

УДК 632.7:634.8

ИНТЕГРАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ФЕНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ВРЕДИТЕЛЕЙ САДА И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ЕДИНУЮ СИСТЕМУ ПРОГНОЗА

Тодиращ В.А., д-р биол. наук

Институт защиты растений и экологического земледелия (Кишинев)

Третьякова Т.Ф., канд.с.-х. наук

Академия наук Республики Молдова (Кишинев)

Реферат. Целью исследований было улучшение прогноза вредителей яблоневых садов на основе интеграции модели фенологического развития вредителей сада и пространственной модели их распространения. Объединение моделей временного и пространственного типа в единую систему прогноза позволяет оптимизировать защиту садов в различных географических зонах.

Ключевые слова: вредители сада, прогноз, сумма эффективных температур, биофикс

Summary. The goal of our experiments is optimization of forecast of apple orchard pests by integration of model of pests phenological development and spatial model of their spreading. The integrating of spatial and temporal type of models into one system allows to optimize the garden protection in the different geographical zones.

Key words: garden pests, forecast, sum of effective temperatures, biofix

Введение. Яблонная плодожорка и яблонный пилильщик являются опасными вредителями плодов яблони. Яблонный пилильщик в благоприятные для его развития годы может привести к повреждению от 25 до 60%, а яблонная плодожорка – до 95% урожая фруктов [1-3].

Известно, что риск потери урожая от вредителей в значительной мере определяется их численностью. Для обеспечения высокой эффективности при проведении защитных мероприятий главное значение имеет определение сроков и места их применения. Традиционно при проведении защитных мероприятий культура на определенном массиве подвергается сплошной обработке. Сведение к минимуму отрицательного воздействия мероприятий по защите растений на окружающую среду является целью ведения экологически устойчивого сельского хозяйства [4]. Научкой и практикой доказано, что наиболее эффективными и безопасными для окружающей среды являются интегрированные системы защиты растений, базирующиеся на достоверном прогнозе развития вредителей с/х культур.

Оперативная и адекватная информация относительно фитосанитарного состояния насаждений как всего сада, так и его отдельных участков может позволить перейти от системы тотальных обработок к локальной, при которой защитные мероприятия проводятся только в тех местах, где возникает реальный риск потери урожая [4].

Сроки для своевременного проведения защитных мероприятий устанавливаются на основе моделей фенологического развития вредителя, а границы его распространения – на базе моделей прогноза пространственного распределения. Использование этих двух типов моделей прогноза позволяет принять необходимые меры в сроки появления наиболее уязвимых фаз вредителя и точно в тех местах сада, где плотность популяции превышает экономический порог вредоносности.

Для разработки моделей фенологического развития необходимы исходные данные как в отношении вредителя, так и окружающей среды [2, 3, 5]. Применение ловушек в защите растений с половым феромоном или цветных облегчает наблюдения за фенологией вредителя и даёт возможность проследить динамику численности его популяции [3, 4, 6]. В последние годы появились технологии, которые открывают новые возможности для измерения показателей факторов окружающей среды, среди них автоматические станции для измерения и переработки метеорологических данных, системы глобального позицио-

нирования (GPS), географические информационные системы (ГИС), системы поддержки принятия решений [4].

Целью наших исследований было улучшение прогнозирования вредителей яблоневых садов на основе интеграции моделей их фенологического развития и пространственного распределения.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили по двум видам вредителей сада: яблонная плодовая жорка *Cydia pomonella* L. и яблонный пилильщик (*Hoplocampa testudinea* Klug.). Метеоданные были получены путем использования автоматической метеостанции «АгроЭксперт». Наблюдения проводили как прямым наблюдением, так и путем использования 2-ух типов ловушек:

- ловушки с половым феромоном формы «Дельта» – для яблонной плодовой жорки;
- ловушки прямоугольной формы, изготовленные из ламинированной бумаги белого цвета, покрытые энтомологическим клеем, – для яблонного пилильщика.

Для обработки первоначальных данных были использованы следующие методы: система глобального позиционирования (GPS), географические информационные системы (ГИС), методология, основанная на теории нечетких множеств (fuzzy logic). Интеграция моделей была проведена при помощи программ «BioClass» и «OptimClass».

Обсуждение результатов. Яблонная плодовая жорка – *Cydia pomonella* L. Путем проведения регрессионного анализа было установлено, что температура, влажность воздуха, осадки и скорость ветра оказывают влияние как на отлов самцов на феромонные ловушки, так и на откладку яиц самками. Кросс-анализ метеорологических факторов показал, что температура воздуха коррелирует с относительной влажностью воздуха, атмосферным давлением и температурой на поверхности почвы, что соответствует и литературным данным [2].

Принимая во внимание суточную изменчивость показателей температуры воздуха, было установлено, что сумма эффективных температур (СЭТ) является главным предиктором при разработке прогноза фенологического развития вредителей [1, 2, 4, 5, 7]. Путем использования эмпирических данных нами был разработан метод нелинейного подсчета СЭТ, основанный на синусоидальной функции изменчивости суточных показателей температуры. Было установлено, что данные, полученные путем использования синусоидального метода подсчета СЭТ, более точно описывают скорость развития вредителя как в ранневесенний период, при больших перепадах показателей температуры воздуха в течение суток, так и в середине лета, при экстремально высоких показателях дневных температур [7].

При построении моделей прогноза нами были использованы результаты отлова на феромонные ловушки и метеоданные. Начало непрерывного отлова самцов на феромонные ловушки используется как точка для начала подсчета СЭТ в прогнозировании событий из биологического цикла яблонной плодовой жорки (начало и массовый лет имаго, начало и массовое отрождение гусениц) [3, 5, 8].

Была разработана физиологическая схема «СЭТ – отрождение – лет», выраженная в процентах. Эта схема позволяет определить ход развития яблонной плодовой жорки в зависимости от скорости накопления СЭТ и количество поколений в текущем году.

При разработке прогнозов мы часто сталкиваемся с проблемой неполноты информации. Для описания системы «растение - вредный организм - окружающая среда» была разработана методология, которая позволяет построение модели прогноза на основе неполной информации и идентификации нелинейных систем большой размерности. Методология была разработана на основе теории нечетких множеств (fuzzy logic) [9].

При применении этой методологии нам удалось решить 3 задачи, необходимые для разработки прогноза:

- перевод зависимостей в линейную функцию и значений всех факторов в единую размерность;
- определение влияния и силы влияния каждого фактора;
- объединение факторов в единый предиктор.

Модель фенологического прогноза была разработана на базе логистической кривой скорости развития вредителя, путем построения для каждого предиктора функции отклика (рис. 1).

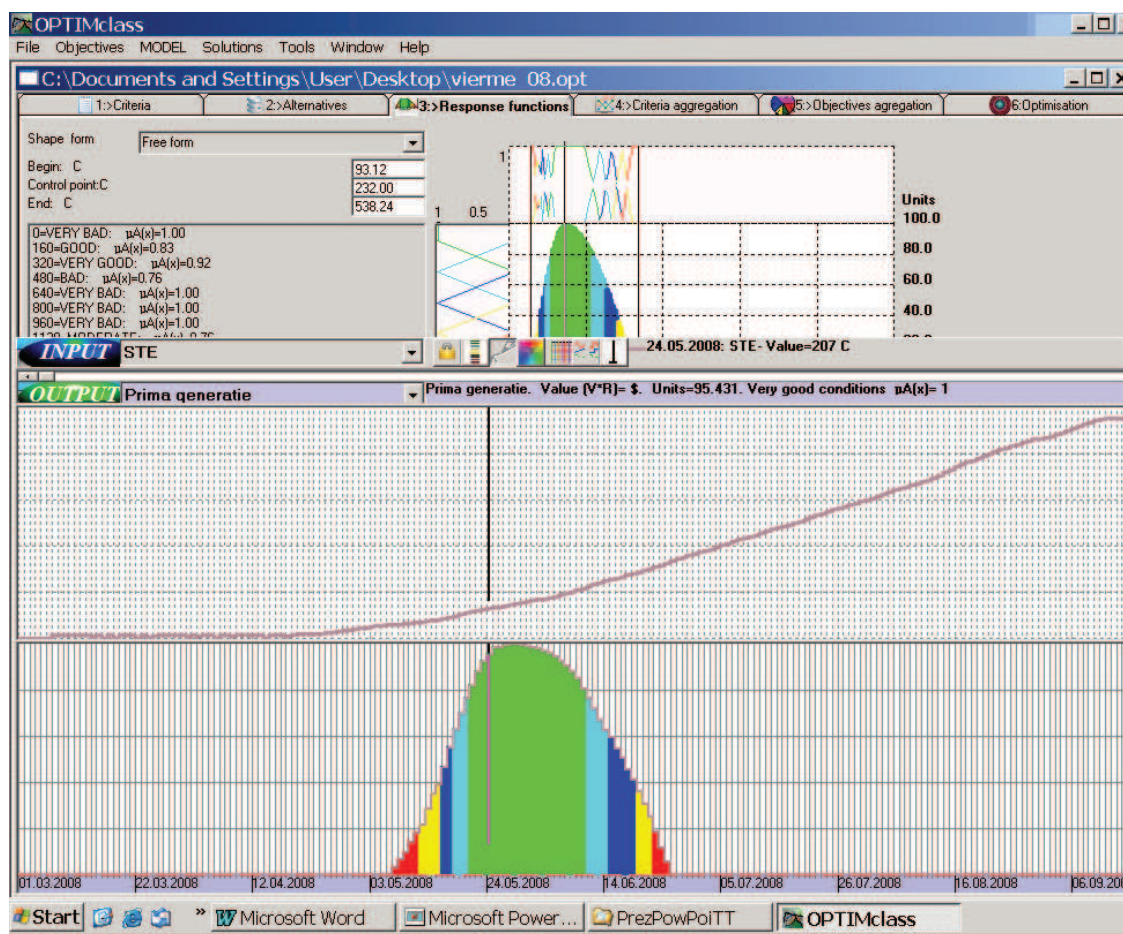


Рис. 1. График развития яблонной плодовой жорки, 1-е поколение, 2008 г.

Отправным пунктом прогноза служит дата начала непрерывного лета самцов, “Биофикс”. Модель была апробирована в производственных условиях в 2008-2012 гг. путем выдачи сигнализаций и проведения мероприятий по борьбе с яблонной плодовой жоркой в 1-ом и 2-ом поколениях.

*Яблонный пилильщик – *Hoplocampa testudinea* Klug.* Проводя мониторинг при помощи клеевых ловушек белого цвета [6], было установлено, что вредитель распространяется по территории сада неравномерно. Распространение вредителя зависит как от метеорологических условий года, срока созревания плодов, так и от количества урожая на деревьях. Взрослые насекомые выходят на поверхность и появляются в кронах деревьев яблони перед цветением. Массовый лет и откладка яиц происходит в период цветения яблони. В на-

саждениях смешанных сортов пилильщики концентрируются на деревьях, цветение которых начинается раньше. В связи с этим сорта, которые цветут раньше, повреждаются пилильщиком сильнее [10].

В отдельные годы яблонный пилильщик образует очаги с повышенной численностью [1, 4]. Результаты наблюдений, проводимых в яблоневом саду института, показали, что места образования очагов не постоянны и меняются по годам. Так, в 2002 году на 16 ловушек было отловлено 100 имаго вредителя, из них 94 особи – на ловушки верхнего ряда 2-ой клетки, 5 особей – на ловушки 3-ей клетки и 1 особь – на 4-ой клетке, сорт среднего срока созревания Слава победителям.

На ловушках, которые были вывешены в 1-ой клетке, яблонный пилильщик не был обнаружен, сорт Мелба. Урожайность на деревьях этого сорта в 2002 году была незначительной. Поврежденность плодов яблони во 2-ой клетке в среднем составила 26 %. В то же время, в 3-ей клетке количество поврежденных плодов было равно 5,6%.

В 2003 году, в целом, было отловлено 15 пилильщиков, из них 11 особей в 1-ой клетке, 2 пилильщика во 2-ой клетке и по одному экземпляру на ловушках из 3-ей и 4-ой клеток, сорта Мелба и Слава победителям. Обычно длительность лета пилильщика составляет 12-16 дней [1]. В 2005 г весна выдалась затяжная, с частыми выпадениями осадков и растянутым периодом цветения, что благоприятно для развития яблонного пилильщика. В 2005 году лет яблонного пилильщика наблюдался на протяжении 27 дней. За весь период лета в саду было отловлено 164 пилильщика, из них в 1-ой клетке – 124 особи. На одну ловушку было отловлено 120 пилильщиков. Таким образом, в 2005 году тоже был обнаружен очаг вредителя, но уже в 1-ой клетке сада.

Год	Количество отловленных особей пилильщика на 1 ловушку по клеткам сада															
	1-ая клетка				2-ая клетка				3-ая клетка				4-ая клетка			
2002	0	0	0	0	0	39	52	3	0	3	2	0	0	0	1	0
2003	3	2	3	3	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
2004	1	1	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2005	2	120	2	0	11	3	1	5	10	1	0	8	0	0	1	0
2006	0	9	0	0	5	8	9	3	0	0	0	0	1	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	4	1

По литературным данным, повышенная влажность воздуха и осадки во время цветения яблони являются одними из условий, способствующих массовому размножению яблонного пилильщика. Кроме того указывается, что те сорта яблони, которые отличаются ранним сроком созревания, широкой раскидистой кроной и обильным цветением, привлекают пилильщика больше [9].

Весна 2005 года по температурным показателям примерно находилась на уровне 2002 года и была ближе к среднемноголетним, но по количеству выпавших осадков опережала значения среднемноголетних данных в 1,8-2 раза. Осадки в 2005 году выпадали в апреле в мае. В апреле они выпали в 3-ей декаде, во время цветения яблони и составили 21 мм (при норме 12 мм). Среднее значение относительной влажности воздуха в 3-ей декаде апреля составило 74%.

Ловушка, на которой было отмечено максимальное количество отловленных пилильщиков – 120 особей, находилась вблизи защитной лесополосы, где деревья максимально защищены от ветра. Необходимо отметить, что и цветение, и урожай в 2005 году на этом сорте были обильными. Поврежденность плодов на сорте Мелба в 1-ой клетке варьировала от 31 до 40%. Результаты наблюдений послужили основой для построения

пространственной модели распределения яблонного пилильщика в саду (рис. 2, 3). Данные были обработаны путем интерполяции методом “Кригинг”.

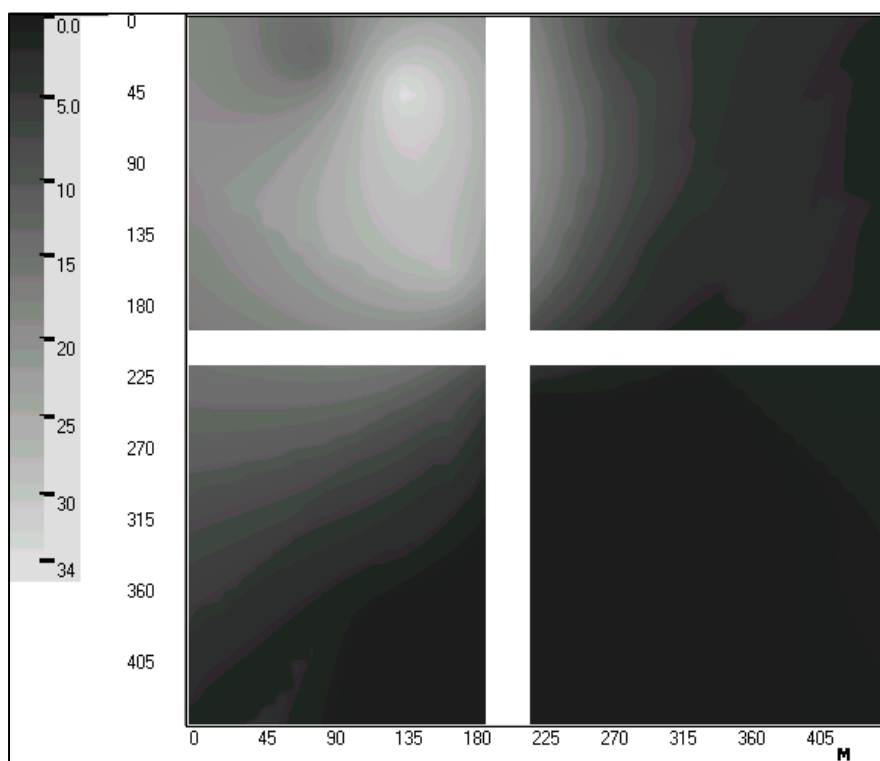


Рис. 2. Поврежденность плодов яблонным пилильщиком в саду, 2002 год

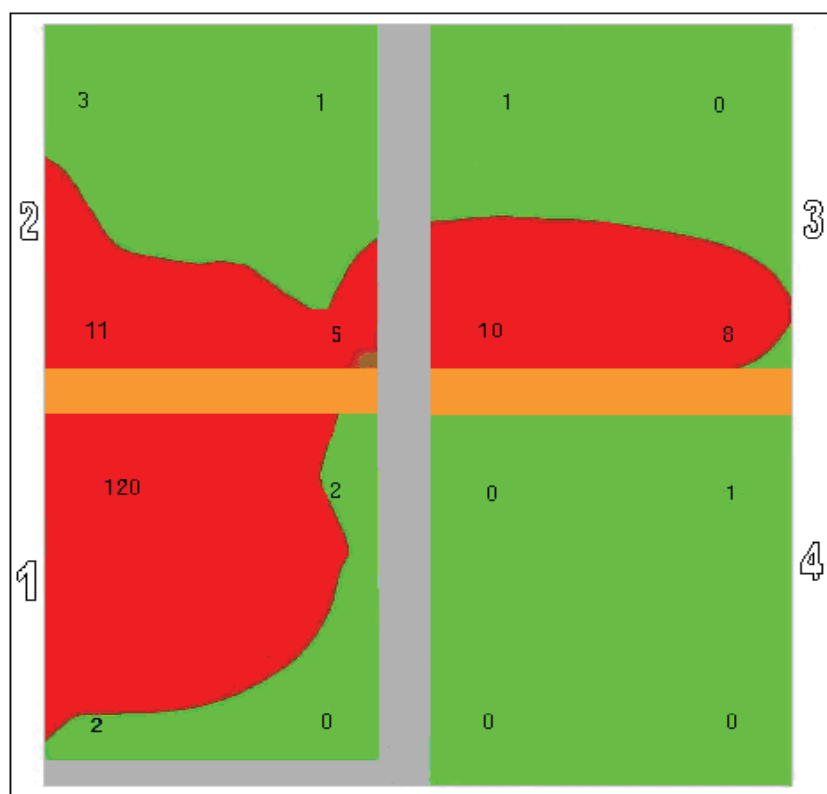


Рис. 3. Распространение яблонного пилильщика в саду, 2005 год

Представленные на рис. 2 и 3 карты поврежденности плодов и распространения яблонного пилильщика наглядно демонстрируют непостоянство распределения данного вредителя как в пространстве, так и во времени и его способность образовывать очаги с повышенной численностью в зависимости от погодных условий, сортового состава насаждений и урожая на деревьях в саду.

Объединение моделей временного и пространственного типа. Были построены карты СЭТ для всей территории Республики Молдова. Тематические слои были обработаны согласно теории нечетких множеств. Для идентификации границ распространения вредителя были наложены информационные слои, характеризующие климат, вегетацию, рельеф. Дата начала непрерывного лета имаго яблонной плодовой жорки (биофикс) послужила основой для прогноза фенологического развития яблонной плодовой жорки в различных географических зонах Республики Молдова (рис. 4).

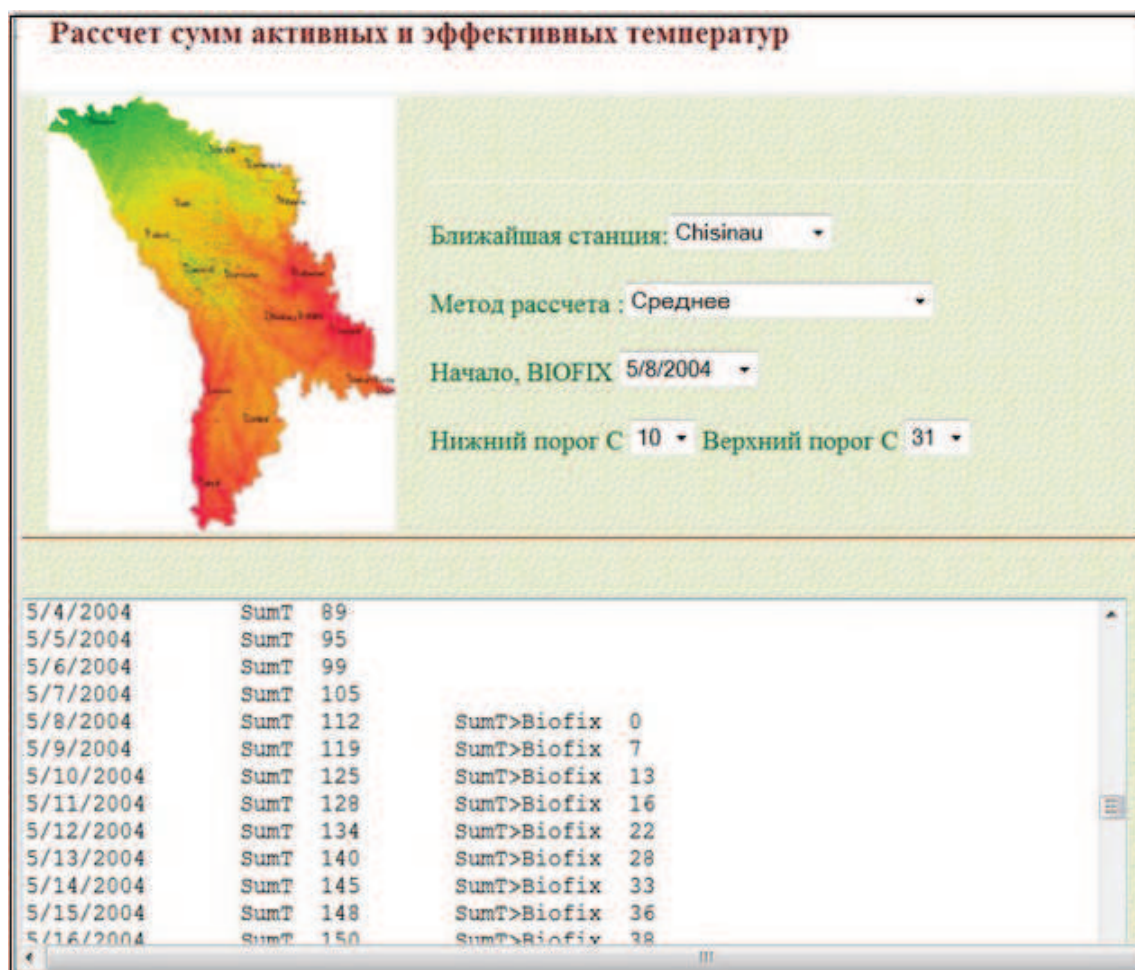


Рис. 4. Интеграция моделей фенологического и пространственного развития яблонной плодовой жорки в единую информационную систему

На рис. 4 представлен интерфейс расчета суммы эффективных температур, позволяющий прогнозирование развития яблонной плодовой жорки в разных зонах Республики Молдова. Применение нового метода подсчета СЭТ, методологии на основе нечетких множеств и ГИС-калькулятора градусо-дней позволило нам повысить точность краткосрочного прогноза фенологического развития яблонной плодовой жорки до 1-2 дней.

Выводы. Сумма эффективных температур – главный предиктор для прогноза развития яблонной плодовой гнили. Определение даты начала непрерывного лета – отправной пункт модели фенологического прогноза вредителя.

Модель пространственного распределения яблонного пилильщика дает возможность отслеживать распространение вредителя по территории сада и определить образование очагов, что позволяет проводить защитные мероприятия не на всем массиве, а на отдельных его участках.

Объединение моделей временного и пространственного типа в единую систему прогноза позволяет оптимизировать сроки обработок по защите садов от яблонной плодовой гнили в различных географических зонах.

Литература

1. Зайцев, Э.Ф. Яблонный плодовой пилильщик (*Hoplocampa testudinea* Klug) в Крыму и меры борьбы с ним: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Одесса, 1970. – 23 с.
2. Pitcairn, M. J. Degree-day forecasting of generation time of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) populations in California / Pitcairn, M. J., F. G. Zalom, R. E. Rice // *J. Envir. Entomol.* – 1992. – Vol. 3, № 21. – P. 441-446.
3. Riedl H. Forecasting codling moth (*Carpocapsa pomonella*) phenology based on pheromone trap catches and physiological-time models/ Riedl H., Croft B., Howitz A. // *Can. Entomol.* – 1976. – Vol. 108, № 5. – P. 449-461.
4. Todiraş V. A. Agricultura de precizie: Tehnologii geospațiale și informaționale în managementul culturilor agricole. – Chișinău, 2003. – 179 p.
5. Riedl H. Monitoring and forecasting methods for codling moth management in the Unated states and Canada// *EPPO Bull.* – 1980. – Vol. 10, № 2. – P. 241-253.
6. Pensilvania tree fruit production guide 2000-2001. /J.W. Travis, R.M.Crassweller, G.Krawczyk [et al.]. – The Pennsylvania State University, 2000. – P. 96-99.
7. Baker C. Some problems in using meteorological data to forecast the timing insect life cycles//*EPPO Bull.* – 1980. – Vol. 10, № 2. – P. 83-91.
8. Brunner J. Codling moth control - a new tool for timing sprays. Pests of apples and pears/Brunner J., Hoyt S., Wright M.// *Extension Bull. Of Washington State Univ.* – Washington, 1987. – 4p.
9. Todiraş V. Metodă de integrare a funcției de dezirabilitate cu funcțiile de apartenență în sistemele bazate pe logica Fuzzy// *Mater. Sesiun. Științ. Internaționale «Progrese în teoria deciziilor economice în condiții de risc și incertitudine».* – Iași, 2009.– Vol. IX.– P. 87.
10. Баришвили, М.К. Главнейшие вредители плодов семечковых культур и сроки эффективной борьбы против них в Шида (внутренней) – Картли: Автореф дис. ... канд. с.-х. наук. – Тбилиси, 1975. – 23 с.