

УДК 632.936.2

**ВОЗМОЖНОСТИ И ПУТИ РЕГУЛЯЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ КАРТОФЕЛЬНОЙ  
МОЛИ И АЛГОРИТМЫ ДИАГНОСТИКИ ЕЕ РАЗВИТИЯ****Яхьяев Х.К**

д.с.-х.н., проф., НИИ карантина и защиты растений (Узбекистан)

**Бабаханова М**

к.б.н., ст.н.с., НИИ карантина и защиты растений (Узбекистан)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6803577>

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы регуляции численности картофельной моли по данным феромонных ловушек, которые позволяют упростить систему мониторинга за развитием вредителя и принимать оптимальные решения в борьбе против них.

Рассмотрена задача диагностики развития картофельной моли, исходной информацией которого являются изображения листьев картофеля. Для решения рассматриваемой задачи предложена модель алгоритмов диагностики, основанных на принципе потенциалов. Основная идея предлагаемых алгоритмов состоит в формировании набора предпочтительных признаков и принятия диагностических решений на основе сопоставления этих признаков.

**Ключевые слова:** регуляция численности, феромонная ловушка, математическая модель, картофельная моль, система мониторинга, диагностика и прогноз.

**POSSIBILITIES AND WAYS OF REGULATING THE NUMBER OF POTATO MOTHS  
AND ALGORITHMS FOR DIAGNOSING ITS DEVELOPMENT**

**Abstract.** The issues of regulation of the number of potato moths according to pheromone traps are considered, which make it possible to simplify the monitoring system for the development of the pest and make optimal decisions in the fight against them.

The problem of diagnosing the development of potato moths, the initial information of which is images of potato leaves, is considered. To solve the problem under consideration, a model of diagnostic algorithms based on the principle of potentials is proposed. The main idea of the proposed algorithms is to form a set of preferred features and make diagnostic decisions based on a comparison of these features.

**Key words:** population regulation, pheromone trap, mathematical model, potato moth, monitoring system, diagnostics and prognosis.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы в Узбекистане значительная часть урожая повреждается картофельной молью (*Phthorimaea operculella* Zell), являющийся для республики карантинным объектом. Личинки картофельной моли не только повреждают картофель в местах хранения, но и наносят ущерб посадкам картофеля в период вегетации. Этот вредитель одновременно может повреждать картофель и другие растения семейства пасленовых (помидор, баклажан, перец, табак и др.)

В снижении потерь урожая картофеля от картофельной моли важную роль играет мониторинг за их численностью и сигнализация сроков борьбы с ними. Используемые в настоящее время способы мониторинга и учета численности картофельной моли (маршрутные обследования наблюдателей из отрядов защиты растений, использование

сумм эффективных температур при определении сроков появления вредителя, световые и др. виды ловушек и др.) довольно трудоемки [2,3]. С их помощью не всегда возможно определить состояние вредителя на больших площадях и принять оптимальные решения по их обработке. Использование феромонных ловушек при регуляции численности картофельной моли позволит в значительной степени упростить систему мониторинга за развитием вредителя и принимать оптимальные решения в борьбе против них [3]. Кроме этого, использование половых феромонов позволят оптимизировать сроки и объемы применения средств борьбы против вредителя.

Оценка эффективности использования феромонных ловушек, применяемых для определения численности картофельной моли, показывает, что точность прогнозов не всегда достаточна [3]. Это объясняется тем, что при определении численности вредителя в недостаточной мере используется информация о факторах внешней среды. В связи с этим актуальными являются исследования по разработке специальных математических моделей, например, как в работе [4], позволяющих учитывать факторы абиотической и биотической среды, с целью снижения погрешности прогнозов.

Как показывает опыт моделирования подобных процессов, основными проблемами являются выбор и минимизация комплекса информативных признаков прогнозов [4,5]. Необходимо отметить, что данная статья является логическим продолжением статьи [10], где рассматриваются вопросы учета данных при синтезе алгоритмов обработки информации.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность методов прогноза динамики численности вредителей сельскохозяйственных культур зависит, в основном, от системы учета исходной информации и алгоритма её обработки. Система учета исходной информации (в нашем случае данные феромонных ловушек) представляет собой определенную методику съема информации. Алгоритм же обработки учетной информации включает в себя алгоритма усреднения информации (в данном случае данных феромонных ловушек с учетной площадки) и математической модели прогнозирования численности вредителя.

Для разработки математической модели прогноза интенсивности откладки яиц картофельной моли в зависимости от количества отловленных самцов использованы данные полученные из феромонных ловушек вредителя. Ловушки с половым феромоном выставляются в поля за 3-5 дней до начала вылета бабочек. Экспериментально установлено, что одной ловушкой отлавливается в среднем 35-40 % самцов бабочек картофельной моли. При определении интенсивности кладок бабочек вредителя учитываются такие биологические показатели, как плодовитость одной самки и количество яиц в одной кладке. Для расчета количества кладок яиц бабочек картофельной моли ( $K_k$ ) можно использовать формулу:

$$K_k = N / K_p \times S$$

где  $N$  – количество яиц вредителя на учетной площадке;  $K_p$  - количество растений, шт.;  $S$  – среднее количество яиц в одной кладке.

При этом прогнозируемое количество яиц вредителя рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{1}{2} K_c \times S_p \quad (1)$$

где  $K_c$  – количество отловленных самцов в среднем на 1 ловушку;  $S_p$  – средняя плодовитость одной самки картофельной моли.

Поскольку соотношения полов картофельной моли 1:1, то предлагаемым выше формулам можно определить ожидаемое количество яиц вредителя на учетном поле.

Для определения средней плодовитости одной самки картофельной моли ( $S_p$ ) на посевах картофеля разработана модель в виде:

$$S_p = -31,91 + 16,06X_p + 1,10X_m - 0,09 X_p X_m, \quad (2)$$

где  $X_m$  – масса куколок;  $X_p$  – размеры куколок.

При этом коэффициент корреляции очень высокой  $R = 0,94$ ; а ошибка аппроксимации составила 14,5 штук яиц.

Тогда выражение (1) с учетом выражения (2) примет вид:

$$N = \frac{1}{2} K_c (-31,91 + 16,06 X_p + 1,10 X_m - 0,09 X_p X_m) \quad (3)$$

Средняя плодовитость бабочек картофельной моли полученной по формуле (3) и в действительности приведены в таблице. Сравнение этих значений позволяет заключить, что с помощью формулы (3) можно будет определить среднюю плодовитость зная при этом массу и размер куколок моли.

Полученные данные были апробированы в практической деятельности Андижанской и Хорезмской областных станциях защиты растений и позволяют решать такие востребованные задачи, как размещение феромонных ловушек на картофельные поля, прогнозирования и управления их численности. Таблица

Сравнение средней плодовитости бабочек картофельной моли  
в зависимости от массы и размера куколке

№№ пп	Плодовитость (к-во яиц), шт.		Масса куколок, мг	Размер куколок, мм
	Фактические !	Вычисленные		
1.	785	803	275	17,5
2.	622	618	260	17,5
3.	300	317	260	16,0
4.	1011	998	310	19,5
5.	940	916	296	19,0
6.	698	676	280	17,5
7.	786	741	285	18,0
8.	638	613	280	17,5
9.	320	301	265	17,0
10.	1040	983	310	20,0
11.	993	975	295	19,0
12.	680	636	285	17,5
13.	789	796	295	18,5
14.	815	841	255	18,0
15.	220	280	280	16,5
16.	1090	1043	310	19,5
17.	1010	1001	310	19,5
18.	625	639	285	17,0

Вопросы создания и использования информационных систем и технологий в сельскохозяйственном производстве, в современных условиях становятся основополагающим фактором развития инновационной деятельности и научно-технического прогресса в отрасли. Одна из основных задач в области применения современных информационных технологий связана с созданием компьютерных систем диагностики вредных организмов сельскохозяйственных культур и прогнозирования их развития. Применение автоматизированной системы диагностики позволяет резко повысить использование объективной диагностической информации и дает возможность для осуществления более ранней и достаточно точной диагностики и принятия решений о проведении мероприятий по защите растений. Центральное место при создании компьютерных систем диагностики вредных организмов растений занимают методы и алгоритмы распознавания образов.

На практике чаще встречаются прикладные задачи, связанные с распознаванием образов, заданных в пространстве признаков большого размера (например, распознавание дефектов по дефектоскопическим и металлографическим снимкам, распознавание личности по изображению лица и др.). Одним из прикладных задач подобного рода является задача диагностики вредных организмов по изображению их листьев. При решении этой задачи обрабатываемая информация представляется числовой матрицей [6-8]. При этом исходное изображение листьев для диагностирования является избыточным, многие локальные характеристики, вычисленные по каждому фрагменту исходного изображения, являются взаимосвязанными между собой. В этих условиях построение алгоритма диагностики сталкивается с большими вычислительными трудностями. В связи с этим вопросы разработки и модификации алгоритмов диагностики вредных организмов растений по изображению их листьев являются актуальными.

Исходя из этого, в работе рассматривается оригинальный подход к задаче диагностики фитосанитарного состояния культурных растений. Отличительной особенностью рассматриваемого подхода к решению задачи диагностики заключается в формировании набора предпочтительных диагностических признаков и построении алгоритмов диагностики развития вредных организмов на основе анализа изображений их листьев. Кроме того, он позволяет осуществить переход от отдельных алгоритмов диагностики к модели – семейству алгоритмов для единого описания методов решения. Следует отметить, что данная работа является переработанным и дополненным вариантом работы [9], в которой рассмотрены вопросы выделения признаков изображений листьев растений при диагностике.

Целью данной работы является разработка модели алгоритмов диагностики вредных организмов растений на основе анализа изображений их листьев. Предложенные модели алгоритмов опираются на принципе потенциалов [6].

Для решения данной задачи предложена модель модифицированных алгоритмов диагностики, основанных на принципе потенциалов. Основная идея предлагаемой модели состоит в формировании определенного набора параметров, позволяющий определить систему предпочтительных диагностических признаков по допустимым изображениям листьев, и распознавание фитосанитарного состояния по этим признакам. При этом пространственная (двумерная) структура изображений листьев представляется как

одномерное пространство признаков большой размерности. Каждый признак характеризует только определенный участок (фрагмент) рассматриваемого изображения. Предполагается, что один и тот же фрагмент одного и того же изображения может быть описан несколькими признаками (числовыми характеристиками).

Следует отметить, что отдельные характеристики, вычисленные для всех фрагментов изображений, рассматриваются как отдельное пространство признаков, алгоритмы которого были рассмотрены в [5].

Для практического использования и оценки работоспособности предложенных алгоритмов диагностики разработаны функциональные схемы и соответствующие программы диагностики. В целях проверки работоспособности разработанных программ рассмотрим задачу диагностики развития картофельной моли по изображениям листьев картофеля.

В качестве исходного материала взять набор из 200 изображений листьев картофеля. При этом число возможных диагнозов (фитосанитарное состояние) равно 2: изображения листьев картофеля, в которых обнаружена моль ( $D_1$ ); изображения листьев картофеля, в которых не обнаружена моль ( $D_2$ ).

В каждом подмножестве  $D_j$  имеется по 100 изображений. Эти изображения разбивались на обучающую и контрольную выборки (табл.1).

Таблица 1.

Разделение исходных данных на обучающую и контрольную выборки

Диагноз	Объем обучающей выборки	Объем контрольной выборки
$D_1$	60	40
$D_2$	60	40
Всего	120	80

Принятие решений в рассматриваемой задаче производилось по следующей формуле (по аналогии с формулой для решающего правила в модели Ю.И. Журавлева [6]):

$$R(L) = \begin{cases} 1, & \text{если } U_1(L) = 1; \\ -1, & \text{если } U_2(L) = 1; \\ 0, & U_1(L) \vee U_2(L) = 0; \end{cases}$$

где  $U_1(L) = (B(L, \tilde{D}_j) > c_2) \wedge (B(L, C\tilde{D}_j) < c_1)$ ;  $U_2(L) = (B(L, C\tilde{D}_j) > c_2) \wedge (B(L, \tilde{D}_j) < c_1)$ .

Здесь  $B(L, \tilde{D}_j)$ ,  $B(L, C\tilde{D}_j)$  - оценки принадлежности допустимого изображения  $L$  к множествам  $\tilde{D}_j$  и  $C\tilde{D}_j$  соответственно. Эти оценки вычислены диагностическим оператором.

Если  $R(L) = 1$ , то объект относится к классу  $\tilde{D}_j$ , при  $R(L) = -1$  - объект относится к  $C\tilde{D}_j$ . В случае  $R(L) = 0$ , принадлежность изображения  $L$  к одному из классов не может быть установлена.

Данная задача диагностики решалась с применением классического алгоритма распознавания, основанного на принципе потенциалов [1], и предложенным алгоритмом.

Результаты экспериментальных исследований при решении рассматриваемой задачи сведены в табл.2 и табл.3.

Таблица 2.

Результаты решения задачи диагностики с применением классического алгоритма

Диагноз	Количество правильных диагнозов	Количество неправильных диагнозов	Отказ от диагнос-тики	Точность диагностики
$D_1$	28	10	2	70,0
$D_2$	25	11	4	62,5

Таблица 3.

Результаты решения задачи диагностики с применением разработанного алгоритма

Диагноз	Количество правильных диагнозов	Количество неправильных диагнозов	Отказ от диагнос-тики	Точность диагностики
$D_1$	34	5	1	85,0
$D_2$	32	6	2	80,0

Из табл.2 видно, что при использовании классического алгоритма правильно распознаны фитосанитарные состояния 53 изображений листьев картофеля из 80 исследуемых, что составляет 66,3%. При использовании разработанного алгоритма из 80 объектов (изображений листьев) правильно распознаны 66, что составляет 82,5% (табл. 3).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы диагностики фитосанитарного состояния сельскохозяйственных культур и информационного обеспечения принятия решений по их защите является одним из основных задач в проблеме управления урожаем.

Разработана модель алгоритмов диагностики заболеваний культурных растений по изображению их листьев. Основная идея предлагаемой модели алгоритмов заключается в распознавании фитосанитарного состояния сельскохозяйственных культур по диагностическим признакам.

В процессе решения практической задачи определено, что этапы формирования подмножеств «независимых» признаков, а именно вопросы определения числа этих подмножеств и набора диагностических признаков по изображению листьев, а также выбора модели распознавания имеют наибольшее значение при решении задач диагностики. Поэтому необходимо продолжить исследования с учетом выявленных направлений.

### Список литературы

1. Айзерман М.А., Браверман Э.М., Розоноэр Л.И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. – М.: Наука, 1970. – 348 с.
2. Филиппов Н.А., Гулий В.В. Актуальные проблемы биологического регулирования численности вредных организмов // В кн. «Биологическая регуляция численности вредных организмов», «Агропромиздат», -М., -1986, -С. 3-12.

3. Ковалев Б.Г. Основные итоги исследования половых феромонов насекомых // В кн. «Биологическая регуляция численности вредных организмов», «Агропромиздат», - М., -1986, -С. 12-25.
4. Яхьяев Х.К. Разработка научных основ автоматизации прогнозирования и управления вредными объектами сельскохозяйственных культур. –Дисс. ... доктора с/х наук. –Ташкент. -1994. -286 с.
5. Яхьяев Х.К., Холмурадов Э.А. Автоматизация прогнозирования развития и распространения вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. – Ташкент: «ФААК», - 2005, - 168 с.
6. Журавлев Ю. И., Рязанов В. В., Сенько О. В. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. — М.: Фазис, 2006. -159 с.
7. Вудс Р., Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. –М.: Техносфера, 2005. – 752 с.
8. Mirzaev N. M. About one model of image recognition // Computer Technology and Applications: Proceedings of The First Russia and Pacific Conference, 2010, Vladivostok, Russia. pp. 394-398. Режим доступа [ftp://ftp.dvo.ru/pub/RPC\\_2010/rpc2010\\_docs/](ftp://ftp.dvo.ru/pub/RPC_2010/rpc2010_docs/)
9. Яхьяев Х.К., Фазылов Ш.Х., Даминов О.А., Мирзаев О.Н. Алгоритмы диагностики заболеваний растений по изображению их листьев// Мат. 5-ой международной конференции «Агроинфо-2012», Новосибирск, -2012. – ч.1. – С.242-248.
10. Yakhyaev Kh.K., Babakhanova M., Nafasov Z.N. Regulation of the quantity of potato tuber moth and algorithms for diagnosing its development using images of their leaves // «Актуальные проблемы современной науки»,-№4,-2020,-С.73-76