

УДК 632.7.04/08

В. В. Линьков

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»

E-mail: linkovvitebsk@mail.ru

РЕГУЛЯТОРНЫЕ ЗОНЫ БИОДИНАМИЧЕСКОЙ САМОРЕГУЛЯЦИИ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ: НА ПРИМЕРЕ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY)

РЕЗЮМЕ

Многолетние исследования процессов производства растениеводческой продукции в условиях личных подсобных хозяйств населения, а также в крупнотоварных агрохозяйствах общественного сектора национальной экономики позволили сформулировать инновационную акселерационную концепцию, выражающуюся в отображении понятия регуляторных зон биодинамической саморегуляции насекомых-вредителей на примере изучения колорадского жука в посадках картофеля. Общая экономическая эффективность активного использования инновации позволяет получать дополнительно 16,2 руб. чистой прибыли на балло-гектар пахотных угодий.

Ключевые слова: картофель, колорадский жук, регуляторные зоны, саморегуляция фитофагов.

ВВЕДЕНИЕ

Современные средства защиты растений от вредоносных фитофагов [2–5], а также значительные складские запасы пестицидов прошлых лет [6] свидетельствуют как о направлениях их развития, так и о большой вариативности фактического применения сильнодействующих ядовитых веществ (далее – СДЯВ) в сельскохозяйственном производстве [2–5, 13]. Кроме того, в настоящее время в республике отмечаются изменения не только фитосанитарной ситуации, технологии возделывания картофеля, сортового сортимента, используемых инсектицидов, но и некоторые особенности биоэкологии и фенологии колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) [2]. Поэтому вполне оправданным и актуальным будет анализ исследований наиболее уязвимых мест насекомых-вредителей (на примере колорадского картофельного жука) с целью снижения экологической нагрузки СДЯВ на природно-эксплуатационный комплекс аграрного производства с учетом экономической составляющей получения растениеводческой продукции. Для достижения отмеченной цели необходимо решить следующие задачи: изучить теоретические

и практические разработки по экологии и физиологии колорадского жука; провести полевые исследования вредоносности колорадского жука на картофеле; установить регуляторные зоны биодинамической саморегуляции фитофага; определить экономическую эффективность рационального использования понятия регуляторных зон.

Картофелеводство в Беларуси имеет глубокие исторические и психологические корни. До сих пор, передавая из поколения в поколение детали жизнеобитания в лихолетье 1941–1945 гг. (когда выращивание картофеля обеспечило уход от голода, болезней и нищеты), белорусские жители стремятся возделывать картофель как в условиях личных подсобных хозяйств (85,0 % от общей площади посадок в республике в 2015 г.), так и в общественном секторе экономики сельского хозяйства (15,0 %) [11]. Современное состояние картофелеводства можно оценить, анализируя данные таблицы 1.

Из таблицы 1 следует, что, несмотря на относительную стабилизацию посевных площадей возделывания картофеля и устойчиво небольшую (по мировым меркам) среднюю урожайность, наблюдается значительная вариативность главного результирующего экономического параметра – уровня рентабельности производства. Можно сказать, что колебания уровня рентабельности от 58,6 % в 2010 г. до 1,2 % в 2015 г. с минимальным значением (11,6 %) в 2012 г. говорят о неустойчивой позиции рыночного регулирования производства, где главный тон задают оптовые покупатели большой массы картофеля: картофелеперерабатывающие предприятия (глюкозо-паточные и крахмальные, а также спиртпроизводящие и др.); крупнейшие оптово-розничные распределители.

Основные факторы для определения конкурентоспособности производства картофеля в условиях Беларуси можно представить в виде следующей схемы, рассчитанной по материалам факторного анализа (рис. 1) [7].

Из рисунка 1 видно, что конкурентоспособность производства картофеля представляет собой многокомпонентную составляющую целой системы факторов его производства. Изменение действия и удельного веса каждого из них в экономическом воздействии в структуре представленных факторов позволяет добиваться сравнительного результата в каждом конкретном, заинтересованном в положительном результате агропроизводстве.

Таблица 1 – Основные производственно-экономические характеристики картофелеводства Беларуси последних лет

| Показатели | Год | | | | | |
|---|------|------|-------|------|------|------|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Площади посадок, тыс. га | 371 | 345 | 335 | 309 | 310 | 314 |
| Удельный вес в структуре посевных площадей, % | 6,6 | 6,0 | 5,8 | 5,4 | 5,3 | 5,3 |
| Урожайность, т/га | 21,4 | 21,0 | 20,8 | 19,4 | 20,4 | 19,4 |
| Уровень рентабельности, % | 58,6 | 22,2 | –11,6 | 23,1 | 29,3 | 1,2 |

Примечание. Таблица составлена на основе данных [11].

РАЗДЕЛ 3. ИММУНИТЕТ И ЗАЩИТА КАРТОФЕЛЯ

| | |
|-----------------|---|
| Организационные | <ul style="list-style-type: none"> • Площадь возделывания; • валовой объем производства; • уровень специализации; • объемы реализации продукции |
| Экономические | <ul style="list-style-type: none"> • Цена реализации; • рентабельность реализованной продукции; • прибыль на балло-гектар сельхозугодий |
| Биологические | <ul style="list-style-type: none"> • Сортовая агротехника; • реализация потенциальной продуктивности агрофитоценоза |
| Технологические | <ul style="list-style-type: none"> • Затраты на семена; • затраты на интегрированную защиту растений |
| Инновационные | <ul style="list-style-type: none"> • Затраты на содержание основных средств; • затраты на использование высокотехнологичных факторов земледелия |
| Маркетинговые | <ul style="list-style-type: none"> • Удельный вес реализованной продукции; • анализ потенциала предприятия; • стимулирование сбыта и реклама |

Рисунок 1 – Факторы конкурентоспособности производства картофеля

Затрагивая наиболее сильно некоторые из факторов (организационно-экономические, инновационные, биологические и технологические), можно найти определенные преимущества в использовании отдельных и взаимодополняемых действий данных факторов.

Изучение регуляторных зон биодинамической саморегуляции колорадского жука показывает, что в его биологии четко прослеживаются два принципиально различных физиологических состояния: активная жизнедеятельность и физиологический покой – длительная диапауза. При этом активная жизнедеятельность сопровождается передвижением, расселением на значительные расстояния, размножением, развитием и питанием. В состоянии периода физиологического покоя питание отсутствует, а жизнедеятельность в диапаузу поддерживается за счет запасенных питательных веществ, но локомоторная активность сильно ограничена [12]. Ярко выраженная высокая экологическая

пластичность колорадского жука проявляется в эффективном использовании диапаузы не только для преодоления неблагоприятных периодов времени года (позднеосенний, зимний и ранневесенний), но и отдельные неблагоприятные периоды уже во время активной жизнедеятельности: во время резких колебаний температур, длительной повышенной или пониженной увлажненности, вследствие фотопериодизма и, особенно показательно, после инсектицидных обработок [2, 3, 8, 12], когда неправильно подобранная доза препарата (по разным причинам, в том числе и из-за резко изменившихся погодных условий во время обработки или сразу после обработки, неотрегулированное форсуночное оборудование сельхозмашин, неравномерно наносящее инсектицид на поверхность клубней, на листовую поверхность растений и т. д.) позволяет вредителям приблизиться к значению ЛД-50 и часть из фитофагов методом длительной диапаузы, а также другими способами (перемещение по территории, продвижение в почву, активная диапауза) пытается избежать пагубного воздействия неблагоприятных условий внешней среды обитания.

Необходимо отметить также, что на колорадского жука может оказывать различное действие следующий комплекс факторов, в составе которых присутствуют абиотические, биотические и антропогенные факторы (рис. 2). При этом, если в целом подходить к вопросу шаблонно, это может способствовать полному отсутствию понимания возможностей регуляторных зон различных факторов. Так, например, статичное понимание параметров климат и погода, фактического месторасположения посадок картофеля в качестве хозяина для фитофагов – это одно, но динамическое понимание – это совсем другое, позволяющее управлять ростом и развитием растений в определенных климатических условиях среды, а также управлять процессами вредоносности популяций фитофагов. Биотические и антропогенные факторы при



Рисунок 2 – Факторы, оказывающие непосредственное воздействие на жизнеобитание колорадского жука (интерпретировано по [3–5, 12])

объединении некоторых из них в понятие «высокотехнологичные факторы земледелия» позволяют изыскивать значительные резервные возможности в создании высокопродуктивного и экономически целесообразного агрофитоценоза при одновременном угнетающем действии на фитопатогенов, в значительной степени снижающих данную эффективность производства.

Изучение сопряженности развития растений картофеля и его основного вредителя позволили выявить периоды наибольшей вредоносности личинок колорадского жука. Установлено, что они отличаются в зависимости от погодных условий, сортовых особенностей и агроклиматической зоны возделывания картофеля. Так, в годы с температурой воздуха, близкой к средне-голетним значениям, во время выхода вредителя из мест зимовки в центральной агроклиматической зоне Беларуси данный период наблюдался на ранних и среднеранних сортах картофеля в фазах бутонизация – цветение, на среднеспелых, среднепоздних и поздних сортах – начало бутонизации – цветение, а в южной агроклиматической зоне – цветение и бутонизация – цветение соответственно. В годы с температурой воздуха выше среднеголетних значений во время выхода вредителя из мест зимовки в центральной (на 4,0–7,6 °С) и южной (на 0,8–7,1 °С) зонах период вредоносности фитофага совпадал на ранних и среднеранних сортах с фазами полные всходы – бутонизация; на среднеспелых, среднепоздних и поздних – начало бутонизации – бутонизация. Исследования динамики и численности вредителя с учетом возрастной структуры популяции показали, что в это время на долю личинок 2-го возраста приходилось более 40–50 % общего количества биомассы. Исследованиями также установлено, что численности личинок и степень повреждения ими листовой поверхности растений колебались в зависимости от условий года, сортовых особенностей и агроклиматической зоны возделывания картофеля. При численности личинок в фазах начало бутонизации – цветение от 7,7 и выше экз/растение и средней степени повреждения растений вредоносность фитофага была высокой: при обработке растений инсектицидами величина сохраненного урожая варьировала от 3,7 до 21,5 т/га. При этом установлена корреляционная взаимосвязь между степенью повреждений листовой поверхности растений и численностью вредителя ($r = 0,83-0,99$), а также между величиной урожая и степенью повреждения листовой поверхности изучаемых сортов картофеля $r = (-)0,68-(-)0,96$ [2].

Отдельными исследователями показано, что кроме различий в календарно-годовой активности популяции колорадского жука имеется и суточный ритм. В наиболее жаркие летние месяцы (во второй половине июня – половине августа) в сутках (особенно в солнечные дни) имеется два подъема суточной активности передвижения и питания – утренний и вечерний, с пиком между 9–11 и 16–19 часами. Они разделены двумя периодами пониженной активности жуков, из которых первый совпадает с наиболее жаркими часами дня, в которые жуки укрываются от перегревания под листьями растений, и второй – с ночными часами суток с пониженной температурой. Следовательно, суточный ритм локомоторной и пищевой активности колорадского жука в этом интервале времени

имеет бициклический характер. Данный двухвершинный суточный ритм активности питания удерживается до середины августа. Позже (во второй половине августа – начале сентября), во время преддиапаузной подготовки, суточный ритм передвижения и питания как старых, однажды зимовавших, так и молодых жуков текущего сезона вновь становится моноциклическим с одним пиком в полуденные часы. Кроме этого существуют значительные колебания чувствительности (устойчивости) на различных фазах развития колорадского жука к изменениям окружающей среды. Особенно уязвимыми (малоустойчивыми) можно считать фазы межлиньковых периодов у личинок, особо устойчивыми – окончание залегания имаго на зимнюю диапаузу [12].

Таким образом, представленные количественные факторы жизнеобитания колорадского жука, позволяют ему оперировать двумя типами диапауз покоя, вызванными транскрипционной активностью генов, призванных регулировать диапаузу: конзекутивный (физический), наступающий под прямым давлением абиотических условий окружающей среды, выходящих за пределы витальной зоны нормы реакции среды этого вида (3S), и проспективный (физиологический) покой, который сформировался вследствие длительной эволюционной адаптации на организменном уровне при циклично повторяющихся, неблагоприятных для активной жизнедеятельности абиотических условий среды и в разной мере предшествующих наступлению этих условий [1, 8].

Конзекутивный покой как следствие экстремальных климатических воздействий сопровождается оцепенением, которое заканчивается сразу или вскоре после прекращения неблагоприятных условий.

К проспективному покою относятся такие состояния (подобные диапаузе и ее модификациям), индукция и формирование которых происходит при ритмичном повторении определенных сигналов (на генетическом уровне, представленном мРНК геном субъединицы rd1 рецептора-анализатора GABA-A ответных действий на проявление факторов среды [8]), особенности которых приведены на рисунке 3. В качестве сенсоров приближения неблагоприятного сезона могут быть: сокращение светового периода и ответная на это фотопериодическая реакция; изменение среднесуточного хода и среднесуточной температуры окружающей среды; изменение физиологического состояния и биохимического состава растения хозяина и др.

Из рисунка 3 видно, что наглядное обозначение количественных характеристик популяции колорадского жука показывает очень широкие возможности его пластичности (устойчивости) к неблагоприятным факторам окружающей среды. Интенсивность и уровень воздействия биотического, абиотического и антропогенного давления на популяцию приводит ее в неоднозначный вид со свойственным распределением устойчивости популяции (и устойчивой в активной жизнедеятельности популяции), или части оставшихся (выживших) особей популяции.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что созданная антропогенной деятельностью сельскохозяйственных производителей агроэкосистема

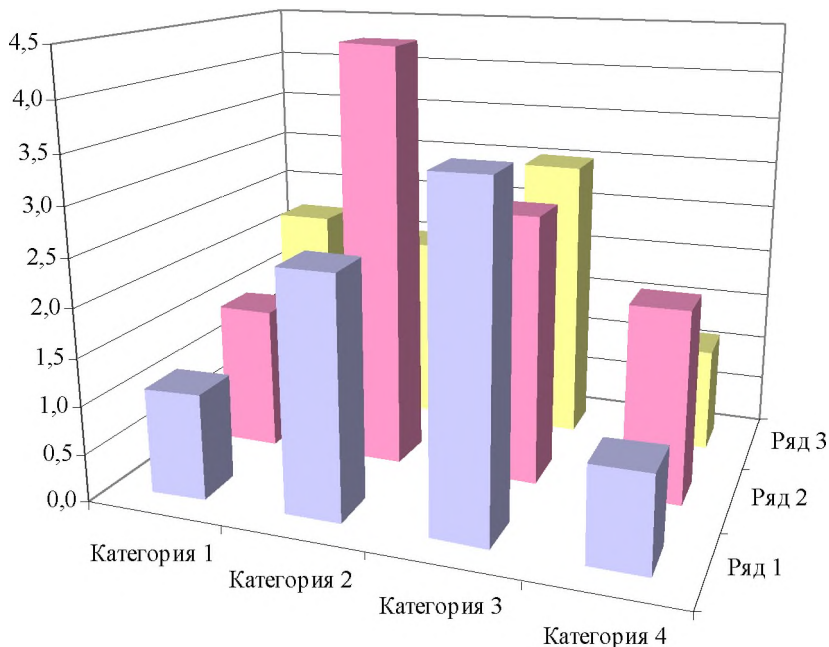


Рисунок 3 – Особенности различного воздействия факторов окружающей среды на полиморфизм популяции колорадского жука

Примечания. 1. Рисунок составлен на основании [3, 4, 12].

2. Категориями обозначены генотипические возможности популяции колорадского жука варьировать численную активность имаго при заселении посадок картофеля второго периода вегетации.

2. Рядами обозначены приспособительные реакции части популяции на изменяющиеся условия среды жизнеобитания.

является многоплановым механизмом, в котором имеется большое количество потенциально возможных регуляторных зон, способных в значительной степени повлиять на ее общую экономическую эффективность. Поэтому важными моментами сукцессионной деятельности как процесса, обратного саморегуляции биодинамических агроэкосистем, являются как минимум два из них: высокая продуктивность культурного агрофитоценоза и ритмичная устойчивость на длительную перспективу. При этом необходимо учитывать следующие два фактора: разрушение процессов естественной регуляции численности вида в экосистемах и развитие устойчивости к ядохимикатам у данных насекомых [14–17].

Помимо вышеизложенного, необходимо отметить, что наиболее значимые исследования по изучению количественной экологии популяции патогенной энтомофауны представлены в трудах Е. И. Шлингера [1], где достаточно подробно рассматриваются вопросы гомеостаза, роста, равновесия популяции и сопротивления окружающей среды. Так, в особенности необходимо акцентировать внимание на численных выражениях роста популяции и сопротивляемости среды, которые могут быть определены при помощи логистической зависимости роста, представленной следующим уравнением:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{nD(A - D)}{A}, \quad (1)$$

где n – потенциальная скорость размножения организма (максимальная возможная скорость размножения при данных условиях существования);

D – число особей в данный момент времени (t);

A – максимальная плотность популяции, возможная в данных условиях;

dD/dt – выражение, показывающее скорость изменения численности во времени.

Логистическая зависимость представляет собой следующее ее значение: если при постоянных условиях физической среды популяция вредных организмов была основана в благоприятной для них среде, то ее рост будет первоначально медленным, в последующем будет возрастать в геометрической прогрессии, а затем увеличение численности все более и более замедляется, пока не станет равным нулю, и в этот момент плотность популяции находится в равновесном состоянии с внешней средой обитания. Рассматривая основные механизмы и факторы равновесия, исследователи пришли к выводу о том, что для достижения и поддержания равновесия в природе существуют две мощные буферные силы, которые в некотором смысле уравнивают друг друга. Это присущая организмам высокая способность к размножению и зависящие от плотности реакции, ограничивающие воспроизводство, причем их наиболее типичным выражением является межвидовая и внутривидовая борьба. Подавляющие факторы любой данной среды представлены многими силами, противодействующими росту популяции, но те подавляющие силы, которые действуют независимо от плотности (например, погодно-климатические факторы отдельного периода года или целого года, ряда предыдущих и последующих лет), не обладают какими-либо свойствами в виде чувствительной буферности, параллельной высокой буферной способности к воспроизводству.

Следовательно, эти две буферные силы начинают действовать, когда условия внешней среды, включая плотность популяций, изменяются, причем высокая репродуктивная способность обычно наблюдается при низкой плотности, а высокая смертность или низкая рождаемость – вследствие причин, обусловленных возрастающей плотностью, приобретают все большее значение с увеличением плотности и приближением ее к фактическому или потенциальному максимуму. Наконец, при полном насыщении среды с данной емкостью общее сопротивление росту популяции автоматически (саморегуляторно) достигает уровня, обеспечивающего уравнивание смертности и рождаемости [1, 12]. Поскольку рассматривается характер эффективного использования имеющихся местообитаний и устранение избытка фитофагов как некоторую функцию плотности, то мы вплотную приближаемся к пониманию об обязательном существовании по меньшей мере одного компонента подавляющих сил среды, зависящего от плотности. Для производственной агрономии нет никакой необходимости, чтобы все факторы сопротивления или

подавления внешней среды действовали таким же образом для создания равновесия популяции, так как для этого достаточно действия, по крайней мере, одного фактора. Такого рода действия (зависящие от плотности популяции) называются реакцией, обусловленной плотностью, или подавлением, обусловленным увеличением плотности популяции. Данный фактор представляет собой регулирующий механизм подавления плотности популяции вредителей [1].

Однако в новом направлении современного земледелия – прогрессивной агрономии – существуют понятия комплексного, экономически целесообразного действия: как направленного уничтожения вредоносной фауны при использовании целого арсенала средств, приемов и способов (севообороты, устойчивые сорта растений, передовая агротехника, технологии применения средств интегрированной защиты растений и всего того, что включено в технологические регламенты производства агрокультур [2, 4, 5, 10]), так и активное или пассивное использование биодинамической саморегуляции, приводящее численность насекомых вредителей к их допороговому значению вредоносности. Особый интерес здесь вызывает определение регуляторных зон такой саморегуляции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводились на мелкоделяночных опытах по комплексному агротехнологическому изучению различных сортов картофеля в условиях низкогидроморфных почв Витебской области в 2009–2017 гг., а также при изучении производственных посадок картофеля в крупнотоварных агрохозяйствах СПК «Ольговское» и КУСХП «Вымно» Витебской области. Все исследования выполнены по собственной инициативе, в свободное от основной работы время, за счет личных средств. В исследованиях использовались методы анализа, синтеза, дедукции, сравнений, общепринятой методики полевого опыта, прикладной математики, позволяющие значительно расширить методологический инструментарий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам исследований установлены следующие биодинамические параметры циклической активности заселения колорадским жуком (имаго и личиночной стадии) посадок картофеля (табл. 2).

Из таблицы видно, что количество личинок 1–2-го возрастов в начальном инвазийный период составило 33,1 шт/растение, спустя 1 день (сутки) после элиминации фитофагов из посадок картофеля количество личинок снизилось до 12,8 шт/растение (при установленной исследователями пороговой численности в 4 шт/растение [2]). В последующем чем больший период времени экспозиционируется для развития личинок, тем их большее количество наблюдается в виде плотности личинок на 1 куст, многократно превышая порог вредоносности.

Совершенно иная картина наблюдается в поведении имаго, когда начальное заселение посадок составляет в среднем 0,2 жука/куст (0,182), но уже

Таблица 2 – Особенности циклической активности колорадского жука на посадках картофеля, шт/га

| Исследуемые показатели | Основные периоды | | | | Среднее количество личинок, шт/растение |
|---|-------------------------|------------|------------|--------------------------|---|
| | заселение посадок имаго | спаривание | яйцекладки | личинки 1–2-го возрастов | |
| Весенне-летний вылет | 5 107 | 1 962 | 56 730 | 927 440 | 33,1 |
| Через 1 день после элиминации фитофагов | 4 998 | 2 070 | 59 856 | 359 330 | 12,8 |
| Через 2 дня после элиминации фитофагов | 3 125 | 1 468 | 52 848 | 423 640 | 15,1 |
| Через 3 дня после элиминации фитофагов | 3 709 | 2 496 | 44 813 | 608 370 | 21,7 |
| Инсектицидная обработка клубней | 121 | 24 | 6 447 | 78 653 | 2,8 |
| Инсектицидная обработка посадок | 654 | 90 | 6 096 | 28 020 | 1,0 |

через один день после элиминации имаго их численность практически восстанавливается и составляет 0,2 жука/куст (0,179). Однако снижение численности имаго при двух- и трехдневной экспозиции после элиминации (в среднем до 0,1 шт/растение) объясняется скоростью биодинамической жизнедеятельности, при которой половозрелые жуки после активного периода размножения уходят в почвенную диапаузу (на отдых).

Вместе с тем совершенно не полагаясь на действия энтомофагов в посадках картофеля, так как в наших исследованиях наблюдалась только очагово-незначительная активность кокциннелид, можно констатировать очень большую разницу численности имаго и личинок колорадского жука после применения инсектицидов. При этом анализировались два основных способа применения инсектицидов: при обработке клубней и при обработке вегетирующих растений. Оба способа обработок при их правильном использовании показали свою высокую эффективность и позволили снизить количество личинок в посадках до пороговой численности.

Было также отмечено, что в условиях Витебской области на низкогидроморфных почвах наблюдается устойчивая тенденция развития двух поколений вредителя. При этом второе поколение появляется в среднем через полтора месяца после первого. Однако технологические особенности возделывания картофеля, а также изменения, связанные с ухудшением условий роста и развития фитофагов, приводят к тому, что второе поколение, если и успевает оформиться в куколку, перезимовывает с большой потерей особей от неблагоприятных условий среды. Но при этом часть самок, уходя в зимовку, находятся в оплодотворенном состоянии и уже ранней весной при выходе из почвы одновременно начинают активное питание и яйцекладку, тем самым резко увеличивая начальные темпы инвазии.

РАЗДЕЛ 3. ИММУНИТЕТ И ЗАЩИТА КАРТОФЕЛЯ

Исходя из представленного анализа, изучение регуляторных зон может быть осуществлено через математическое определение плотности популяции в любой данный момент времени после начала роста популяции. Для этого воспользуемся интегралом дифференциального уравнения 1, представленным в следующем виде [1]:

$$D=A/1+e^{-bt}, \quad (2)$$

где e – константа 2,7181818....;

a и b – эмпирические константы для данных условий.

Расчеты регуляторных зон с дополнительным использованием вероятностного математического метода представлены в таблице 3.

Из данной таблицы видно, что имеются существенные различия вероятностных показателей между следующими регуляторными зонами: неустойчивые сорта картофеля и традиционный севооборот (на уровне достоверных различий).

Встраивая процессы производства картофеля, при формировании новых агротехнологических подходов современного земледелия необходимо исходить из того, что грамотное управляющее воздействие специалистов способствует эффективному использованию понимания регуляторных зон при биодинамической саморегуляции колорадского жука.

Таблица 3 – Основные показатели регуляторных зон биодинамической саморегуляции колорадского жука в опытных посадках

| Регуляторные зоны | Фаза развития вредителя | | | | | Полная вероятность* |
|------------------------------|-------------------------|------|------|------|-------|---------------------|
| | Возраст личинок | | | | Имаго | |
| | I | II | III | IV | | |
| Традиционный севооборот | 0,02 | 0,14 | 0,20 | 0,12 | 0,09 | 0,04 |
| Севооборот нового типа | 0,01 | 0,07 | 0,11 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| Неустойчивые сорта картофеля | 0,02 | 0,15 | 0,23 | 0,15 | 0,11 | 0,05 |
| Устойчивые сорта картофеля | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Агротехнологическая | 0,01 | 0,06 | 0,08 | 0,03 | 0,04 | 0,01 |
| Природно-климатическая | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,16 | 0,03 |
| Межвидовая (энтомофаговая) | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,01 |
| Инсектицидная | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,03 | 0,01 |
| Среднее | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,02 |
| НСР ₀₅ | 0,01 | 0,05 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,02 |

Примечание. Представлены показатели вероятностного распределения ожидаемой плотности популяции колорадского жука: при значениях 0 – наличная плотность популяции сведена к нулю и фактическая вредоносность для вегетирующих растений картофеля отсутствует; при значениях 1 – наблюдается максимальная вредоносность, снижение урожайности составляет 50,0 % и более.

*Показатели расчетных единиц полной вероятности вредоносного действия фитофагов характеризуют общие возможности регуляторных зон (чем меньше полная вероятность, тем большее значение имеет регуляторная зона в подавлении вредителей).

Практико-ориентированные исследования биотической, фитофаговой нагрузки в условиях севооборотного возделывания картофеля показали некоторые результаты, представленные на рисунке 4.

Из рисунка видно, что захват поля (краевой эффект) происходит вследствие сочетания следующих факторов:

- наличие и объемы популяции вредителей;
- благоприятные для фитофагов условия среды;
- способность культурного агрофитоценоза противостоять вредоносному воздействию;
- расстояние от края поля, при условии, что на соседнем поле (II) в прошлом году тоже возделывался картофель и ряд других факторов.

Поэтому в разработке стратегии акселерационных программ борьбы с вредителем необходимо отметить два очевидных, достоверно выделяющихся направления действия (см. табл. 3): освоение севооборота нового типа и использование высокоустойчивых к фитофагам сортов картофеля. Кроме того, исходя из большей эффективности комплексного воздействия различных факторов на результирующий показатель, можно улучшить использование инсектицидного параметра управления численностью колорадского жука.

Американскими исследователями показано, что севооборотное маневрирование с расстоянием, превышающим 0,4 кг, было эффективным для уменьшения колонизации колорадскими жуками картофеля в текущем сезоне. При повторном использовании полей картофеля в виде двухлетнего использования одного и того же поля, а также – в монокультуре, действие данного эффекта утрачивало силу. В качестве важных факторов культурооборотного маневрирования и пространственной изоляции полей картофеля предыдущего и текущего года рассматривается высокая эффективность отдельных компонентов ландшафта (например, лугопастбищные угодья), позволяющие снижать инвазию [15].

В наших исследованиях также подтверждается высокая эффективность пространственной изоляции в виде как луговых и пастбищных угодий, так и лесных массивов, болотистой местности (неиспользуемой для возделывания агрокультур) и даже жилых массивов сельских поселений, в которых имеются посадки картофеля, но удельный вес площадей возделывания картофеля в ЛПХ сравнительно отдельного поля крупнотоварного производства картофеля в общественном секторе экономики сельского хозяйства незначительный. Даже при фактической (из опытов) длине полевых участков ЛПХ в 135–195 м, ширина их в 500–1000 м представляет массив с насыщенным картофелеводством, который в 2–3 раза меньше установленного значения в 400 м. Но значительно чаще длина гона таких картофелеводческих участков (в среднем по сельским поселениям и дачным садовым товариществам) находится в пределах 40–100 м.

Рассматривая фактически новую концепцию управления численностью насекомых-вредителей, необходимо привести практические примеры

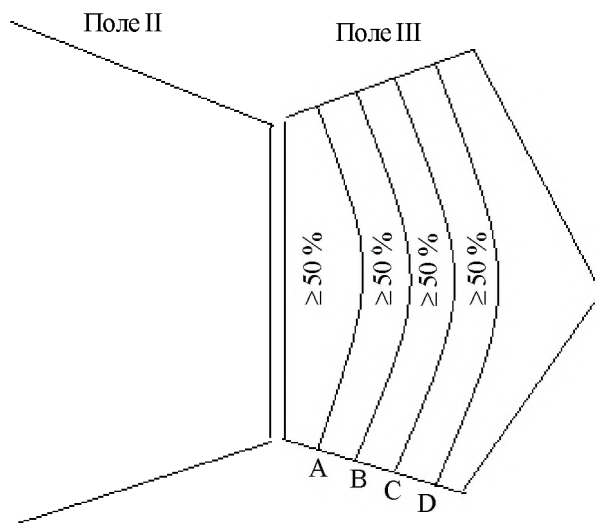


Рисунок 4 – Пространственно-временной фактор развития фитофаговой и биотической нагрузки в поле севооборота при возделывании картофеля

Примечания. 1. Изолиния А – фитосанитарная и биотическая нагрузка на посадки в период активных входов картофеля, достигающая характерных значений для $\geq 50\%$ порога вредоносности HS (хarm стандарта) заселения растений имаго; В – фитосанитарная и биотическая нагрузка на посадки картофеля в период фазы начало бутонизации вегетирующих растений, достигающая характерных показателей $\geq 50\%$ порога вредоносности HS заселения растений имаго и наличия яйцекладок, а также отродившихся личинок; С – фитосанитарная и биотическая нагрузка на агрофитоценоз картофеля в период полного цветения, достигающая общепринятых значений $\geq 50\%$ порога HS при наличии на растениях имаго и активно развивающихся личинок 1–2-го возрастов; D – фитосанитарная и биотическая нагрузка на посевы в период окончания утилизации и активной реутилизации растений картофеля, достигающая общепринятых значений $\geq 50\%$ порога HS наличия в посадках имаго и личинок всех возрастов.

2. Расстояние между изолиниями равно 100 м.

эффективного использования понятия регуляторных зон в условиях крупнотоварных агрохозяйств.

Пример 1. Использование провокационного фона – известный каждому агроному прием, позволяющий в значительной степени подавить расселение имаго в весенний период.

Пример 2. Загонный способ контроля численности имаго на вегетирующих посадках картофеля. Используется при применении химической обработки агрофитоценоза картофеля с внесением очень низких доз инсектицидов (в среднем в 4,7 раза меньших рекомендуемых норм), которые позволяют существенно подавить численность отрождающихся из яйцекладок личинок, а также на личиночной стадии развития фитофага (1–2-го возрастов), но на имаго оказывают только отпугивающее действие, заставляя их в массовом порядке мигрировать в специально отведенный на картофельном поле необработанный участок, составляющий не более 1–2 % площади от площади всего картофельного поля (чаще всего с обоих краев поля; на очень

обширных полях – полосами). Буквально на следующий день производится высокоэффективная инсектицидная обработка данного небольшого участка с использованием контактно-системных пестицидов в дозе, на пороге максимально возможной по рекомендациям производителя препаратов. Таким образом, достигается высокая экономическая эффективность не только самого агроприема в контроле численности фитофагов, но и большая экономия дорогостоящих средств защиты растений. Последующее использование выделенного участка рекомендуется на семенные цели.

Следует также отметить, что таких примеров множество. Поэтому их конкретное применение может быть четко обозначено в производственных условиях, характерных сугубо индивидуально в каждом агрохозяйстве.

Общая экономическая эффективность активного использования понятия регуляторных зон биодинамической саморегуляции насекомых-вредителей в виде колорадского жука на посадках картофеля составляет 16,2 руб. чистой прибыли на балло-гектар пашни.

Однако необходимо остановиться на еще одном моменте активного использования предлагаемой разработки. Это высокая агрономическая грамотность специалистов-производственников, которая предполагает глубокое понимание биологии вредителей, постоянные наблюдения и учеты численных параметров фитофагов и энтомофагов, знание всех тонкостей растениеводства и интенсивной агротехники возделывания картофеля, знания, практические умения и опыт работы с широким ассортиментом средств защиты растений и многое другое. Может быть на первый план вначале выйдут даже не столь глубокие знания, сколько высокий уровень стремления к постижению процессов управления производственной практикой, высокий уровень самодисциплины, самоотдачи и самоотверженного служения отечеству, делу сельскохозяйственного производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представленные исследования позволяют руководствоваться определенным базисом в виде анализа эффективного использования регуляторных зон биодинамической саморегуляции насекомых-вредителей на примере колорадского жука. Общий экономический эффект от внедрения предлагаемой инновации составляет только в масштабах Республики Беларусь 145,8 млн руб. чистой прибыли в год.

Список литературы

1. Биологическая борьба с вредными насекомыми и сорняками / пер. с англ. Н. А. Емельяновой [и др.]; под ред. Б. И. Рукавишникова. – М.: Колос, 1968. – 616 с.
2. Бречко, Е. В. Оптимизация применения инсектицидов в защите картофеля от колорадского жука [Электронный ресурс] / Е. В. Бречко. – 2012. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-primeneniya-insektitsidov-v-zaschite-kartofelya-ot-koloradskogo-zhuka>. – Дата доступа: 29.07.2017.

3. Долженко, О. В. Экоотоксикологическое обоснование использования новых средств защиты картофеля от вредителей на Северо-Западе Российской Федерации [Электронный ресурс] / О. В. Долженко. – 2011. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/ekotoksikologicheskoe-obosnovanie-ispolzovaniya-novykh-sredstv-zashchity-kartofelya-ot-vredi>. – Дата доступа: 28.07.2017.

4. О системе управления фитосанитарной ситуацией в агробиоценозах семенного картофеля / М. И. Жукова [и др.] // Защита растений: сб. науч. тр. – Минск, 2015. – Вып. 39. – С. 278–290.

5. Интегрированные системы защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков: рекомендации / БелНИИ защиты растений; редкол.: В. Ф. Самерсов (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи: Барановичская укр. тип., 1998. – 476 с.

6. Кузьмин, С. И. Пестициды в Республике Беларусь: инвентаризация, мониторинг, оценка воздействия на окружающую среду / С. И. Кузьмин, А. А. Савас-тенко; под общ. ред. В. М. Федини. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2011. – 84 с.

7. Ленский, А. В. Анализ конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий отрасли картофелеводства с применением статистических методов / А. В. Ленский, Е. И. Михайловский, Т. И. Ленская: Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2014. – № 2. – С. 53–60.

8. Транскрипционная активность генов, участвующих в регуляции диапаузы колорадского жука, и ее изменения под влиянием инсектицида фипронила [Электронный ресурс] / Ю. М. Никоноров [и др.]. – 2016. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/transkriptsionnaya-aktivnost-genov-uchastvuyuschih-v-regulyatsii-diapauzy-koloradskogo-zhuka-i-ee-izmeneniya-pod-vliyaniem>. – Дата доступа: 01.08.2017.

9. Определитель сельскохозяйственных вредителей по повреждениям культурных растений / под ред. Г. Е. Осмоловского. – Ленинград: Колос, 1976. – 696 с.

10. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов / Рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси, 2005. – 460 с.

11. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. 2016 / пред. ред. кол. И. В. Медведева. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2016. – 230 с.

12. Ушатинский, Р. С. Экология и физиология колорадского жука / Р. С. Ушатинский, Г. Г. Йирковский. – М.: Наука, 1976. – 131 с.

13. Фитосанитарная ситуация в посевах сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=30&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjLns8gK7VAhWrA5oKHcHXC904FBAWCF4wCQ&url=http%3A%2F%2Ffizr.by%2Fdoc%2Frec9_15.doc&usq=AFQjCNGfWE-5uScE2MxkMjO3qvieOPBE8Q. – Дата доступа: 29.07.2017.

14. Colorado potato beetle management on potatoes: current challenges and future prospects [Electronic resource] / A. Alyokhin [et al.]. – Access mode: <http://www.potatobeetle.org/overview.html>. – Date of access: 31.07.2017.

15. Effects of Landscape Composition and Rotation Distance on *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) Abundance in Cultivated Potato [Electronic resource] / A. S. Huseeth [et al.]. // Environmental Entomology. – 2012. – № 41. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/234141353_Effects_of_Landscape_Composition_and_Rotation_Distance_on_Leptinotarsa_decemlineata_Coleoptera_Chrysomelidae_Abundance_in_Cultivated_Potato. – Date of access: 31.07.2017.

16. Extraordinary Adaptive Plasticity of Colorado Potato Beetle: «Ten-Striped Spearman» in the Era of Biotechnological Warfare [Electronic resource] / A. Cingel [et al.]. – 2016. – № 17. – Access mode: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5037813/>. – Date of access: 31.07.2017.

17. Maharijaya, A. Managing the Colorado potato beetle; the need for resistance breeding [Electronic resource] / A. Maharijaya, B. Vosman // Euphytica. – Access mode: <https://link.springer.com/journal/10681>. – Date of access: 31.07.2017.

Поступила в редакцию 17.10.2017 г.

V. V. LINKOV

REGULATORY ZONES OF BIODYNAMIC SELF-CONTROL OF INSECTS-PESTS: ON THE EXAMPLE OF COLORADO BEETLE (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY)

SUMMARY

The research processes of crop production under private farms of the population, as well as – of large-scale agricultural enterprises of the public sector of the national economy, have allowed formulating innovative acceleration concept, which is expressed in the mapping of the concept of self-regulatory regions biodynamic pests on the example of studying the Colorado potato beetle in potato plantings. The overall economic efficiency of the active use of innovation makes it possible to obtain additional 16.2 rubles of net profit for score-hectare of arable land.

Key words: potatoes, colorado beetle, regulatory zones, self-regulation of phytophages.