

В.Н. Карташевич, кандидат сельскохозяйственных наук
Белорусский государственный аграрный технический университет
УДК 632.914.2

Система управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью на основе агрометеорологических данных

Изложены основные принципы создания системы управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью в условиях республики. Определены критерии оптимизации системы для внутрихозяйственного и регионального уровней управления. Разработан единый методический подход к построению логической и математической моделей объектов исследований. С учетом максимального использования агрометеорологической информации предложены типовые алгоритмы прогноза сроков гербицидных обработок, а также задачи по оптимизации принятия решений, обобщения данных статистической отчетности. Для выбора оптимального ассортимента гербицидов предложен эколого – экономический критерий системы управления как интегральный показатель экономических, экологических, биологических параметров сложившейся фитосанитарной ситуации поля. Разработаны общие информационные ресурсы алгоритмов. Оценена достоверность прогнозируемых параметров, экономическая эффективность функционирования системы, дана интерпретация выходных показателей.

Одной из актуальнейших проблем является создание компьютерной системы управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью как составной части управления агропромышленным комплексом. Анализ литературных источников показал, что ранее предложены лишь отдельные фрагменты решения данной проблемы. При этом основное внимание уделяется эффективности применения гербицидов при сложившейся фитосанитарной ситуации поля без учета прогноза ее параметров [1, 7]. Цель настоящей работы – предложить методический подход к созданию системы управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью, обосновать составляющие ее типовые алгоритмы и общие информационные ресурсы. Рабочей гипотезой служило положение о том, что поскольку засоренность посевов в республике значительно превосходит экономический порог вредоносности (ЭПВ), в качестве косвенных объектов исследований целесообразно использовать фенологию культуры. На этой основе построен прогноз сроков борьбы с сорной растительностью на внутрихозяйственном и региональном уровнях управления.

При разработке моделей использованы результаты опытов по фенологии ячменя, полученные кандидатом биологических наук [С.В.Яценей] и опубликованные совместно с автором; ранее разработанные алгоритмы и результаты имитации их на компьютере в реальном времени; материалы годовых отчетов пунктов сигнализации

The main principles of creating a system of protective measures management for weed control in the conditions of Belarus based on agrometeorological data are stated. The criteria of the system optimization for a separate farm and region are determined. A single methodological approach to the logic and mathematical models is developed. Maximum using the agrometeorological data the authors suggest typical algorithms of forecasting the terms of herbicide treatments as well as the methods of optimizing decision taking, summarizing the statistical data. To select the best assortment of the herbicides the ecological and economic criteria of the management system as an integral indicator of economic, ecological, biological parameters of the formed phytosanitary field situation is proposed. The common informational resources for ensuring the algorithms are developed. The accuracy of the forecasted parameters, economic efficiency of operating the system are assessed and the final indicators are interpreted.

и прогнозов (ПСП); литературные источники. При создании автоматизированной системы управления фитосанитарной ситуацией поля и региона стратегическое направление исследований состояло в разработке типовых алгоритмов на основе максимального использования агрометеорологической информации. Эта информация стандартизирована, имеются возможности ее получения в достаточно полном объеме и в кратчайшие сроки. Для реализации этих положений предложен общий методический подход к построению типовых алгоритмов. Он состоит в реализации логической и математической моделей объектов, системы их информационного обеспечения при совокупности этапов и используемых средств на каждом этапе.

При создании логической модели объектов исследований и системы управления фитосанитарной ситуацией использовали основные принципы системного анализа: словесно-концептуальное описание проблемы; выбор методологии исследований, путей решения; декомпозиция и синтез системы. Он осуществлялся на основе результатов обследования существующих функциональных структур отрасли. Цель данного обследования – концентрация выполнения однородных функций, обеспечение оптимальной структурой, устранение излишних потоков информации.

При разработке математических моделей вредных объектов применяли имитационное моделирование и регрессионный анализ. Проверку адекватности математичес-

кой модели проводили имитацией отдельных наиболее важных ее параметров на ретроспективных данных. В случае приемлемой для практики точности выходных параметров модели реальным данным на основе современных аппаратно-программных комплексов и с использованием региональной, внутрихозяйственной функциональных структур разрабатывали типовой алгоритм и его информационное обеспечение.

При этом были использованы следующие методики: «Инструкция по определению засоренности полей многолетних насаждений, культурных сенокосов и пастбищ» (М. Агропромиздат, 1986), «Разработка и внедрение типовой информационно-вычислительной системы по рациональному применению средств защиты растений в интенсивной технологии возделывания зерновых культур» (Минск, 1991) и др. В случае несоответствия выходных показателей алгоритма реальным условиям отдельные его параметры адаптировали с помощью данных, полученных при имитации фитосанитарной ситуации поля и региона. При условии адекватности параметров типового алгоритма заданной фитосанитарной ситуации он эксплуатировался с учетом функциональной структуры и технических средств пользователя. В теоретическом аспекте стратегия разработки базировалась на предложенной ранее концепции интегрированной системы защиты растений, а также теории прогнозов. Другие принципы создания системы управления защитными мероприятиями в борьбе с сорняками заключались в разработке единых информационных ресурсов и ориентации на типовые алгоритмы, реализованные на основе современных аппаратно-программных комплексов.

В соответствии с этим система управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью была представлена нами как самостоятельно функционирующая сложная система (рис. 1). Для построения ее концептуальной схемы сформулирована общая цель управления – создание условий, при которых типовые алгоритмы на всех уровнях иерархии с точки зрения народнохозяйственных проблем принимали эффективные решения.

Для регионального уровня критерий оптимального управления был сформулирован нами как планирование объемов защитных мероприятий при использовании их с максимальной эффективностью и в оптимальные сроки. Цель оптимального управления фитосанитарной ситуацией поля состояла в принятии решений о целесообразности проведения защитных мероприятий и выборе экологически безопасного и экономически рентабельного ассортимента гербицидов.

В соответствии с предложенной выше концепцией для соответствующего иерархического уровня предложены следующие алгоритмы (рис. 1). Для внутрихозяйственного уровня управления это оценка складывающейся фитосанитарной ситуации поля и оптимизация применения гербицидов, прогноз сроков борьбы на основе фенологии культуры. Для регионального уровня управления это планирование ресурсов, оценка фитосанитарной ситуации региона, прогноз сроков борьбы в регионе и их контроль, картирование засоренности посевов, оценка эконо-

мической и энергетической эффективности проведенных защитных мероприятий в сезоне. Ее общими информационными ресурсами предложены базы гидрометеорологических данных, экологического нормирования пестицидов (БД ЭНП), видового и количественного состава вредных объектов [5].

Поскольку в основе системы управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью положена агрометеорологическая информация, была предложена структура типового алгоритма фенологического прогноза [3]. При этом для прогноза сроков гербицидных обработок на внутрихозяйственном уровне применяли структуру знаний «Отправная точка прогноза – длительность межфазных периодов – сроки борьбы с сорняками на основе фенологии культуры», в то время как для прогноза сроков гербицидных обработок в регионе – «Динамика сева в регионе – длительность межфазных периодов – критерий сроков борьбы по охвату территории региона фенологической фазой культуры».

Согласно общей модели управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью на уровне конкретных полей предлагается построение сроков гербицидных обработок на основе фенологического прогноза культуры (рис. 1). Для разработки алгоритма данной задачи формализована логическая модель, в которую включены следующие основные положения: период развития любой из фенологических фаз зависит от условий внешней среды, интегральный показатель которой – температура воздуха; по агроклиматическим условиям территории республики разделена на несколько зон, в каждой из которой имеется группа сорняков зерновых культур, сопряженных с фенологией культуры; целесообразность борьбы с сорняками определяется ЭПВ: численность сорняков на конкретных полях превышает ЭПВ.

С учетом этого отправной точкой прогноза служили сроки сева или фактическая дата наступления стадии развития ячменя, определяемая в результате обследования поля. Реализована возможность составления прогноза по среднемесячным температурам воздуха. В качестве корректирующих факторов использовали фактическую температуру сезона и сроки наступления фактических фенологических фаз культуры. Выходной документ данной задачи представлен на рисунке 2. В день проведенного обследования на одном из полей колхоза «Победа» Березинского района (6 мая) на ячмене преобладала стадия «3-х листьев». Используя показатели структурной единицы знаний «Температура – скорость развития культуры», рассчитывали прогнозируемые фенологические даты. Применяя структуру знаний «Сроки наступления фазы культуры – сроки борьбы с сорной растительностью», с учетом погодных условий данной агроклиматической зоны республики в столбце «Сроки борьбы с сорняками» с заблаговременностью 5 дней символом ** наносили прогнозируемый период защитных мероприятий для данного поля (в нашем случае 11-05-17.05).

Оценка достоверности сроков проведения защитных мероприятий на основе полученной с компьютера прогнозируемой фенологии культуры показала, что отклоне-



Рис. 1. Система управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью на основе агрометеорологических предикторов

Примечание. Верхняя часть рисунка – выходные параметры системы управления на региональном уровне; нижняя часть рисунка – схема проведения учетов сорняков; средняя часть рисунка – общие информационные ресурсы системы управления

ния рекомендуемых сроков борьбы от целесообразных находились в пределах допустимой ошибки.

Исходная выходная форма по прогнозу фенологии культуры представлялась пользователю для учета в оптимальные сроки видового и количественного состава сорной растительности и реализации разработанного совместно с лабораторией гербологии БелНИИЗР алгоритма задачи «Оптимизации принятия решений в зависимости от видового и количественного состава сорной растительности» [6]. Функциональное назначение данной задачи – решение о целесообразности применения гербицидов на обследуемом поле; выбор гербицидов или смесей с учетом их экономической и биологической эффективности.

При реализации на компьютере алгоритма задачи из нормативно-справочной информации задачи выбирался порог вредоносности. Численность сорняков каждого вида из входной формы умножается на коэффициенты их вредоносности и суммируется: $X_j \times P_j$, где P_j – коэффициенты вредоносности j -го вида сорной растительности, X_j – численность сорняков j -го вида во входном документе. Если порог вредоносности больше полученной величины, обработка гербицидами данного поля нецелесообразна, что печатается в выходной форме.

Если порог вредоносности меньше полученной величины, химическая прополка целесообразна. Критерием оптимизации выбора гербицида служит максимум сумм $X_j \times C_{ij} \times P_j$, где C_{ij} – коэффициенты чувствительности j -го сорняка к i -му гербициду, P_j и X_j – те же показатели, что и в предыдущей формуле. Исходную операцию компьютер выполняет для каждого гербицида и рассчитывает потребность в препаратах, их биологическую эффективность, прогнозируемый сохраненный урожай, чистый доход (руб/га) и уровень рентабельности защитного мероприятия.

Сведения о видовом и количественном составе сорной растительности, сопряженности их появления с фенологией растений, характеристики метеорологических

данных анализировались и оценивались. В зависимости от складывающейся фитосанитарной ситуации поля эта информация позволяла определить на компьютере экономические (рентабельность в %), технологические (норма расхода действующего вещества, сроки ожидания, биологическая эффективность) показатели используемых гербицидов. Однако выбор наиболее эффективных пестицидов затруднен, поскольку эти показатели определялись в разных шкалах измерения. При этом отсутствовала оценка экологических последствий применения гербицидов или их смесей.

Выбор экологически целесообразного и экономически рентабельного ассортимента гербицидов после решения о целесообразности проведения защитных мероприятий осуществлялся путем решения следующей задачи: необходимо найти гербицид X с параметрами $X=(X_1, \dots, X_n)$, для которого эколого-экономический критерий системы управления фитосанитарной ситуацией поля $\Phi(X)$ максимален при условии, что X принадлежит (\subset) допустимой области G [4].

Допустимая область G формировалась путем решения задачи по оптимизации применения гербицидов при сложившейся фитосанитарной ситуации поля и выбором целесообразных к использованию гербицидов. При этом из рассмотрения исключались гербициды, по санитарно-гигиеническим и токсикологическим показателям запрещенные к применению на данном поле.

Для построения критерия $\Phi(X)$ на контрольном поле определялись три группы показателей гербицидов: технологические, экономические, токсикологические и санитарно-гигиенические (токсичность для теплокровных, максимально допустимый уровень в растительных продуктах, предельно допустимые концентрации в объектах окружающей среды, класс опасности). Сокращение размерности признаков каждой группы параметров производилось путем их замены интегральным показателем. Например, для третьей группы параметров использова-

Фенологическая фаза культуры	Стадия развития культуры	Прогнозируемая дата	Сроки борьбы с сорняками
Посев			
Прорастание	Всходы		
	1-го листа		
	2-х листьев		
	3-х листьев	6.05	
Кушение	Начало кушения	11.05	**
	Массовое кушение	14.05	**
	Конец кушения	17.05	**
Стебление	Начало стеблевания	20.05	
	1-го узла	23.05	
	2-х узлов	25.05	
	Язычка	28.05	
	Флаг листа	31.05	
Колошение	Начало колошения	8.06	
	Массовое колошение	12.06	
	Конец колошения	15.06	

Рис.2. Структура выходного документа задачи прогноза фенологии культуры (модельный объект – ячмень)

Примечание. Символ ** – условное обозначение прогнозируемых сроков борьбы с сорной растительностью на обследуемом поле

лась методика, согласно которой каждому гербициду в зависимости от имеющихся показателей БД ЭНП присваивались соответствующие баллы, которые суммировались для получения интегрального показателя данной группы [9].

Для выражения единых показателей трех групп в единой шкале измерения вводились эталонные значения. При сложившейся фитосанитарной ситуации поля они отражали уровень экологической целесообразности и экономической рентабельности применения защитных средств. Эти значения рассчитывались как средние величины параметров пестицидов $X \leq G$. С учетом имеющихся подходов алгоритм выбора оптимального ассортимента пестицидов основан на вычислении отклонений этих интегральных показателей от эталонных значений трех групп параметров [9]. Поскольку эти отклонения выражались в от-

носительных величинах (% от эталона), итогами суммирования являлись значения эколого-экономического критерия $\Phi(X)$, положительный знак которого указывал на предпочтительность выбора гербицида, а его абсолютная величина – на занимаемое место в рекомендуемом ассортименте.

Алгоритм фенологического прогноза для региона показан на примере задачи сигнализации сроков борьбы с сорной растительностью на ячмене (рис.3). Отправная точка прогноза – динамика сева в регионе. В зависимости от среднесуточной температуры воздуха, от дат сева определяли сроки наступления последующих фенологических фаз. Динамику фазы «кущение» аппроксимировали в виде криволинейной зависимости, что позволяло выделить охват территории соответствующей фазой на

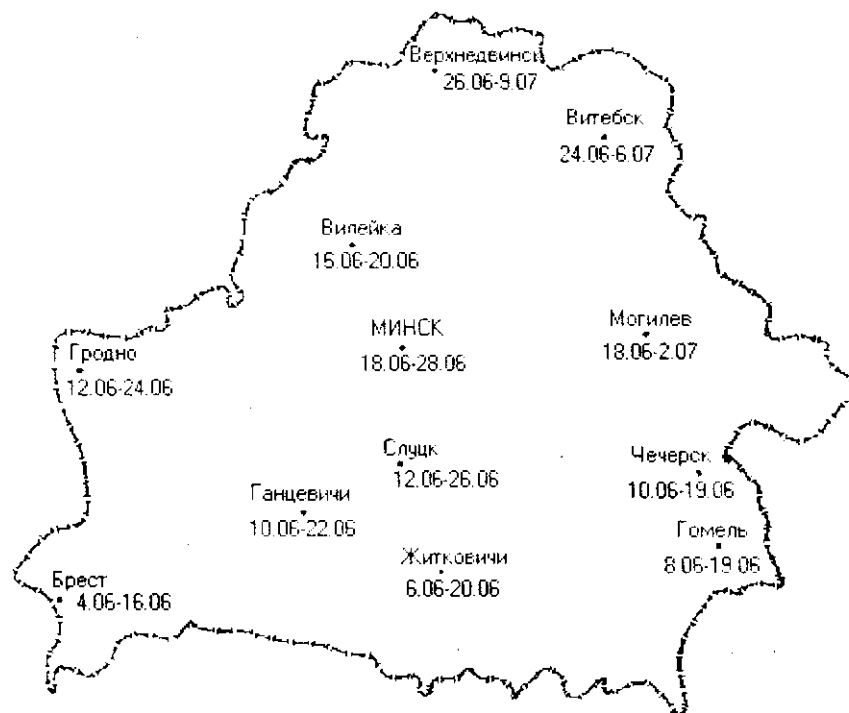
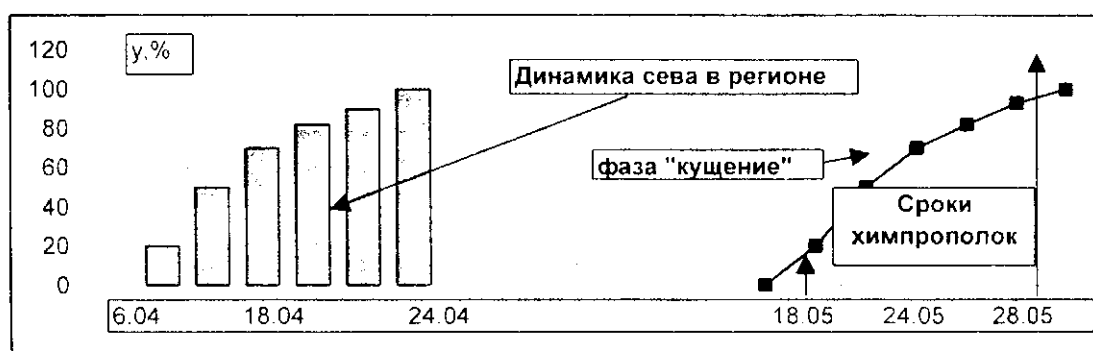


Рис. 3. Алгоритм прогноза сроков борьбы с сорной растительностью в регионе

Примечание. Верхний рисунок – динамика сева в регионе на соответствующую дату (в % от посевной площади) и прогнозируемые сроки борьбы против сорной растительности; нижний рисунок – первая цифра на карте – прогнозируемая дата начала проведения химических прополок в регионе; вторая цифра на карте – окончание сроков борьбы

определенную дату. Имитацией построенной динамики и сопоставлением с фактической ситуацией в регионе установлено, что гербицидные обработки целесообразно начинать, когда фаза «кущение» отмечалась на 5-10% территории, и продолжать до охвата этой фазой 85-90% территории. Показатели прогноза сроков гербицидных обработок наносились на карту республики, что позволяло экстраполировать выходные параметры алгоритма для других регионов республики. Здесь цифрами показаны даты начала и окончания прогнозируемых сроков борьбы с сорной растительностью в местах расположения гидрометеорологических станций. При переходе от прогноза сроков борьбы к сигнализации (однодневной заблаговременности) использовали фактическую длину периода «сев – кущение». Проверка соответствия прогнозируемых и фактических значений показала приемлемую для практики достоверность прогноза.

Информацию о видовом и количественном составе сорняков на конкретных полях, полученную в прогнозируемые по фенологии культуры сроки, необходимо занести в «Паспорт учета фитосанитарного состояния посевов» [5]. Этот документ целесообразно представить на региональный уровень управления, где необходима разработка комплекса задач по оценке фитосанитарной ситуации региона, эффективности защитных мероприятий и планированию объемов защитных мероприятий на сезон. Графическое отображение информации дает возможность изобразить видовой состав сорной растительности обследуемых полей региона в виде секторной диаграммы (рис. 1). При обработке «Сводной ведомости учета засоренности сельскохозяйственных культур» предлагается группировка обследуемых полей при фиксированных градациях численности сорняков на 1 м² (от 1 до 5 и т.д.) [1]. В отличие от этого в алгоритме задачи «Картирование засоренности полей» предусмотрена возможность задания данной группировки в виде произвольной структуры. Тогда, используя две градации плотности сорняков (до ЭПВ, выше ЭПВ), можно получить площади, подлежащие химическим прополкам.

Оценена экономическая эффективность функционирования предложенной системы управления защитными мероприятиями по борьбе с сорной растительностью. Для задач регионального уровня чистый доход рассчитан за счет автоматизации прогноза сроков борьбы с сорняками. Для внутрихозяйственного уровня управления чистый доход от функционирования алгоритмов (ориентировочно 0,4 \$ с 1 га) определялся из разности стоимости прибавки урожая, полученной на основе рекомендуемой с помощью компьютера и сложившейся в хозяйстве технологии. Задачи по принятию решений на конкретном поле эффективнее алгоритмов регионального уровня, однако охват посевных площадей из-за более трудоемкого сбора первичной информации значительно меньше, чем для управленческих задач.

Таким образом, в результате проведенных исследований, анализа литературных данных с позиции системного подхода разработаны научные основы создания системы управления защитными мероприятиями в борьбе с сорной растительностью. Она построена в соответствии с критерием оптимизации регионального и внутрихозяйственного уровней и включает типовые алгоритмы фенологического прогноза культуры, построенные на основе максимального использования агрометеорологических предикторов, оптимизации принятия решений, обобщения данных статистической отчетности.

Разработан единый методический подход к построению логической и математической моделей объектов исследований. Для выбора оптимального ассортимента гербицидов предложен эколого-экономический критерий системы управления как интегральный показатель экономических, экологических, биологических параметров сложившейся фитосанитарной ситуации поля. Обоснованы и разработаны общие информационные ресурсы алгоритмов, использующие принцип обратной связи и включающие методику, технологический процесс сбора первичной информации в соответствии с предложенными входными формами, ее обработку на компьютере, интерпретацию и применение конечных результатов в практике.

Литература

1. Исаев В.В. Прогноз и картографирование сорняков. – Москва: Агропромиздат. – 1990. – 192с.
2. Карташевич В.Н. Обработка результатов картирования засоренности посевов на персональном компьютере // Защита растений. – 1993. – № 2. – С.17-18.
3. Карташевич В.Н. Типовой алгоритм фенологического прогноза // Сб. науч. тр. / Белорус. НИИ защиты растений. – 1997. – Вып. 20. – С.212-219.
4. Карташевич В.Н. Оптимизация ассортимента пестицидов на основе эколого – экономического критерия // Сб. науч. тр. / Белорус. НИИ защиты растений – 2000. – Вып. 23. – С.218 – 225.
5. Карташевич В.Н. Типовая модель управления фитосанитарной ситуацией агроценозов // Весці Акадэміі аграрных навук Рэспублікі Беларусь. – 2000. – № 1. – С.39-45.
6. Самерсов В.Ф., Карташевич В.Н. ЭВМ прогнозирует сроки борьбы с сорняками // Защита растений. – 1989. – № 10. – С.46-48.
7. Самерсов В.Ф., Романюк Г.П., Карташевич В.Н. Оптимизация применения гербицидов // Защита растений. – 1989. – № 7. – С.24.
8. Соколов Н.С., Стрекозов М.П. Последовательность применения и некоторые принципы нормирования пестицидов в почве // Химия в сельском хозяйстве. – 1975. – № 7. – С.63-67.
9. Обоснование ассортимента и определение потребности в пестицидах в соответствии с прогнозом распространения вредителей и болезней: Метод. указания. – Москва: Агропромиздат. – 1986. – 39 с.