phenotypic structure of population, resistance marker, pyrethroids, neonicotinoids, ecotype, resistance reversion.

Введение. Колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say) принадлежит к экологически пластичным видам сельскохозяйственных вредителей, которым благодаря широкому спектру внутривидового полиморфизма свойственны территориальные экспансии и способность к ускоренной адаптации в самых разнообразных экологических условиях зон инвазий [1–4]. Так, формирование ареала вредителя в агробиоценозах картофеля на территории Беларуси с умеренно-континентальным климатом и Молдовы с умеренно-континентальным климатом с недостаточным увлажнением началось с момента массовых инвазий в 1959–1960 гг. При этом вредитель быстро распространился за несколько десятилетий и к настоящему времени заселяет до 100 % площадей посадок картофеля, сохраняя высокую жизнеспособность, коэффициент размножения и вредоносность популяций. В связи с этим химический метод защиты картофеля от колорадского жука стал доминантным как на территории Беларуси, так и на территории Молдовы. Как известно, усиление антропогенного пресса на агробиоценозы, которое характеризуется дестабилизацией экологических условий, в том числе в связи с использованием химических средств защиты растений, повышает вероятность появления у вредоносных видов новых адаптивных форм, часто более агрессивных [4–7].

Поэтому анализ микроэволюционных процессов у насекомых важен с любой точки зрения, включая проблемы формирования у вредителей резистентности к инсектицидам. Данные процессы у колорадского жука наблюдаемы, так как они сопровождаются теми или иными изменениями фенотипической структуры его популяций (по долевого соотношению типовых морф имаго), благодаря взаимосвязи основных экологических адаптаций внутривидовых форм вида с изменчивыми внешними признаками особей, одним из которых является тип рисунка переднеспинки жуков [8–10].

В Беларуси исследования по изучению фенотипической структуры популяций колорадского жука были начаты Ф. С. Кохманюком и Е. П. Климец более 35 лет назад для условий юго-запада Брестской области [11–13]. С 2007 г. исследования по изучению фенотипического состава популяций вредителя были продолжены Е. В. Бречко, М. И. Жуковой для условий северной, центральной и южной агроклиматических зон [14, 15]. Фенотипический анализ особей колорадского жука, проведенный по рисунку центральной части переднеспинки имаго, показал, что доминирующими являются феноморфы № 1, 2 и 3. В популяциях отмечено превалирование феноморфы № 1, частота встречаемости которой колебалась в пределах 12,9–29,8 %. Редкими являлись феноморфы № 7, 8 и 9 – их доля составляла от 0,2 до 4,9 %. Было установлено разнообразие популяций вредителя по устойчивости к препаратам из химической группы пиретроидов во всех агроклиматических зонах республики.

Согласно результатам научных исследований, описано соотношение феноморф для популяций *L. decemlineata*, развивавшихся в условиях Молдовы более 20 лет назад. На примере молдавской популяции показано, что на формирование фенотипа популяций могут оказывать влияние пищевые и температурные условия развития личинок и куколок [16].

Изменение климатических условий, сортимента возделываемых сортов картофеля и ассортимента химических средств защиты растений обуславливает наличие экологического стресса для фитофага [17, 18]. В связи с этим целью работы являлось изучение и сравнительный анализ фенотипической структуры популяций колорадского жука в Беларуси и Молдове в зависимости от условий обитания с определением расового экотипа и установления закономерностей распределения резистентных и чувствительных популяций фитофага к широко применяемым инсектицидам. Полученные результаты позволят обосновать разработку экологизированной системы защиты картофеля от колорадского жука с использованием энтомопатогенных микроорганизмов и биологически активных веществ растительного происхождения, направленную на повышение чувствительности фитофага к инсектицидам, увеличение видового разнообразия энтомофагов в агробиоценозах, снижение инсектицидного пресса.

Материалы и методы исследований. Изучение популяции колорадского жука из северной, центральной и южной агроклиматических зон Беларуси и Молдовы проводили в 2013–2014 гг. в лаборатории защиты овощных культур и картофеля и лаборатории микробиологического метода защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней РУП «Институт защиты растений» НАН Беларуси и лаборатории фитофармации и экотоксикологии Института генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы.

Климат Беларуси – умеренно-континентальный, формирующийся под влиянием воздушных масс Атлантики, с дождливым нежарким летом, мягкой зимой с частыми оттепелями и неустойчивой погодой осенью и зимой. Средняя годовая температура воздуха составляет от +5,7 до +8,2 °С. За год выпадает от 500 до 800 мм осадков, самыми дождливыми временами года являются лето и осень [19].

Климат Молдовы – умеренно-континентальный с недостаточным увлажнением. Температурный режим характеризуется положительными среднегодовыми температурами воздуха на всей территории: они колеблются от +7,5 °С на севере до +10 °С на юге. Отрицательные среднесуточные температуры наблюдаются только в зимний период. Территория Молдовы относится к зоне недостаточного увлажнения. Осадки выпадают неравномерно как по годам, так и по сезонам. Примерно 70 % годовых осадков приходится на период с апреля по октябрь [20].

Метеорологические условия, сложившиеся в течение вегетационных периодов 2013–2014 гг. в Беларуси и Молдове, способствовали заселению вредителем посадок картофеля выше экономического порога вредоносности (ЭПВ), что позволило провести репрезентативные сборы имаго. Серии выборок имаго разных поколений были собраны в сельскохозяйственных предприятиях, на приусадебных и фермерских участках, расположенных в различных агроклиматических зонах Беларуси и Молдовы [21, 22]. Сбор жуков осуществляли в период массового заселения растений в фазе «полные всходы – цветение». Всего в Беларуси была собрана и проанализирована 41 выборка имаго общим числом более 4250 особей, в Молдове, соответственно, 23 выборки с числом особей более 5200 шт.

Исследования проводили согласно рекомендациям, изложенным в следующих изданиях: «Методы мониторинга и прогноза развития вредных организмов» и «Колорадский жук: распространение, экологическая пластичность, вредоносность, методы контроля» [23, 24]. Принадлежность особей к внутривидовым группам определяли методами фенотипики, адаптированными к колорадскому жуку С.Р. Фасулати и учитывающими 9 морфотипов имаго, различаемых по дискретным неметрическим признакам узора переднеспинки, не сцепленным с полом (рис. 1) [10, 16, 25–27].

Для диагностики резистентности популяций колорадского жука к инсектицидам из химической группы пиретроидов использовали морфотипический метод со следующей градацией: если доля морфы №3 от общего количества морф составляет до 15 % – популяция чувствительная, до 20 % – толерантная, до 30 % – резистентная, до 50 % – высокорезистентная [28].

Математическую и статистическую обработку данных проводили на ПЭВМ с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel, Oda. Статистическую обработку результатов исследований проводили методом корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализов.

Объемы применения инсектицидов, используемых для защиты картофеля от колорадского жука в 2010–2014 гг., предоставлены по данным ГУ «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений» Республики Беларусь.

Результаты и их обсуждение. Преодоление колорадским жуком абиотических барьеров как факторов экологического стресса сопровождается микроэволюционными процессами адаптации к природно-климатическим условиям. При этом, благодаря преобладанию новых адаптивных норм, адекватных местным условиям, возможно формирование нового экотипа вида [3, 4, 12].

Так, потепление климата, которое началось в Беларуси с 1989 г. и длится до сих пор, характеризуется очень заметным повышением температуры в зимний и весенний периоды. Среднегодовая температура воздуха повысилась на 1,1 °С. Почти на две недели сместились вегетационные периоды: сход снежного покрова и переход температуры через 0 °С начинается на 10–15 дней раньше. На этот же срок уменьшилось количество дней со снежным покровом. Глубина промерзания земли уменьшилась на 6–10 см. Заморозки весной заканчиваются примерно на 5 дней раньше, а осенью начинаются позже. Средняя скорость ветров за последние 16 лет снизилась с 3,4 до 3,0 м/с [21].

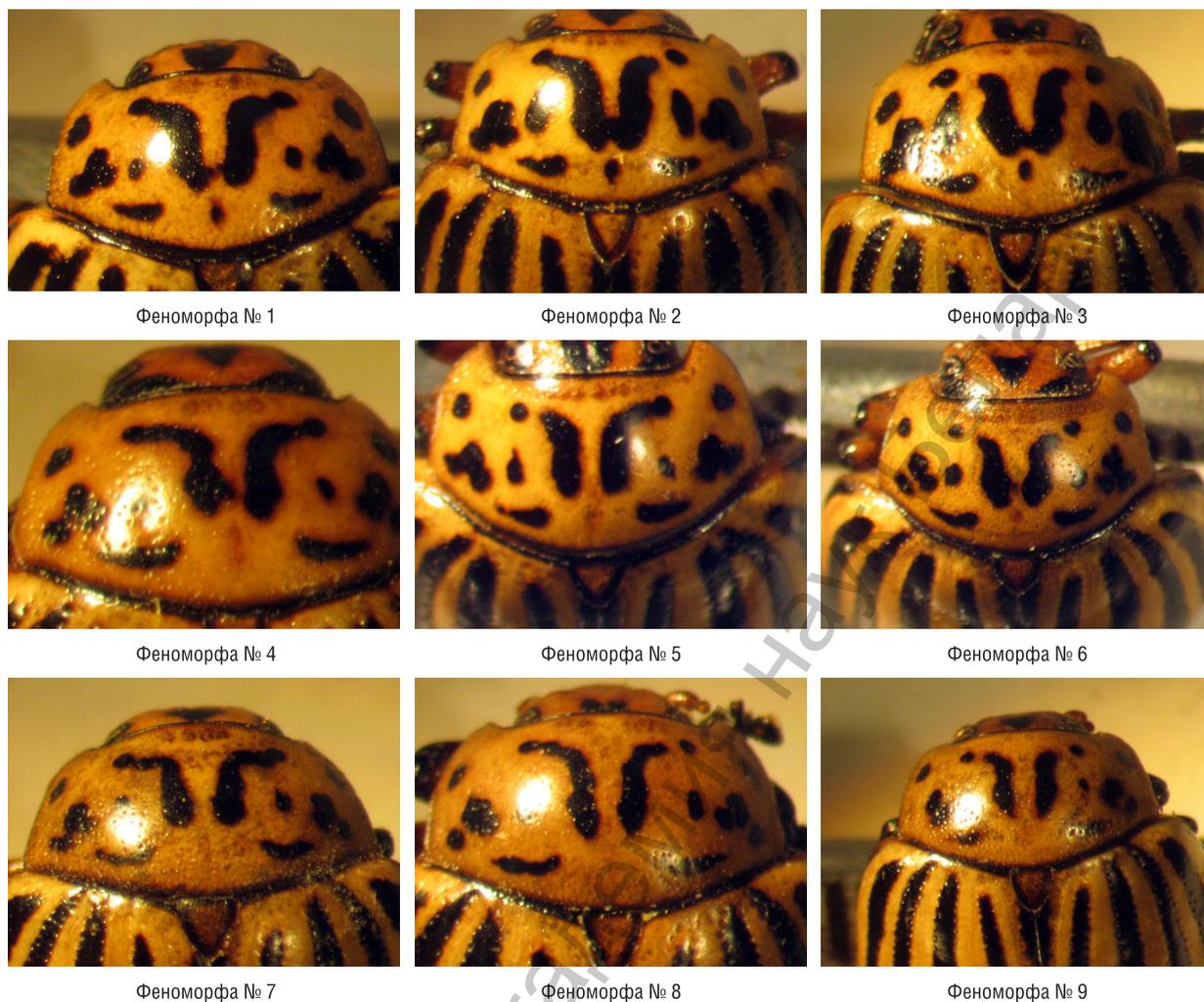


Рис. 1. Феноморфы рисунка центральной части переднеспинки имаго колорадского жука (по С.Р. Фасулати, 1985).
Фото Е. В. Бречко

Fig. 1. The phenomorphs of Colorado potato beetle imago pronotum cover spot pattern (by S.R. Fasulati, 1985).
Photo A. V. Brechka

Вместе с тем и молдавские синоптики констатируют, что климат в стране за последние 100 лет серьезно изменился. Одним из показателей является то, что частота и интенсивность природных катаклизмов существенно возросли в последние годы. Участились наводнения и засухи. Средняя годовая температура воздуха в стране повысилась на 0,8 °С [29, 30].

Сравнительный фенотипический анализ белорусской и молдавской популяций фитофага выявил внутривидовую гетерогенность популяций колорадского жука, что подтверждается наличием девяти фенотипов. Фены отражают генетическую конституцию данной особи, а своей частотой – генетическую структуру популяций, которые, как установлено, являются генотипически разнокачественными (рис. 2).

Математическая обработка результатов исследований по частоте встречаемости фенотипов колорадского жука в Беларуси в 2013–2014 гг. показала доминирование в популяциях фенотипов №1, 3 и 6 по рисунку переднеспинки имаго – на их долю приходилось 15,4–25,3 % всех особей (рис. 2, *Беларусь*). Редкими являлись фенотипы №7, 8 и 9 – частота их встречаемости достигала 3,0 % от всех особей. Частота встречаемости фенотипа №2 колебалась в пределах 11,2–12,8 %, фенотипа №4 – 9,2–13,6 %, фенотипа №5 – 8,5–14,0 %.

В популяции колорадского жука Молдовы доминируют фенотипы №3 и 6 по рисунку переднеспинки имаго с частотой встречаемости по годам соответственно 15,0–17,8 и 38,4–40,2 % от всех особей (рис. 2, *Молдова*). Редко встречались фенотипы №7 (1,8–2,1 %) и №8 (1,8–2,3 %).

При определении фенотипической структуры белорусской и молдавской популяций колорадского жука выявлено, что представленное распределение фенорморф в Беларуси характерно для северного и центрального экотипов (эколого-географических рас), в Молдове полученное соотношение фенорморф характерно для юго-восточного экотипа (рис. 3).

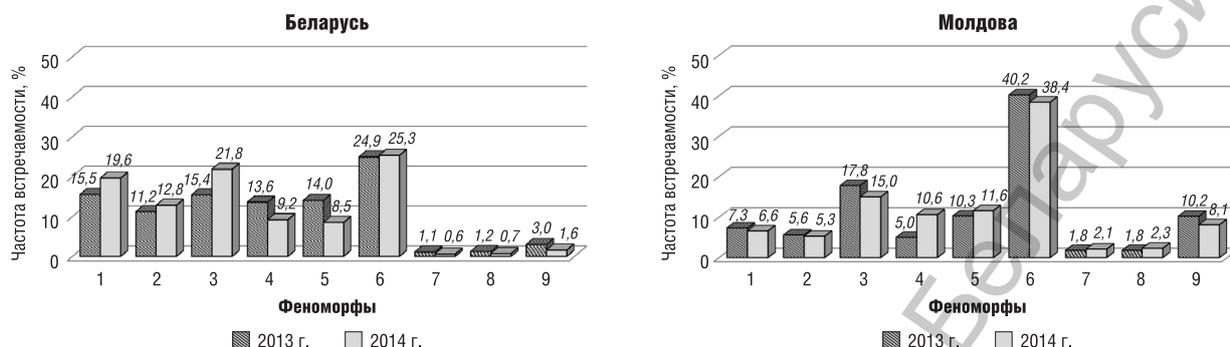


Рис. 2. Формирование фенотипической структуры популяций колорадского жука под влиянием различных климатических условий

Fig. 2. Formation of phenotypic structure of Colorado potato beetle populations under the influence of different climatic conditions

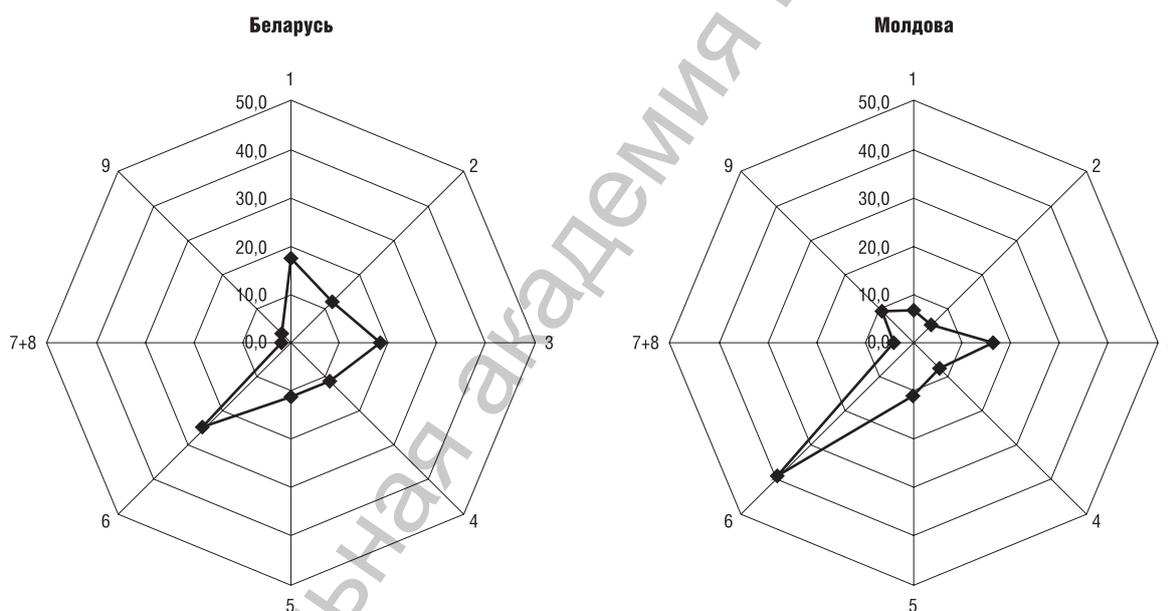


Рис. 3. Фенетическая структура популяций колорадского жука, 2013–2014 гг. Длина луча соответствует доли особей равной 50 % от общего числа особей

Fig. 3. The phenotypic structure of Colorado potato beetle populations, 2013–2014. Note – ray length equals 50 % of individuals proportion from the total individuals number

Экотипы колорадского жука различаются по эколого-физиологическим параметрам, что свидетельствует об индуцировании процессов внутривидовой дивергенции вредителя различными факторами экзогенного воздействия на его популяции.

Нами была проведена статистическая обработка экспериментальных данных с использованием двухвыборочного F -теста для дисперсии. Анализируя полученные данные, применяли следующие критерии: $F_{\text{факт}}$ – статистика для оценки значимости различия между дисперсиями, $F_{\text{теор}}$ (критическое одностороннее) – квантиль распределения Фишера, $P (F \leq f)$ одностороннее – расчетный уровень значимости. При анализе учитывали равенство: если величина $F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$ и $P < 0,05$, то между сравниваемыми дисперсиями имеются существенные различия.

Результаты статистической обработки показали, что в структуре белорусской популяции различия между частотой встречаемости фенормф № 1 и 5, а также № 4 и 5 статистически не достоверны, в то время как в молдавской популяции – достоверны (таблица). Частота встречаемости фенормфы № 7 в Беларуси существенно отличается от частоты встречаемости всех остальных фенормф, в Молдове же – за исключением фенормфы № 5. Что касается фенормфы № 9, если в белорусской популяции различия достоверны с частотой встречаемости фенормф № 1, 2, 3, 4 и 6, то в молдавской популяции – с частотой встречаемости фенормф № 1, 2, 4, 5, 7 и 8.

Таким образом, статистическая обработка полученных результатов показала, что фенотипическая структура популяций колорадского жука в различных географических регионах существенно отличается по частоте встречаемости фенормф. По нашему мнению, это связано как с биологическими особенностями колорадского жука, сложившимися климатическими, метеорологическими, экологическими условиями, так и с изменениями в ассортименте применяемых инсектицидов в защите картофеля от фитофага как одним из антропогенных стрессовых факторов.

Достоверность различий между частотами встречаемости фенормф имаго колорадского жука, 2013–2014 гг.

Фены	Фенормфы							
	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Беларусь</i>								
1	+	–	–	–	–	+	+	+
2		–	–	–	–	+	+	+
3			+	+	–	+	+	+
4				–	–	+	+	+
5					–	+	+	–
6						+	+	+
7							–	–
8								–
<i>Молдова</i>								
1	+	–	–	+	–	+	+	+
2		–	–	–	–	+	+	+
3			+	+	–	+	+	–
4				+	–	+	+	+
5					–	–	–	+
6						+	+	–
7							–	+
8								+

Примечание. Знак «+» – различия между фенами статистически достоверны; знак «–» – различия между фенами статистически не достоверны.

Note: “+” – differences between phenes are statistically reliable; “–” – differences between phenes are not statistically reliable.

В результате анализа ассортимента инсектицидов, применяемых в сельскохозяйственных предприятиях Беларуси в защите картофеля от колорадского жука способом опрыскивания вегетирующих растений, выявлено, что он увеличивается с каждым годом и характеризуется широким разнообразием. По состоянию на 2014 г. в Республике Беларусь для защиты картофеля от вредной энтомофауны зарегистрировано 47 наименований торговых марок химических препаратов [30]. Применяемые для контроля численности колорадского жука токсиканты относятся к 7 химическим группам: фосфорорганические инсектициды, пиретроиды, фенилпиразолы, неоникотиноиды, комбинированные препараты, антраниламиды, семикарбазоны. Согласно данным ГУ «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений», наблюдается увеличение доли использования неоникотиноидов, обладающих контактно-кишечным и системным действием, которые вытесняют пиретроиды. В центральном и южном регионах в 2013–2014 гг. неоникотиноиды применяли на площади 2,9–18,8 тыс. га, что составляло 25,8–82,4 %, в то время как пиретроидами было обработано 0,9–19,0 тыс. га, или 15,0–62,0 %

в структуре использованных препаратов. Вместе с тем, в северном регионе до 2012 г. отмечалось преимущественно стабильное опрыскивание посадок картофеля пиретроидами на площади 2,3–4,3 тыс. га (56,0–77,9 % в структуре используемых инсектицидов), однако в 2013 г. тенденция изменилась: наблюдалось резкое снижение использования препаратов из данного химического класса до 0,61 тыс. га (27,2 %). Препараты, зарегистрированные ранее, из таких химических классов, как фосфорорганические инсектициды, фенилпиразолы, во всех регионах применяли на незначительных площадях, что составляло 0,02–9,5 % в структуре используемых инсектицидов. На небольших площадях республики отмечалось использование препаратов из новых химических классов: антриламида, семикарбазоны, комбинированные инсектициды.

Анализ зарегистрированных инсектицидов в Молдове показал, что в защите картофеля от колорадского жука применяют препараты из 6 химических классов и препарат – регулятор роста насекомых [32]. Так, в порядке убывания препараты могут быть представлены следующим образом: более половины от общего количества зарегистрированных инсектицидов составляют неоникотиноиды – 58,8 %, пиретроиды – 20,6 %, комбинированные препараты – 8,8 %, фосфорорганические инсектициды, антриламида, семикарбазоны и регуляторы роста насекомых – по 2,9 %.

В связи с проблемой резистентности колорадского жука к применяемым в республиках пиретроидам был проведен фенотипический анализ популяций по долевого количеству феноморфы №3, являющейся маркером резистентности [28].

Установлено, что и в Беларуси, и в Молдове имело место распространение как чувствительных и толерантных, так и резистентных и высокорезистентных к пиретроидам популяций колорадского жука, однако процентное соотношение их в республиках значительно отличалось (рис. 4).

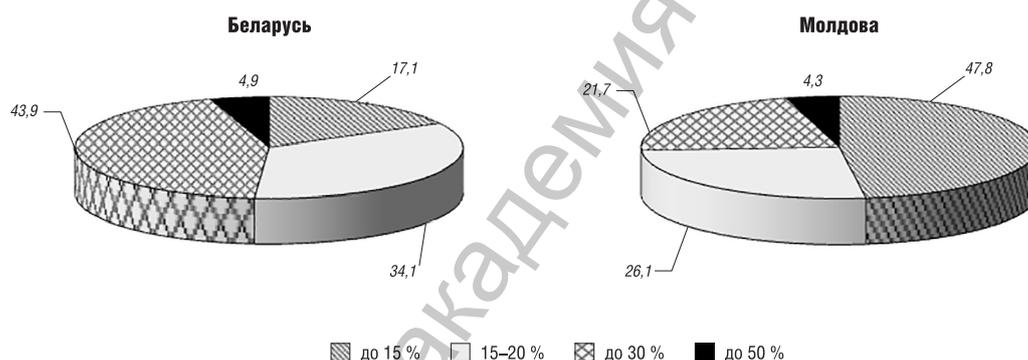


Рис. 4. Сравнительная характеристика популяций колорадского жука в Беларуси и Молдове по частоте встречаемости феноморфы №3, среднее за 2013–2014 гг., %. Диагностические параметры устойчивости популяций колорадского жука к пиретроидам по частоте встречаемости морфы №3: до 15 % – чувствительная популяция; до 20 % – толерантная; до 30 % – резистентная; до 50 % – высокорезистентная популяция

Fig. 4. Comparative characteristics of Colorado potato beetle populations in Belarus and Moldova by frequency of occurrence (%) phenomorph №3 (average for 2013–2014). Diagnostic parameters of Colorado potato beetle resistance to pyrethroids by frequency of morph №3 occurrence: up to 15 % – sensitive population; up to 20 % – tolerant; up to 30 % – resistant; up to 50 % – highly resistant

Так, если в Беларуси чувствительные популяции встречались в 17,1 % случаев, то в Молдове в 2,8 раза больше – 47,8 %. Вместе с тем, резистентные популяции в Беларуси встречались в 2 раза чаще, чем в Молдове, – на 43,9 и 21,7 % соответственно. Можно предположить, что широкое использование неоникотиноидов способствует постепенной реверсии (возврат чувствительности) к пиретроидам. Высокореизистентные популяции были обнаружены в незначительном количестве и встречались на одинаковом уровне: в Беларуси – 4,9 %, Молдове – 4,3 %.

Следует отметить, несмотря на то, что и в Беларуси, и в Молдове в последние годы в структуре применяемых инсектицидов отмечается доминирование неоникотиноидов, в агроценозах картофеля по-прежнему сохраняется присутствие устойчивых популяций колорадского жука к пиретроидам, о чем свидетельствует высокое содержание феноморфы №3.

Заключение. Выявлена внутривидовая гетерогенность популяций колорадского жука на территории Республики Беларусь и Республики Молдова. Установлено, что фенотипическая структура популяций изменяется под влиянием экологических стрессов и зависит как от климатических

условий региона и погодных условий конкретного летнего сезона, а также варьирует в зависимости от такого антропогенного фактора, как применение химических инсектицидов.

Выявлена принадлежность белорусской популяции к северному и центральному экотипам, молдавской популяции – к юго-восточному экотипу.

В связи с различной степенью заселения посадок картофеля колорадским жуком и интенсивностью использования пиретроидов в географическом аспекте установлено варьирование частоты встречаемости фенормфы №3. Так, если в Беларуси чувствительные популяции встречались в 17,1 % случаев, то в Молдове в 2,8 раза чаще – 47,8 %. Вместе с тем резистентные популяции в Беларуси встречались в 2 раза чаще, чем в Молдове, – на 43,9 и 21,7 % соответственно. Можно предположить, что широкое использование неоникотиноидов способствует постепенной реверсии (возврату чувствительности) к пиретроидам. Высокорезистентные популяции были обнаружены в незначительном количестве и встречались на одинаковом уровне: в Беларуси – 4,9 %, Молдове – 4,3 %.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки биологизированной системы защиты картофеля от колорадского жука с использованием энтомопатогенных микроорганизмов и веществ растительного происхождения, что будет препятствовать формированию резистентности колорадского жука к химическим инсектицидам.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № Б13МЛД-008.

Список использованных источников

1. Быховец, С.Л. Стратегия и тактика преодоления и предупреждения резистентности колорадского жука к инсектицидам / С.Л. Быховец // Сб. науч. тр. / Белорус. НИИ защиты растений. – Минск, 2000. – Вып. 25 : Защита растений. – С. 45–51.
2. Вилкова, Н.А. Стратегия защиты сельскохозяйственных растений от адвентивных видов насекомых-фитофагов на примере колорадского жука / Н.А. Вилкова, Г.И. Сухорученко, С.Р. Фасулати // Вест. защиты растений. – 2005. – №3. – С. 2–15.
3. Колорадский картофельный жук, *Leptinotarsa decemlineata* Say. Филогения, морфология, физиология, экология, адаптация, естественные враги / Ин-т эволюц. морфол. и экол. животных им. А.Н. Северцова; сост.: В.Е. Соколов [и др.]; под ред. Р.С. Ушатинской. – М., 1981. – 376 с.
4. Фасулати, С.Р. Формирование внутривидовой структуры у насекомых в условиях агроэкосистем на примерах колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say, 1824 (*Coleoptera, Chrysomelidae*) и вредной черепашки *Eurygaster integriceps* Puton, 1881 (*Heteroptera, Scutelleridae*) / С.Р. Фасулати // Наук. вiс. Ужгород. ун-ту. – Сер. Біологія. – 2010. – Вип. 29. – С. 13–27.
5. Васютин, А.С. Динамика распространения колорадского жука, состояние и перспективы борьбы с ним / А.С. Васютин, А.И. Сметник, Я.Б. Мордкович // Защита и карантин растений. – 2000. – №12. – С. 13–15.
6. Рославцева, С.А. Мониторинг резистентности колорадского жука к инсектицидам / С.А. Рославцева // Агрохимия. – 2005. – №2. – С. 61–66.
7. Рославцева, С.А. О резистентности колорадского жука к инсектицидам / С.А. Рославцева, И.Г. Михина // Защита и карантин растений. – 2001. – №5. – С. 27–28.
8. Вилкова, Н.А. Адаптивные процессы в популяциях как явления микроэволюции видов на примере колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say / Н.А. Вилкова, С.Р. Фасулати // Современное состояние проблемы резистентности вредителей к пестицидам: материалы 9-го совещания / РАСХН, ВИЗР. – СПб., 2000. – С. 16–18.
9. Вилкова Н.А. Индикация процессов микроэволюции и их направленность у колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (*Coleoptera, Chrysomelidae*) и вредной черепашки *Eurygaster integriceps* Put. (*Heteroptera, Scutelleridae*) / Н.А. Вилкова, С.Р. Фасулати // Тез. докл. XII Съезда Рус. энтомолог. о-ва, г. Санкт-Петербург, 19–24 авг. 2002 г. – СПб., 2002. – С. 357–358.
10. 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.
11. Климец, Е.П. Выявление чувствительности колорадского жука к действию инсектицидов с помощью фенов / Е.П. Климец // Фенетика природных популяций: сб. науч. тр. / Акад. наук СССР, Ин-т биологии развития им. Н.К. Кольцова; отв. ред. А.В. Яблоков. – М., 1988. – С. 111–117.
12. Кохманюк, Ф.С. Изменчивость фенетической структуры популяций колорадского жука в пределах ареала / Ф.С. Кохманюк // Фенетика популяций. – М., 1982. – С. 233.
13. Кохманюк, Ф.С. Модель микроэволюции – колорадский жук / Ф.С. Кохманюк, Е.П. Климец // Тез. докл. III съезда БелОГиС. – Минск, 1976. – С. 103.
14. Бречко, Е.В. Изменчивость фенотипической структуры популяций колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) под влиянием инсектицидов / Е.В. Бречко, М.И. Жукова // Земляробства і ахова раслін. – 2010. – №4. – С. 56–60.

15. Brechko, E. Variability of phenotypic structure of Colorado beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) populations under the anthropogenic factor influence / E. Brechko // *Oltenia. Studii si comunicari. Stiintele Naturii.* – 2012. – Vol. 28, N 1. – P. 101–104.
16. Фасулати, С. Р. Взаимосвязь внешнего и экологического полиморфизма колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) / С. Р. Фасулати // *Тр. Всесоюз. энтомолог. о-ва.* – Л., – 1986. – Т. 68. – С. 122–125.
17. Бязырова, А. Т. Фенотипические и биологические особенности популяций колорадского жука в связи с вертикальной зональностью / А. Т. Бязырова, С. Р. Фасулати // *Экологич. аспекты интенсификации с.-х. пр-ва: материалы междунар. науч.-практ. конф.* – Т. 2. – Пенза, 2002. – С. 146–148.
18. Экологический словарь / Экологический стресс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/7032/СТРЕСС> – Дата доступа: 01.02.2015.
19. География Белоруссии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ География_ Белоруссии.](https://ru.wikipedia.org/wiki/География_Белоруссии) – Дата доступа: 27.10.2015.
20. География Молдавии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ География_ Молдавии.](https://ru.wikipedia.org/wiki/География_Молдавии) – Дата доступа: 27.10.2015.
21. Мельник, В. И. / В Беларуси скоро будет климат, как в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.belaruspartisan.org/life/182414/.](http://www.belaruspartisan.org/life/182414/) – Дата доступа: 26.11.2014.
22. LEGEA privind dezvoltarea regională în Republica Moldova nr. 438-XVI din 28.12.2006. Monitorul Oficial nr.21–24/68 din 16.02.2007.
23. Колорадский жук: распространение, экологическая пластичность, вредоносность, методы контроля / В. А. Павлюшин [и др.] // *Защита и карантин растений: прилож.* – 2009. – № 3. – С. 69 (1) – 100 (32).
24. Методы мониторинга и прогноза развития вредных организмов : сб. ст. / Рос. акад. с.-х. наук, Отд-ние защиты растений ; ред.: В. А. Захаренко, И. Я. Гричанов. – М. ; СПб., 2002. – 96 с.
25. Тимофеев-Ресовский, Н. В. Фены, фенетика и эволюционная биология / Н. В. Тимофеев-Ресовский, А. В. Яблоков // *Природа.* – 1973. – № 5. – С. 40–51.
26. Фасулати, С. Р. Анализ структуры популяций колорадского жука и его значение для разработки зональных систем защиты картофеля / С. Р. Фасулати // *Бюл. ВИЗР.* – 1987. – № 63. – С. 38–43.
27. Яблоков, А. В. Фенетика / А. В. Яблоков. – М., 1980. – 132 с.
28. Изменение фенотипической структуры популяций колорадского жука под влиянием пиретроидов и других факторов / Т. И. Васильева [и др.] // *Химический метод защиты растений : состояние и перспектива повышения экол. безопасности: материалы междунар. науч.-практ. конф., 6–10 дек. 2004 г. / Рос. акад. с.-х. наук, Отд-ние защиты растений, Всерос. науч.-исслед. ин-т защиты растений; редкол.: В. А. Павлюшин [и др.].* – СПб., 2004. – С. 43–45.
29. Вронских, М. Д. Некоторые риски сельскохозяйственного производства Молдовы и проблемы защиты растений / М. Д. Вронских // *Защита растений – достижения и перспективы : материалы докл. междунар. симп., Кишинев, 19–22 окт. 2009 г. (Информ. бюлл. ВПРС МОББ № 40) / Акад. наук Молдовы, Ин-т защиты растений; редкол.: М. Батко [и др.].* – Кишинев, 2009. – С. 36–49.
30. Из-за изменения климата в Молдове сегодня можно встретить африканских бабочек и колибри [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecocollaps.ru/zemlya/> – Дата доступа: 27.10.2015.
31. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных для применения в Республике Беларусь / Л. В. Плешко [и др.]. – Минск : ООО «Промкомплекс», 2014. – 628 с.
32. Registrul de stat al produselor de uz fitosanitar și al fertilizanților (2014), Chișinău, 2014. – Regimul de acces: <http://www.pesticide-md.com/registrul/> – Дата de acces: 03.08.2015.

References

1. Brechko, E. V. and Zhukova, M. I. (2010) “The variability of phenotypic structure of populations of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) under the influence of insecticides”, *Zemlyarobstva i akhova raslin [Agriculture and plant protection]*, no. 4, pp. 56–60.
2. Vykhovets, S. L. (2000) “Strategy and tactics of overcoming and preventing resistance to the Colorado potato beetle insecticides”, *Zashchita rastenii [Plant protection]*, no. 25, pp. 45–51.
3. Bazyrova, A. T. and Fasulati, S. R. (2002) “Phenotypic and biological characteristics of populations of the Colorado potato beetle in relation to vertical zonation”, *Ekologicheskie aspekty intensifikatsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (12–14 marta 2002 goda), PGSKhA [Environmental aspects of the intensification of agricultural production: Proceedings of the International scientific-practical conference (12–14 March 2002), PSAA], RIO PGSKhA, Penza, RU, vol. 2, pp. 146–148.*
4. Vasyutin, A. S., Smetnik, A. I. and Mordkovich, Ya. B. (2000) “Speaker spread the Colorado potato beetle, the state and prospects for the struggle against it”, *Zashchita i karantin rastenii [Plant protection and quarantine]*, no. 12, pp. 13–15.
5. Vilkova, N. A. and Fasulati, S. R. (2000) “Adaptive processes in the population as a phenomenon of microevolution of species on the example of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say”, *Sovremennoe sostoyanie problemy rezistentnosti vreditel'ei, vzbuditelei boleznei i sornyakov k pestitsidam v Rossii i sopredel'nykh stranakh na rubezhe XXI veka: Materialy 9-go soveshchaniya, Sankt-Peterburg, 20–22 dek., 2000 [The current state of the problem of resistance of pests, pathogens and weed pesticide in Russia and neighboring countries at the turn of the XXI century: Proceedings of the 9th meeting, St. Petersburg, 20–22 December 2000], RASKhN, VIZR, St. Petersburg, RU, pp. 16–18.*
6. Vilkova, N. A. and Fasulati, S. R. (2002) “Indikatsiya protsessov mikroevolyutsii i ikh napravlenost' u koloradskogo zhuka *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera, Chrysomelidae) i vrednoi cherepashki *Eurygaster integriceps* Put.

(Heteroptera, Scutelleridae)”, XII S’ezd Russkogo entomologicheskogo obshchestva (19–24 avgusta 2002 g., g. Sankt-Peterburg): tezisy dokladov [XII Russian Entomological Society Congress (19–24 August 2002 in Saint-Petersburg): abstracts], Russkoe entomologicheskoe obshchestvo, St. Petersburg, RU, pp. 357–358.

7. *Vilkova, N. A., Sukhoruchenko, G. I. and Fasulati, S. R.* (2005) “Strategy for protection of crops from adventitious species of phytophagous insects on the example of the Colorado potato beetle”, *Vestnik zashchity rastenii* [Plant Protection Bulletin], no. 3, pp. 2–15.

8. *Vronskikh, M. D.* (2009) “Some of the risks of agricultural production Moldova and plant protection problems”, *Zashchita rastenii – dostizheniya i perspektivy: materialy dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma*, Kishinev, 19–22 oktyabrya 2009 g. [Plant protection – achievements and prospects: Proceedings of the International Symposium, Chisinau, 19–22 October 2009], Chisinau, MD, pp. 36–49.

9. “Geography of Belarus”, Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F_%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D1%83%D1%81%D0%B8%D0%B8, (accessed 27.10.2015)

10. “Geography of Moldova”, Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F_%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%B4%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%B8, (accessed 27.10.2015)

11. *Pleshko, L. V., Gololob, T. I., Pesterev, S. A., Khvalei, O. A. and Boyarchuk, V. E.* (2014) Gosudarstvennyi reestr sredstv zashchity rastenii (pestitsidov) i udobrenii, razreshennykh k primeniyu na territorii Respubliki Belarus’ [The State Register of plant protection products (pesticides) and fertilizers permitted for use on the territory of the Republic of Belarus], Promkompleks, Minsk, BY

12. (2011) “Due to climate change in Moldova today can meet African butterflies and hummingbirds”, Available at: <http://oko-planet.su/pogoda/listpogoda/78477-iz-za-izmeneniya-klimata-v-moldove-segodnya-mozhno-vstretit-afrikan-skih-babochek-i-kolibri.html>, (accessed 27.10.2015)

13. *Vasil’eva, T. I., Ivanova, G. P., Sukhoruchenko, G. I., Ivanov, S. G. and Shevchenko, N. M.* (2004) “Changing of phenotypic structure of populations of the Colorado potato beetle under the influence of pyrethroids and other factors”, in Pavlyushin, V. A. (ed.) *Khimicheskii metod zashchity rastenii: sostoyaniye i perspektiva povysheniya ekologicheskoi bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 6–10 dekabrya 2004 g. [The chemical method of plant protection: state and prospect of increase of ecological safety: materials of the international scientific-practical conference, December 6–10, 2004], Innovatsionnyi tsentr zashchity rastenii, St. Petersburg, RU, pp. 43–45.

14. *Klimets, E. P.* (1988) “Detection sensitivity of the Colorado potato beetle to the action of insecticides using fen”, *Fenetika prirodnykh populyatsii: Sbornik nauchnykh trudov* [Phenetics natural populations: Proceedings], Nauka, Moscow, RU, pp. 111–117.

15. *Pavlyushin, V. A., Sukhoruchenko, G. I., Fasulati, S. R. and Vilkova, N. A.* (2009) “Colorado potato beetle: distribution, ecological plasticity, harmfulness, control methods”, *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine], no. 3, pp. 69–100.

16. *Ushatinskaya R. S., Ivanchik E. P., Izhevskii S. S.* (1981) *Koloradskii kartofel’nyi zhuk, Leptinotarsa decemlineata. Solorado potato beetle, Leptinotarsa decemlineata: Filogeniya, morfologiya, fiziologiya, ekologiya, adaptatsiya, estestvennye vrugi* [Colorado potato beetle, Leptinotarsa decemlineata. Colorado area potato beetle, Leptinotarsa decemlineata: Phylogeny, morphology, physiology, ecology, adaptation, natural enemies], Nauka, Moscow, RU

17. *Kokhmanyuk, F. S.* (1982) “The variability of the genetic structure of the Colorado potato beetle populations within the range”, *Fenetika populyatsii: [materialy 2-go vsesoyuznogo soveshchaniya, Moskva, 1979 g.]* [Phenetics populations: [Materials of the 2nd All-Union Conference, Moscow, 1979]], Nauka, Moscow, RU, p. 233.

18. *Kokhmanyuk, F. S.* (1976) “Microevolution model – Colorado potato beetle”, *Tezisy dokladov III c’ezda Belorusskogo obshchestva genetikov i selektsionerov*, (22–24 iyunya 1976 g., g. Gorki) [Abstracts of the III congress of the Belarusian Society of Geneticists and Breeders, (June 22–24, 1976, Gorki)], [AN BSSR], Minsk, BY, p.103.

19. *Mel’nik, V. I.* (2011) “Belarus will soon be a climate in Ukraine”, Available at: <http://www.kp.by/daily/25689/892943/>, (accessed 26.11.2014)

20. *Zakharenko, V. A. and Grichanov, I. Ya.* (ed.) (2002) *Metody monitoringa i prognoza razvitiya vrednykh organizmov: sbornik statei* [Methods of monitoring and prognosis of harmful organisms: a collection of articles], RASKhN, St. Petersburg, RU

21. *Roslavtseva, S. A.* (2005) “Monitoring of the Colorado potato beetle resistance to insecticides”, *Agrokhimiya* [Agrochemistry], no. 2, pp. 61–66.

22. *Roslavtseva, S. A. and Mikhina, I. G.* (2001) “About the Colorado potato beetle resistance to insecticides”, *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine], no. 5, pp. 27–28.

23. *Timofeev-Resovskii, N. V. and Yablokov, A. V.* (1973) “Hair dryers, genetics and evolutionary biology”, *Priroda* [Nature], no. 5, pp. 40–51.

24. *Fasulati, S. R.* (1987) “Analysis of the Colorado potato beetle population structure and its significance for the development of zonal potato protection systems”, *Byulleten’ Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel’skogo instituta zashchity rastenii* [Bulletin of the National Research Institute of Plant Protection], no. 63, pp. 38–43.

25. *Fasulati, S. R.* (1986) “The relationship of external and environmental polymorphism of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say)”, *Trudy Vsesoyuznogo entomologicheskogo obshchestva* [Proceedings of the All-Union Entomological Society], vol. 68, pp. 122–125.

26. *Fasulati, S. R.* (1985) “Polymorphism and population structure of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say in the European part of the USSR”, *Ekologiya* [Ecology], no. 6, pp. 50–56.

27. *Fasulati, S. R.* (2010) “Formation of intraspecific structure of insects in terms of agro-ecosystems by way of example the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say, 1824 (Coleoptera, Chrysomelidae) and harmful bugs *Eurygaster*

integriceps Puton, 1881 (Heteroptera, Scutelleridae)”, *Naukovii visnik Uzhgorods'kogo universitetu. Seriya Biologiya* [Scientific Bulletin of the Uzhgorod University. Series Biology], vol. 29, pp. 13–27.

28. “Environmental Stress”, Available at: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/7032/%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%95%D0%A1%D0%A1>, (accessed 01.02.2015)

29. *Yablokov, A. V.* (1980) *Fenetika* [Phenetics], Nauka, Moscow, RU

30. *Brechko, E.* (2012) “Variability of phenotypic structure of Colorado beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) populations under the anthropogenic factor influence”, *Oltenia. Studii si comunicari. Stiintele Naturii*, vol. 28, no. 1, pp. 101–104.

31. (2007) “LEGEA privind dezvoltarea regională în Republica Moldova nr. 438-XVI din 28.12.2006”, *Monitorul Oficial nr.21-24/68 din 16.02.2007*

32. (2014) “Registrul de stat al produselor de uz fitosanitar și al fertilizanților. Supliment general (2014), Chișinău, 2014”, Available at: <http://www.pesticide-md.com/registrul/>, (accessed 03.08.2015)

Информация об авторах

Бречко Елена Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты овощных культур и картофеля, Институт защиты растений (ул. Мира, 2, 223001, Прилуки, Минский район, Минская область, Беларусь). E-mail: brechkoelena@tut.by

Елисовецкая Дина Степановна – доктор биологических наук, старший научный сотрудник ведущий научный сотрудник лаборатории «Интегрированная защита растений», Институт генетики, физиологии и защиты растений АНМ (ул. Пэдурий, 20, MD 2002, Кишинев, Молдова). E-mail: dina.elis.s@gmail.com

Настас Тудор Николаевич – доктор хабилитат (биолог.), старший научный сотрудник, зав. лаб. фитотерапии и экотоксикологии, Институт генетики, физиологии и защиты растений АНМ (ул. Пэдурий, 20, MD 2002, Кишинев, Молдова). E-mail: tudor_nastas@mail.com

Войтка Дмитрий Владимирович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией микробиологического метода защиты растений от вредителей и болезней, Институт защиты растений (ул. Мира, 2, 223001, Прилуки, Минский район, Минская область, Беларусь). E-mail: d.voitka@tut.by

Янковская Елена Николаевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологического метода защиты растений от вредителей и болезней, Институт защиты растений (ул. Мира, 2, 223001, Прилуки, Минский район, Минская область, Беларусь). E-mail: helena_yan@yandex.ru

Для цитирования

Формирование фенотипической структуры популяций колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) в условиях экологических стрессов / Е.В. Бречко [и др.] // *Вест. Нац. акад. наук. Беларусі. Сер. аграр. навук.* – 2016. – №4. – С. 79–89.

Information about the authors

Brechka Alena V. – Doctor of Philosophy (Agriculture), Institute of Plant Protection (Priluki, Belarus). E-mail: brechkoelena@tut.by

Elisovetskaya Dean S. – Doctor of Biological Science, Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection ASM (Chisinau, Moldova). E-mail: dina.elis.s@gmail.com

Nastas Tudor N. – Doctor habilitat (Biology), Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection ASM (Chisinau, Moldova). E-mail: tudor_nastas@mail.com

Voitka Dmitry V. – Doctor of Philosophy (Biological), Institute of Plant Protection (Priluki, Belarus). E-mail: d.voitka@tut.by

Yankouskaya Alena N. – Doctor of Philosophy (Biological), Institute of Plant Protection (Priluki, Belarus). E-mail: helena_yan@yandex.ru

For citation

Brechko E. V., Elisovetskaya D. S., Nastas T. N., Voitko D. V., Yankovskaya E. N. Formation of phenotypic structure of populations of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) under environmental stresses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, agrarian series*, 2016, no 4, pp. 79–89.