

## Прогнозирование целесообразных объемов защитных мероприятий

*Предложена концепция создания типовой системы прогнозирования объемов защитных мероприятий в борьбе с вредителями. Она построена в соответствии с системой прогностического обеспечения республики и включает комплекс типовых алгоритмов прогнозов различной заблаговременности. Планирование целесообразных объемов на будущий сезон осуществляется на основе выходных параметров долгосрочного и краткосрочного прогнозов численности, перспективное планирование – с учетом многолетнего прогноза. Общими информационными ресурсами системы являются базы гидрометеорологических данных и форма по учету состава популяции вредителя. Информация в данной форме должна быть представлена в прогнозируемые по фенологии вредителя периоды.*

*The article suggests the concept of creating a typical system of forecasting the volumes of pest control activities. It is built according to the system of forecast existing in the country and includes a complex of typical algorithms for the forecasts of different periods. Planning the reasonable volumes for the next season is made on the basis of the short and long term forecast of the pest numbers. Perspective planning is based on the experience gained in many years. The hydro-meteorological data and a sheet form for tracking the pests number is common for both types of planning. The info in the form mentioned above must be submitted according to the forecasted periods of pests' phenology.*

В соответствии с современной стратегией и тактикой проведения защитных мероприятий текущее и перспективное планирование является наиболее важной составной частью управления фитосанитарной ситуацией поля и региона. В настоящее время при определении объемов защитных мероприятий в регионе, как основного элемента составления планов, преобладает метод экспертных оценок, который вносит субъективный фактор в истинное значение данного параметра. Несмотря на большой объем информации, собираемой специалистами службы защиты растений, конечное использование ее при планировании затруднено несопоставимыми и не приведенными к единой форме учета данными. С другой стороны, разработке таких форм и методик учета, созданию информационных систем должно предшествовать глубокое понимание закономерностей динамики популяций вредителей, выявление факторов, определяющих это развитие и возможности использования в полной мере агрометеорологической информации при функционировании модели в реальном времени. При этом применение выходных параметров модели в практике возможно лишь при разработке новых методов и методик сбора первичной информации применительно к компьютерному варианту и при условии их конечной интерпретации.

С учетом этого цель данной работы – описание типовой информационной модели текущего и перспективного планирования объемов защитных мероприятий против вредителей (модельный объект – колорадский жук) и составляющих ее типовых алгоритмов. Использование этой модели на компьютере позволит унифицировать сбор первичной информации, минимизировать количество учетов состава популяции вредителя на основе использования зависимостей его развития и численности от агрометеорологической информации. Рабочей гипотезой создания модели служила концепция интегрированной системы защиты растений, а также теория прогнозов.

Согласно принципам построения интегрированной

системы, разработанным академиком ААН РБ В.Ф. Самарцовым, энтомоценозы сельскохозяйственных культур являются “управляемыми агроэкосистемами, в которых механизмы регуляции взаимоотношений ее компонентов в значительной степени определяются организационно-хозяйственной деятельностью человека” [7]. В соответствии с теорией прогноза развития и распространения вредных объектов И.Я. Поляковым, его школой и последователями предложена гипотеза о том, что динамика популяции вредителей связана с изменением их жизнедеятельности под влиянием условий питания и факторов внешней среды. При этом согласно сложившейся системе прогностического обеспечения для обоснования текущего планирования имеются следующие виды долгосрочных прогнозов [9]:

1. Предварительный прогноз, который составляется в конце августа и служит для планирования объемов защитных мероприятий.

2. Полный прогноз распространения вредителей на следующий год, разрабатываемый в декабре и включающий дополнительную информацию о состоянии зимующих популяций, на основании которого уточняются предварительные планы.

3. Уточняющий сезонный прогноз, разрабатываемый для особо динамичных видов и указывающий на наиболее целесообразный вариант планируемых объемов защитных мероприятий.

При разработке типовых моделей прогнозирования объемов защитных мероприятий использованы работы, опубликованные совместно с кандидатом биологических наук Л. И. Араповой; результаты имитации алгоритмов на компьютере; материалы годовых отчетов специалистов пунктов сигнализации и прогнозов (ПСП), представленные в соответствии с разработанными входными формами; литературные источники.

При создании автоматизированной системы прогнозирования целесообразных объемов защитных меропри-

ятий в борьбе с колорадским жуком стратегическое направление исследований состояло в разработке типовых алгоритмов на основе максимального использования агрометеорологической информации. Для реализации этого положения предложен общий методический подход к их построению. Он состоял в создании логической и математической моделей объектов, системы их информационного обеспечения при совокупности этапов и используемых средств на каждом этапе. Синтез системы управления осуществлялся на основе результатов обследования существующих функциональных структур службы защиты растений.

При создании математических моделей вредных объектов применяли имитационное и аналитическое моделирование, гармонический анализ временных рядов. В случае приемлемой для практики точности выходных параметров модели реальным данным на основе современных аппаратно-программных комплексов и с использованием региональной, внутривозвращенной функциональных структур разрабатывали типовой алгоритм и его информационное обеспечение. При несоответствии выходных показателей алгоритма реальным условиям отдельные его параметры адаптировали с помощью данных, полученных при имитации фитосанитарной ситуации региона.

Для регионального уровня критерий создания исходной модели был сформулирован нами как планирование целесообразных объемов защитных мероприятий на будущий сезон и перспективу при условии их определения с достаточной достоверностью и при минимальных затратах. В соответствии с этим критерием предложена следующая структура системы прогнозирования целесообразных объемов защитных мероприятий, а также схема учетов для ее функционирования в реальном времени (рис. 1).

Предлагаемая информационная модель планирования целесообразных объемов защитных мероприятий в борьбе с колорадским жуком рассматривается как совокупность выходных параметров прогнозов различной заблаговременности (рис. 1). Объемы на будущий сезон служат выходными параметрами долгосрочного (предварительного и полного) и краткосрочного (уточняющего) прогнозов численности вредителя. Планирование на перспективу основано на выходных данных многолетнего прогноза динамики популяции вредителя.

Общими информационными ресурсами модели являются разработанная база гидрометеорологических показателей, нормативно-справочная информация алгоритмов, а также разработанный нами “Паспорт учета фитосанитарного состояния посевов. Вредитель – колорадский жук”. Фенологический прогноз вредителя служит основой сроков сбора первичной информации для данного документа. На конкретных полях в прогнозируемые по фенологии вредителя сроки целесообразно провести учеты фитосанитарного состояния посевов. В соответствии с предлагаемой методикой сроки их проведения определены в течение трех прогнозируемых периодов.

Данные, полученные в прогнозируемый период массовой откладки яиц, служили основой для составления уточняющего прогноза. Массовое развитие личинок 1-3-го возрастов определяло сроки борьбы по фенологическо-

му прогнозу. На основе первичной информации, полученной в прогнозируемые сроки выхода жуков первой генерации из почвы, устанавливался зимующий запас популяции вредителя, в то время как на основе сроков окончания действия инсектицидов определялись площади, подлежащие обработкам против вредителя в будущем году.

Структура модели долгосрочного прогноза численности колорадского жука основана на определении критических периодов в жизненном цикле популяции вида, выявления количественной характеристики факторов, формирующих их жизнеспособность. Вначале оценивалось состояние популяции в прогнозируемые по фенологии вредителя сроки выхода жуков первой генерации из почвы. По результатам одного учета в пределах стационарного участка (заселенности растений, количеству найденных особей) восстанавливалась динамика выхода жуков первой генерации из почвы. В зависимости от условий предзимней подготовки вредителя оценивался вероятный процент выживаемости популяции колорадского жука за зимовку (В) по формуле

$$B = \text{EXP}(-0,97 + 0,53T - 0,014T^2) - 1, \quad [1]$$

где  $T$  – температура воздуха в период предзимней подготовки вредителя.

Показатели заселенности площадей и растений, рассчитанные после массовых обработок, являлись основой прогноза на предстоящий вегетационный сезон по данным маршрутных обследований. С целью пространственной экстраполяции основные показатели долгосрочного прогноза представлялись на карте республики (рис. 2).

Верхняя строка в группе цифр на карте обозначала соответственно прогнозируемую гибель популяции в период зимовки и плотность колорадского жука перед зимовкой (экземпляр на заселенное растение). Нижняя строка представляла прогнозируемую заселенность площадей (в %), определяемую по данным маршрутных обследований специалистов службы защиты растений после массовых обработок колорадского жука в сезоне.

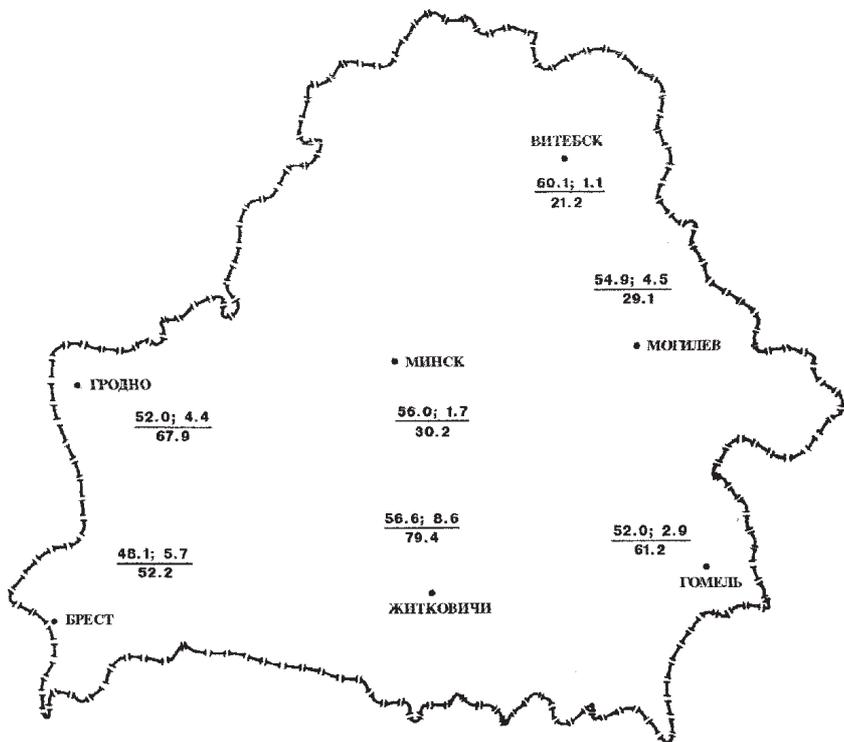
Объемы защитных мероприятий для борьбы с вредителем в будущем году в регионе (V) основывались на определении площадей (%ЗхS) и кратностей опрыскивания (K). Площадь, подлежащая обработкам, рассчитывалась как произведение планируемой посевной площади региона (S) и доли (свыше 0,1) заселенной вредителем площади после массовых обработок (%З). Окончательно прогнозируемый объем защитных мероприятий в регионе определялся как произведение вышеназванных параметров ( $V=K \times \%З \times S$ ). Эти показатели, рассчитанные в прогнозируемый период сбора первичной информации, как выходные параметры долгосрочного прогноза численности колорадского жука, служили основой составления предварительного и полного прогнозов.

В качестве предикторов, определяющих кратность обработок в регионе, выявлены средневзвешенная плотность имаго (I), ушедших на зимовку, с учетом вероятной выживаемости популяции вредителя за зимний период ( $B \times I$ ), а также усредненная температура воздуха от начала откладки яиц до массового развития личинок младших возрастов в будущем году (T), определяющая массовое развитие популяции  $\{K = f(B \times I, T)\}$ .



**Рис. 1.** Структура системы прогнозирования целесообразных объемов защитных мероприятий в борьбе с колорадским жуком и схема учетов для ее функционирования

*Примечание.* Верхняя часть рисунка - выходные параметры системы прогнозирования; нижняя часть рисунка - схема проведения учетов фитосанитарного состояния посевов картофеля; средняя часть рисунка – общие информационные ресурсы.



**Рис. 2.** Карта республики с основными показателями долгосрочного прогноза численности колорадского жука (Республика Беларусь, 1995 г.)

Для составления уточняющего прогноза в будущем году необходимо использовать параметры краткосрочного прогноза численности колорадского жука [2]. Они рассчитывались на основе информации, собранной после миграции перезимовавших жуков на поля севооборота. В качестве уточняющих предикторов кратности обработок определены прогнозируемая плотность особей личиночного возраста к моменту сроков борьбы, а также фактическая температура воздуха в рассматриваемый период. Учеты входных показателей краткосрочного прогноза необходимо провести в прогнозируемый период массовой откладки яиц вредителем в соответствии с предлагаемой схемой (рис. 1). Объемы обработок, рассчитанные по данным в этот период, служили основой уточняющего прогноза.

Для осуществления планирования на перспективу предлагается использовать такие параметры многолетнего прогноза, как динамика численности вредителя и заселенность площадей, входящих в формулу определения объемов защитных мероприятий. В качестве методического подхода к построению математической модели многолетнего прогноза служило положение о том, что рассматриваемая динамика популяции колорадского жука содержит три основные компоненты. Основная тенденция развития вредителя в регионе, или трендовая компонента, обусловлена биотическими факторами развития популяции, сложившейся стратегией управления. Междугодовые колебания динамики популяции вредителя определяются соответствующей изменчивостью метеорологических факторов. Третья часть модели описывает колебания небольшой интенсивности, составляющие ошибки определения плотности вредителя в учетах. В соответствии с этой структурой, по данным Калинковичского ПСП за 1971-1993 гг., представленными в соответствии с разработанными нами входными формами, создана типовая модель многолетнего

прогноза динамики популяции колорадского жука для южной зоны республики. Трендовые компоненты, построенные по принципу наилучшего соответствия, для плотности вредителя ( $Y_{11}(t)$ ) и заселенности растений вредителем ( $Y_{21}(t)$ ), имеют следующий вид:

$$Y_{11}(t) = 36,42((1 + \exp(1,296 - 0,1t)))$$

$$Y_{21}(t) = 78,38((1 + \exp(0,122 - 0,0t)))$$

где  $t = 0, 1, 2, \dots, 23, \dots$  - время ( $t = 0$  соответствует 1971 г., ...,  $t = 22$  соответствует 1993 г.).

Для оставшихся гармонических составляющих динамики популяции вредителя использовали тригонометрические многочлены. Для нахождения коэффициентов периодической составляющей определяли наиболее приемлемую степень тригонометрического многочлена при различных его степенях. Анализ результатов показал, что наименьшая ошибка аппроксимации данных в нашем случае достигается для их второй степени, причем

$$Y_{12} = 0,1 - 1,3 \sin(0,48t) - 2,4 \cos(0,48t) - 3,6 \sin(0,96t) + 9 \cos(0,96t);$$

$$Y_{22} = 0,1 - 2,5 \sin(0,48t) + 4,4 \cos(0,48t) - 8 \sin(0,96t) + 12 \cos(0,96t).$$

Окончательно модели многолетнего прогноза плотности колорадского жука ( $Y_1$ ) и заселенности растений ( $Y_2$ ) имеют вид  $Y_1 = Y_{11} + Y_{12}$  и  $Y_2 = Y_{21} + Y_{22}$ . Оценка достоверности его основных параметров показала, что при температурах значительно ниже среднееголетних (1998 г.) наблюдались отклонения прогнозируемых показателей от фактических значений. Это говорит о его использовании в совокупности с долгосрочным прогнозом численности вредителя.

Информацию о составе популяции колорадского жука, полученную в прогнозируемые по фенологии вредителя сроки, необходимо занести в разработанный нами первичный документ "Паспорт учета фитосанитарного состояния посевов. Вредитель – колорадский жук" (табл.). Он состоит из трех частей. В верхней части содержатся общие показатели – наименование района, хозяйства, год

**Таблица. Паспорт учета фитосанитарного состояния посевов. Вредитель – колорадский жук.  
Общие характеристики участка**

Наименование района	Калинковичский
Хозяйство	Дружба
Севооборот	1
Номер участка	1
Площадь, га	40
Предшественник	Ячмень
Сорт	Орбита
Плановая урожайность, ц/га	250

**Заселенность растений на дату учета**

Номер участка	Фаза культуры	Дата учета	Обследовано растений	Заселено растений
1	Бутонизация	21.06.99	50	10
1	Бутонизация	25.06.99	50	20

**Учет состава популяции колорадского жука**

Имаго	Яйцо	Количество личинок				Куколка
		1-го возраста	2-го возраста	3-го возраста	4-го возраста	
3	100	30				
5	60	26	17	9		

возделывания культуры, сорт, севооборот, номер поля и его площадь, культура и ее предшественник, плановая урожайность. В средней части документа приводятся показатели обследованных и заселенных растений на дату учета и в определенную фазу культуры. В нижней части исходного документа заполняется учет состава популяции вредителя – количество имаго, яиц, личинок 1-4-го возрастов на соответствующую дату учета. При этом данные графы 1 этой части документа используются для составления долгосрочного прогноза численности, графы 2-4 – в основном для реализации краткосрочного прогноза динамики популяции колорадского жука, в то время как показатели граф 1, 3-6 служат для составления многолетнего прогноза. Этот документ необходимо представить на региональный уровень управления, где целесообразна разработка приведенного выше комплекса алгоритмов по оценке фитосанитарной ситуации, составления прогнозов развития и численности вредителей, планирования целесообразных объемов защитных мероприятий на этой основе.

Таким образом, с позиции системного подхода разработаны научные основы создания типовой системы прогнозирования объемов защитных мероприятий в борьбе с вредителями. Она построена в соответствии с системой прогностического обеспечения республики и включает комплекс типовых алгоритмов прогнозов различной заблаговременности. Планирование целесообразных объемов на будущий сезон осуществляется на основе выходных параметров долгосрочного и краткосрочного прогнозов численности, перспективное планирование – с учетом многолетнего прогноза. Общими информационными ресурсами системы являются базы гидрометеорологических данных и форма по учету состава популяции вредителя.

Информация в данной форме должна быть представлена в прогнозируемые по фенологии вредителя периоды.

**Литература**

1. Арапова Л. И., Карташевич В.Н. Долгосрочный прогноз численности колорадского жука // Защита растений. – 1985. – № 10. – С.33-35.
2. Карташевич В.Н., Арапова Л.И. Краткосрочный прогноз численности колорадского жука, рассчитанной на ЭВМ // Сб. науч. тр./Белорус. НИИ защиты растений. – Минск, 1988. – Вып. 13. – С.3-8.
3. Карташевич В.Н. Модель многолетнего прогноза динамики популяции колорадского жука // Сб. науч. тр./Белорус. НИИ защиты растений. – Минск, 1994. – Вып. 18. – С. 176-183.
4. Карташевич В.Н. Типовая модель управления фитосанитарной ситуацией агроценозов // Весці Акадэміі аграрных навук Рэспублікі Беларусь. – 2000. – № 1. – С.39-45.
5. Карташевич В.Н. Система управления динамикой популяции колорадского жука // Сб.науч. тр./ Белорус. НИИ защиты растений. – Минск, 2001. – Вып. 25. – С.60-70.
6. Карташевич В.Н. Информационные ресурсы системы управления фитосанитарной ситуацией поля и региона // Сб. науч. тр./ Белорус. НИИ защиты растений. – Минск, 2002. – Вып.26. – С.82-91.
7. Руководство по обеспечению прогнозов распространения и развития многолетних вредителей и болезней зерновых культур и картофеля, а также сроков и места проведения борьбы с ними / МСХ СССР. – Москва, 1978. – 60 с.
8. Самерсов В.Ф. Интегрированная система защиты зерновых культур от вредителей. – Минск: Ураджай. – 1988. – 208 с.
9. Поляков И.Я. Назначение, содержание и концепция организации фитосанитарной диагностики // Сб. науч. тр. / Всерос. НИИ защиты растений. – Москва, 1993. – С.7-19.