

На правах рукописи

**СЕРАПИОНОВ**  
Дмитрий Анатольевич

**ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ КУКУРУЗНОГО  
МОТЫЛЬКА И ЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СВЯЗИ С  
ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПРОГНОЗА РАЗМНОЖЕНИЯ**

Специальность:  
06.01.11 – защита растений

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург — Пушкин  
2008

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЗР РАСХН)

**Научный руководитель:** доктор биологических наук  
Фролов Андрей Николаевич

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук, профессор  
Анисимов Анатолий Иванович,  
доктор биологических наук  
Радченко Евгений Евгеньевич

**Ведущее учреждение:** Краснодарский научно-исследовательский  
институт сельского хозяйства  
им. П.П. Лукьяненко

Защита диссертации состоится 19 июня 2008 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 006.015.01 при Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений по адресу: 196608, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, д. 3.  
факс: (812)4705110; e-mail: [vizrsrb@mail333.com](mailto:vizrsrb@mail333.com)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений РАСХН

Автореферат разослан 19 мая 2008 г.

Учёный секретарь  
Диссертационного совета  
кандидат биологических наук

Г.А. Наседкина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Кукурузный или стеблевой мотылек *Ostrinia nubilalis* Hbn. — особо опасный вредитель кукурузы. Несмотря на то, что предложено несколько моделей прогноза кукурузного мотылька, как в нашей стране, так и за рубежом (Onstad, 1988; Букзеева, 1993 и др.), все они характеризуются недостаточно высокой прогностической точностью. До сих пор многие вопросы экологии вредителя остаются неясными, например, вклад в динамику его численности биотических факторов — энтомофагов, возбудителей заболеваний, сортовых особенностей кукурузы, причины колебаний численности вредителя по годам и др.

**Цель исследований** — разработать модель прогноза численности кукурузного мотылька для Краснодарского края, основанную на комплексной оценке влияния ведущих факторов динамики численности вредителя (погодных условий, деятельности энтомофагов и устойчивости растений).

В соответствии с указанной целью, ставились следующие задачи:

• провести наблюдения за динамикой численности кукурузного мотылька в Краснодарском крае;

• по результатам наблюдений составить и проанализировать таблицы выживаемости, включив в них данные, накопленные в ВИЗР с 1994 г.;

• оценить вклад погодно-климатических и биотических факторов (энтомофагов, возбудителей заболеваний, сортовых особенностей кукурузы) в динамику численности кукурузного мотылька и охарактеризовать их прогностическую ценность;

• составить модель прогноза размножения кукурузного мотылька;

• провести апробацию модели и с помощью ГИС-технологий определить районы, для которых прогностическая точность модели предполагается максимальной.

**Научная новизна.** Впервые разработана модель прогноза кукурузного мотылька, основанная на многолетних наблюдениях за колебаниями численности вредителя, по итогам которых были составлены таблицы выживаемости, уточнены критические периоды и ключевые факторы динамики численности насекомого. С использованием метода «симметризации» зависимостей (Сергеев и др., 1973) и «метода всех регрессий» (Сергеев и др., 1972) созданы модели динамики численности кукурузного мотылька, описывающие 88% вариации плотности популяции вредителя. Апробирован алгоритм применения ГИС для корректной экстраполяции данных, полученных в одной географической точке, на обширные территории, для которых составляется прогноз.

**Практическая ценность.** Результаты исследований и предложенные на их основе практические рекомендации найдут применение при прогнозировании колебаний численности кукурузного мотылька в Краснодарском крае и на сопредельных территориях. Разработанные подходы будут способствовать использованию моделирования и электронного картирования в защите растений и прогнозировании вредных организмов.

**Апробация работы.** Результаты работы доложены на Втором Всероссийском съезде по защите растений (СПб – Пушкин, 2005), на 13 съезде РЭО (Краснодар, 2007), на отчётно-плановой сессии ВИЗР (СПб – Пушкин, 2008), на международной конференции «Информационные системы диагностики, мониторинга и прогноза важнейших сорных растений, вредителей и болезней сельскохозяйственных культур» (СПб – Пушкин, 2008).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 работ, из них 2 в изданиях из Перечня научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ.

**Объём и структура диссертации.** Диссертация изложена на 124 страницах машинописного текста, состоит из введения, 3 глав, выводов, практических рекомендаций и приложения. Работа иллюстрирована 10 таблицами и 60 рисунками. Список цитированной литературы включает 192 источника, из них 85 на иностранных языках.

Работа выполнялась при финансовой поддержке грантами Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 03-04-49269, № 06-04-48265 и № 07-04-92170. Автор выражает искреннюю признательность В.И. Тобиасу, А.И. Халаиму, В.А. Рихтер (ЗИН), А.П. Сорокиной (ВИЗР), В.Е. Гохману (МГУ) за определение видового состава и консультации по паразитическим насекомым, А.Г. Кирейчуку (ЗИН), Н.В. Бабич (ВИЗР), П.С. Томковичу (Зоомузей МГУ) за определение видового состава хищников, а В.Б. Митрофанову (ВИЗР) – энтомопатогенов, Г.Е. Сергееву (ВИЗР) – за неоценимую помощь при статистической обработке данных и А.Н. Афонину (СПГАУ) – за консультации и помощь в освоении ГИС. Выражаю благодарность коллективу НПО КОС-МАИС во главе с его директором, В. Г. Гаркушка за неоценимую помощь в работе. Выражаю своему руководителю А.Н. Фролову за консультации и материал 1994-2002 гг., переданный для анализа, за помощь на всех этапах выполнении данной работы, коллективу лаборатории фитосанитарной диагностики и прогнозов и её руководителю И.Я. Гричанову за разностороннюю помощь и поддержку.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

### ГЛАВА 1. ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ КУКУРУЗНОГО МОТЫЛЬКА: СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В главе приводится анализ литературы, посвященной кукурузному мотыльку (систематике, распространению, вредоносности, динамике численности) и общим представлениям о динамике численности насекомых-фитофагов.

### ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по теме диссертационной работы проводили в 2003-2007 гг. При анализе полученных данных использовали эксперименталь-

ный материал, накопленный в 1994-2002 гг. в лаборатории прогнозов и мониторинга ВИЗР. Важно подчеркнуть, что методика проведения наблюдений за численностью кукурузного мотылька на протяжении 1994-2007 гг. сохранялась неизменной.

Полевые учеты численности кукурузного мотылька проводили на полях научных севооборотов Кубанской опытной станции ВИР и НПО КОС-МАИС (Краснодарский край, Гулькевичский р-н, пос. Ботаника).

Плотность перезимовавших гусениц учитывали в поздневесенний период на полях, которые были заняты кукурузой в предыдущем году. При обнаружении мертвых особей проводили лабораторный анализ вероятных причин гибели (патогены, хищники, паразиты).

Плотности отложенных на кукурузу яиц оценивали на фиксированных модельных площадках. Учеты плотности и смертности яиц осуществляли в период лёта имаго через 4-5 дней. Учитываемыми факторами смертности являлись хищники, паразиты, ранняя и поздняя эмбриональная смертность и отпадение кладки яиц от листа.

Спустя неделю после завершения периода откладки яиц (по первому поколению: начало – середина июля, по второму поколению: середина – конец августа) проводили учеты плотности гусениц на растениях, для чего их вскрывали на рендомизированных площадках. Попавшие в пределы учетной площадки сорные растения также осматривали на предмет заселения гусеницами вредителя.

Смертность гусениц младших (1-2) возрастов оценивали по разности между плотностью яиц со следами отрождения гусениц (как оценкой первоначальной плотности гусениц 1 возраста) и плотностью гусениц, определенной при вскрытии растений по завершении периода откладки яиц. В качестве средних значений плотности яиц и гусениц кукурузного мотылька за сезон использовали средневзвешенные по учетным площадям посевов оценки.

В период развития насекомых первой генерации одновременно с учетом плотности питающихся на кукурузе гусениц оценивали степень поврежденности листьев по 9-балльной шкале (Guthrie et al., 1960) в модификации В. Вильямса и Ф. Дэвиса (Williams, Davis, 1984).

Учет плотности ушедших на зимовку гусениц проводился по такой же методике, как и учет плотности перезимовавших гусениц.

Снижение плотности представляли в виде  $K = \log N_t - \log N_{t+1}$ , индекс изменения плотности рассчитывали по Р.Ф. Моррису (Morris, 1957):

$$I = \frac{N_{t+1}}{N_t}$$
, где  $N_t$  и  $N_{t+1}$  — плотности яиц текущего ( $t$ ) и следующего поколения ( $t+1$ ). Для анализа изменения плотности использовали  $k$ -факторный анализ; эффекты  $k$  рассчитывали по общепринятой формуле  $k = \log(x_i) - \log(x_{i-1})$ , где  $x$  — оценки плотностей в период развития текущего ( $i$ ) и предыдущего ( $i-1$ ) интервала развития (Morris, 1959; Varley, Gradwell, 1970).

По результатам учётов плотностей насекомых и их возрастных смертностей составлены таблицы выживаемости, учитывающие смертности яиц, гусениц младших и старших возрастов, а также диапаузирующих гусениц, куколок, соотношение полов у имаго, уровень плодовитости и её реализацию у самок. Значимые для динамики численности факторы выявляли с помощью К-факторного анализа, множественной регрессии, факторного анализа по методике, описанной Дж.К. Варли (1978).

При проведении картографических работ использовали растровые карты средних многолетних значений осадков за май в Краснодарском крае (<http://www.agroatlas.ru/>, Афонин А.Н.), векторные карты административного деления Краснодарского края и посевов кукурузы (территории посевов, включающие более 5% кукурузы) в Краснодарском крае, сделанные М.И. Сауличем по проекту МНТЦ № 2625р.

### ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1 ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ КУКУРУЗНОГО МОТЫЛЬКА В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

При сравнении полученных результатов с многолетними данными о развитии вредителя в районе исследований, полученных в 1994-2001 гг. (Фролов, Малыш, 2004), видно (рис. 1), что подъемы численности периодически сменяются депрессиями численности. Подчеркнем, что при лишь достижении рядами численностей продолжительности около 15 лет оценки средней и дисперсии обычно достигают приемлемого уровня устойчивости (Swanson, 1998). Особый интерес представляют те временные интервалы, когда численность насекомого снижается до минимума (1994 – 1996, 2003 – 2004 гг.).

Из анализа многолетних данных следует, что колебания численности фитофага происходят во время развития первого поколения кукурузного мотылька, в то время как в период развития второй генерации какого-либо значительного изменения численности не происходит (рис. 2). Можно предположить, что это обусловлено тем обстоятельством, что во время развития второго поколения численность насекомого регулируется естественными факторами (коэффициент корреляции смертности за поколение и плотности яиц составил 0.79;  $p = 0.0013$ ), тогда как в период развития первой генерации регуляция если и имеет место, то осуществляется с запаздыванием (коэффициент корреляции смертности за поколение и плотности яиц равен 0.27;  $p = 0.34$ ).

При проведении k-факторного анализа сопоставляли смертности за отдельные периоды развития (k) с общей смертностью насекомых за поколение (K). Полученные материалы свидетельствуют, что решающий вклад в общую смертность за поколение в те или иные годы может вносить гибель особей самых разных стадий развития. Так, например, депрессия в период развития первого поколения 2003 г. очевидно, обусловлена высоким уровнем смертности яиц и гусениц младших возрастов, тогда как в

1994 г. большое значение имел повышенный уровень гибели гусениц, как младших, так и старших возрастов. Проведенный регрессионный анализ подтвердил ведущий вклад смертности насекомых в указанные периоды развития в общую гибель за поколение. Делается вывод, что во время развития первого поколения кукурузного мотылька, разные факторы могут обуславливать максимальные по амплитуде колебания смертности яиц и гусениц, определяя, таким образом, изменения численности насекомого в ряду поколений, т.е. выступая в роли ключевых факторов либо по отдельности, либо в сочетании друг с другом.

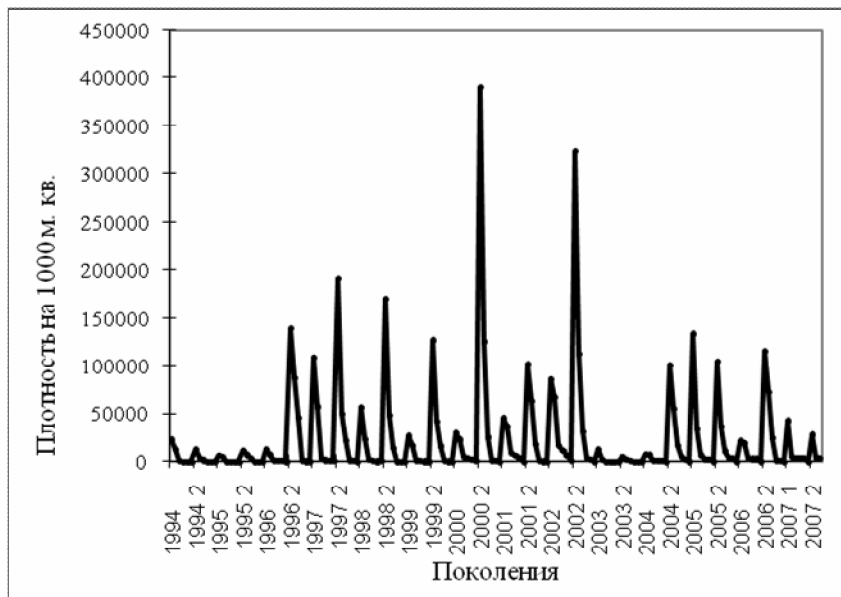


Рис. 1. Колебания средней плотности кукурузного мотылька на кукурузе в окр. пос. Ботаника (Краснодарский край, Гулькевичский р-н) в 1994-2007 гг.

### 3.2 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ КУКУРУЗНОГО МОТЫЛЬКА

На основе таблиц выживаемости, составленных за период 1994–2007 гг., проведен корреляционный анализ смертности вредителя и индекса его размножения в первом поколении с температурой, влажностью воздуха и суммой осадков, выпавших перед началом массовой откладки яиц имаго кукурузного мотылька перезимовавшего поколения (рис. 3). Обнаружена тесная связь смертности за поколение ( $K$ ) и индекса размножения ( $I$ ) с количеством осадков за первую декаду июня ( $r = -0.81$  и  $r = 0.87$  соответственно). Известно, что капельно-жидкая влага необходима для успешной реализации бабочками яйцевой продукции и нормального развития яиц (Фролов, 1997; Тришкин, 1997).

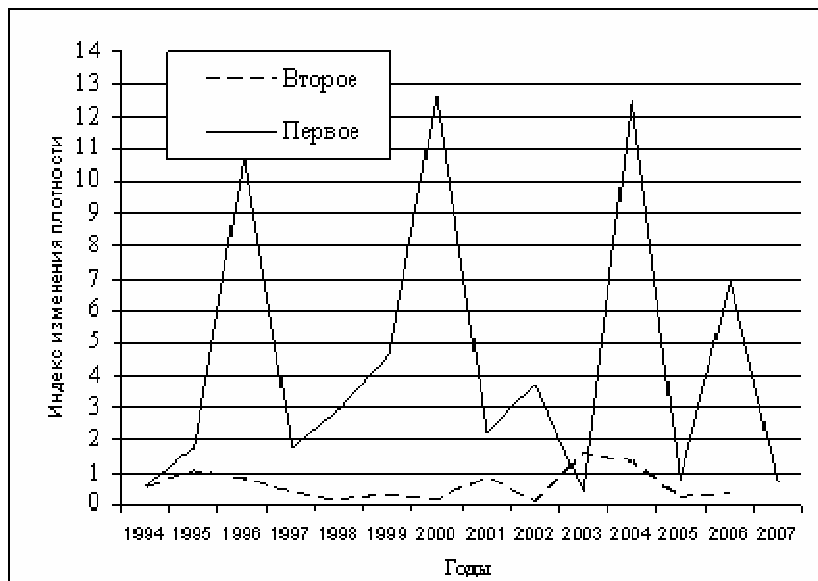


Рис. 2. Колебания индекса размножения кукурузного мотылька в ряду поколений

Корреляционный анализ смертности насекомых в учетные интервалы их развития с осадками, выпавшими перед началом массовой откладки яиц, показал, что эффект обнаруживается в отношении смертности яиц ( $r = -0.55$ ;  $p = 0.043$ ) и гусениц старших возрастов ( $r = -0.57$ ;  $p = 0.032$ ). Однако недостаток влаги отрицательно влиял на развитие кукурузного мотылька не только в тот временной интервал, когда отмечался дефицит влаги (первая декада июня — период, предшествующий началу массовой откладки яиц), но и в последующем. Осадки оказывали не только прямой эффект на развитие вредителя, но и косвенный, по всей видимости действующий на насекомых опосредованно через растение.

Следует отметить, что в отдельные годы (1996, 2000, 2004, 2006), когда в первую декаду июня выпадало достаточное количество осадков, показатели индекса изменения плотности были наивысшими, а значения  $K$  за поколение — наименьшими (рис. 3). В эти годы отмечался резкий рост численности кукурузного мотылька, которая если и не достигала высокого уровня, то только лишь по причине небольшого перезимовавшего запаса насекомого.

Во время депрессий 1994–1995 и 2003–2004 гг. выпадало немного осадков и наблюдался высокий уровень смертности. Исходя из этого, можно было бы сделать заключение, что именно дефицит осадков перед началом откладки яиц вызвал в эти годы снижение численности кукурузного мотылька. Однако, в другие годы (в 1999, 2005, 2007 гг.) также наблюдался



дефицит влаги, однако снижения плотности не наблюдалось или оно было менее значительным, чем в 1994 и в 2003 гг.



Рис. 3. Колебания осадков за первую декаду июня, индекса изменения плотности и смертности кукурузного мотылька в ряду поколений

За период проведения полевых работ зарегистрирован широкий круг паразитов и хищников, уничтожавших кукурузного мотылька на различных стадиях его развития.

Среди паразитов отмечены: *Habrobracon hebetor* Say, *Cbelonus annulipes* Wesm, *Trichogramma evanescens* Westw, *Lydella thompsoni* Hert, *Phaeogenes nigridens* Wesm, *Sympiesis viridula* Thompson, *Diadegma terebrans* Grav.; хищников — жуки из сем. *Coccinellidae*, златоглазки *Chrysopa spp.*, краснотелковые клещи, блестянки *Glischrochilus grandis* Tournier (сем. Nitidulidae), уховертки *Forficula* sp. и хищные клопы. Гусеницами старших возрастов, особенно при высокой плотности, питались мыши и различные виды птиц.

Лишь немногие из перечисленных видов способны оказывать существенное воздействие на численность вредителя. К таким видам по результатам наших наблюдений следует отнести яйцееда *T. evanescens* и браконида *H. hebetor*.

Из таблиц выживаемости следует, что основной причиной депрессии 2003-2004 гг. явилась высокая смертность яиц кукурузного мотылька перво-

го поколения, в первую очередь от их заражения природной трихограммой *T. evanescens* (рис. 4).

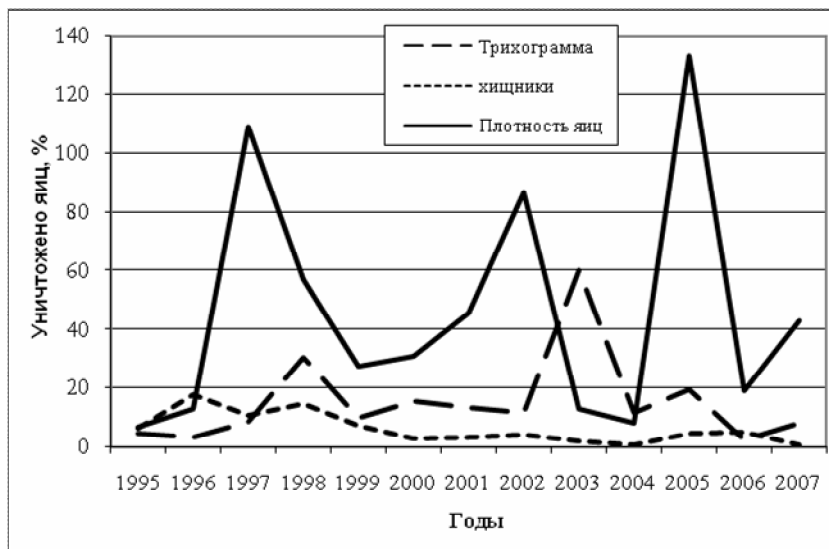


Рис. 4. Гибель яиц кукурузного мотылька первого поколения, зараженных *Trichogramma evanescens* и уничтоженных хищниками

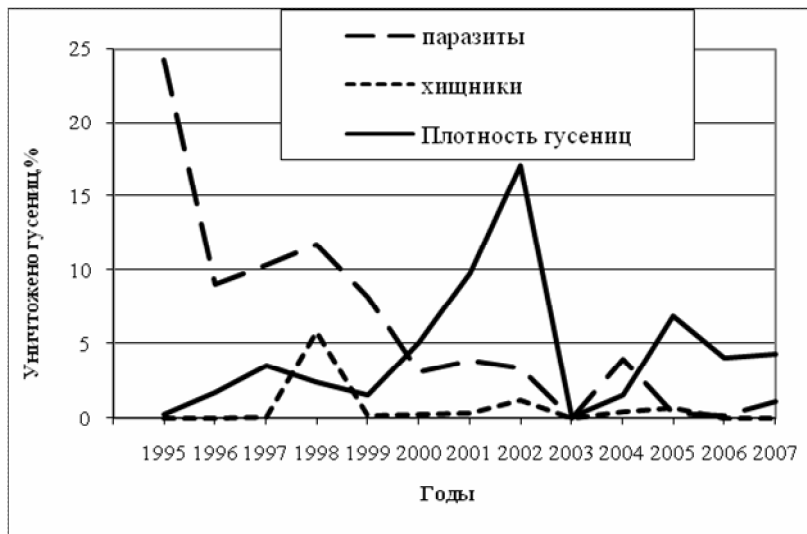


Рис. 5. Гибель гусениц кукурузного мотылька от хищников и паразитов в ряду поколений

Очевидно, вызвать делящуюся более одного поколения депрессию может лишь фактор, действующий независимо от плотности, что наблюдалось во время депрессии 1994-1995 гг., когда основной причиной депрессии численности явился *H. hebetor* (рис. 5).

Таким образом, деятельность некоторых видов энтомофагов, наряду с количеством выпавших осадков, следует рассматривать в качестве важного фактора динамики численности кукурузного мотылька. Если осадки, выпавшие перед началом откладки яиц, способны стимулировать рост численности кукурузного мотылька, то энтомофаги, наоборот, приводят численность вредителя в состояние депрессии.

Анализ смертности гусениц свидетельствует, что устойчивость кукурузы способна оказывать на численность вредителя существенное воздействие. Связь поврежденности листьев, оцененной в баллах, со снижением плотности (смертностью) гусениц 1-2 возрастов первого поколения оказалась достаточно тесной и высоко значимой ( $r = -0.78$ ,  $p = 0.00005$ ) (рис. 6).

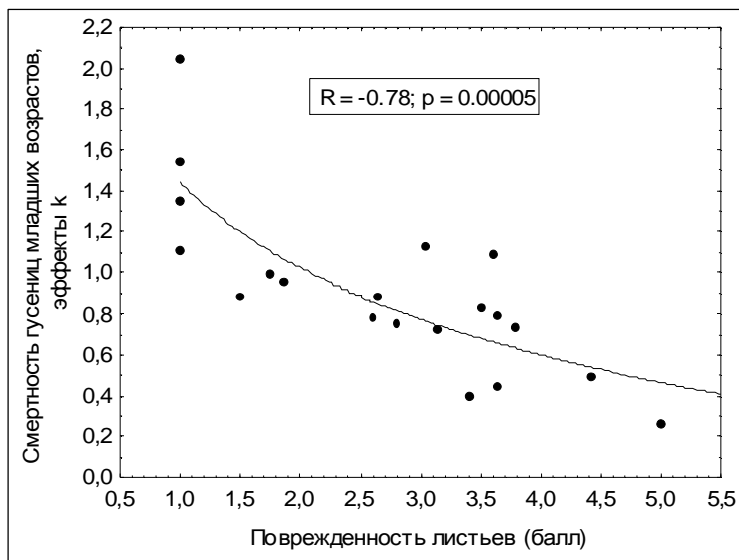


Рис. 6. Смертность гусениц младших возрастов первого поколения и поврежденность листьев кукурузы, как показатель ее устойчивости к вредителю

В питомниках НПО КОС-МАИС оценивали поврежденность наиболее популярных в Краснодарском крае гибридов и их родительских форм (всего оценено 4432 образца) как отечественной, так и зарубежной селекции (КНИИСХ, ВНИИ кукурузы, КОС-МАИС, Монсанто, и др.).

Средняя многолетняя оценка поврежденности листьев распространенных в крае гибридов составила 4.6 балла при дисперсии 2.8. По

регрессионному уравнению (рис. 6) рассчитана смертность гусениц 1-2 возрастов, выраженная в эффектах  $k$  для гибридов, уровень устойчивости которых измеряли поврежденностью листьев в баллах. Для устойчивых гибридов (поврежденность листьев 1-3 балла) значение  $k$  составило 1.11, что примерно соответствует 92.5% смертности, для гибридов со средним уровнем устойчивости (поврежденность листьев 4-5 балла) — 0.52 ( $\approx 70.0\%$  смертность), для неустойчивых (поврежденность листьев 6 баллов и выше) — 0.22 ( $\approx 37\%$  смертность).

Общая гибель насекомых за поколение в значительной степени зависит от гибели гусениц младших возрастов, обусловленной эффектами устойчивости растений. Полученные материалы свидетельствуют, что включение данных об устойчивости кукурузы в прогностические уравнения способно существенно повысить их точность. При возделывании устойчивых к кукурузному мотыльку гибридов кукурузы средний поправочный коэффициент для регрессионного уравнения — 0.8, неустойчивых — 1.3.

### 3.3 МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА РАЗМНОЖЕНИЯ КУКУРУЗНОГО МОТЫЛЬКА

Множественный регрессионный анализ рядов численностей прогнозируемого объекта и состояний факторов среды (предикторов) — основной путь разработки прогностических моделей. Анализ этот по умолчанию требует линейности связей, а также большего количества повторений в сравнении с числом переменных. В биологии эти условия редко выполняются. Первая проблема преодолима путем линеаризации зависимостей на основе предварительных итерационных преобразований данных — «симметризации» (Сергеев и др., 1973), вторая — с помощью «метода всех регрессий» (метод исходно был описан под названием «корреляционной оптимизации» (Сергеев и др., 1972).

В целях создания модели прогноза анализировали 14-летние ряды плотностей взрослых гусениц первого поколения и соответствующие им ряды, характеризующие вариацию температур воздуха (средних, максимальных и минимальных), осадков и относительной влажности воздуха (%), ГТК за все декады мая и июня, а также ряды плотностей насекомого за остальные стадии развития в текущем и предыдущих поколениях.

Из проанализированных 14950 сочетаний по четыре фактора из 27 было получено 897 вариантов, математически пригодных для практического прогноза.

Далее осуществляли отбор достоверных и разумно интерпретируемых сочетаний факторов. Результатом явилась регрессионная модель, позволяющая осуществлять прогноз, характеризующий фактическую плотность насекомого на уровне 0.88 (значимый уровень детерминации при этом составлял 0.66).

Рассчитанное уравнение прогноза выглядит следующим образом:

$$Y = \text{Exp} (12.5502 - 3.4298*0.9551^{X1} - 14.2279*0.9472^{X2} - 2.3627 - 0.4104^{X3} - 0.1645*X4 \pm 0.3807) - 0.633$$

где:  $Y$  – фактическая плотность гусениц первого поколения, особей на  $m^2$ ;  $X1$  – Сумма осадков за третью декаду мая, мм.;  $X2$  – средняя температура третьей декады мая, град.;  $X3$  – отношение суммы осадков к средней температуре за вторую декаду июня, мм/град.;  $X4$  – средняя температура за вторую декаду мая, град.

С помощью этой модели можно прогнозировать тенденции изменения численности вредителя на обширных территориях с наименьшими затратами, однако этот прогноз будет лишь приблизительным, дающим представление только о средней численности на данной территории.

Для более точного прогноза проводят весенний уточняющий учет численности перезимовавших гусениц в растительных остатках. В случае, если требуется получение более точного прогноза, т.е. планируется проведение весеннего уточняющего учета, то трехфакторная регрессионная модель прогноза может быть представлена в виде оценки коэффициента увеличения плотности за период развития от перезимовавших гусениц до гусениц старших возрастов первого поколения ( $Y = L2/L5$  где  $L2$  – плотность гусениц первого поколения,  $L5$  – плотность перезимовавших гусениц).

Из проанализированных 2600 сочетаний по три фактора из 28 было получено 182 вариантов, математически пригодных для практического прогноза.

Наилучшее сочетание факторов позволяет осуществлять подобный прогноз на уровне 0.77 (значимый уровень детерминации при этом составлял 0.56). Предлагается регрессионное уравнение вида:

$$Y = 4.2845*\text{Exp}(1.18*0.8041^{X1} - 0.6473*0.9555^{X2} - 0.916*0.9604^{X3} \pm 0.2585) - 1.41$$

$$A = Y * X1 * K$$

где:  $Y$  – коэффициент изменения численности от перезимовавших гусениц до гусениц старших возрастов первого поколения.;  $A$  – предсказываемая плотность гусениц первого поколения, особей на  $m^2$ ;  $X1$  – плотность перезимовавших гусениц, особей на  $m^2$ ;  $X2$  – сумма осадков за третью декаду мая, мм.;  $X3$  – сумма осадков за вторую декаду мая, мм.;  $K$  – уточняющий коэффициент для посевов кукурузы с известным уровнем устойчивости (соответствующие значения приведены выше).

С помощью данной модели можно составлять более точный прогноз численности кукурузного мотылька, но по причине большей трудоемкости лишь для небольших территорий (хозяйство, севооборот).

Для практического применения пригодны обе модели прогноза. Для регионального уровня актуальнее модель, учитывающая лишь метеороло-

гическую информацию. С ее помощью прогнозируется средний уровень численности кукурузного мотылька на большой территории, оцениваются вероятности роста или спада численности вредителя. Для уровня хозяйства, модель прогноза учитывает метеорологическую информацию и информацию о плотности перезимовавших гусениц на участках, где кукурузу выращивали в предыдущем году. При прогнозе численности кукурузного мотылька на конкретном посеве наряду с другими факторами, влияющими на распределение кукурузного мотылька (Фролов и др., 1996), учитывают степень устойчивости гибридов кукурузы, выращиваемых в хозяйстве.

Основная проблема прогнозирования состоит в том, чтобы корректно экстраполировать зависимости, установленные для отдельных географических точек, на те области и регионы, в пределах которых эти зависимости реализовываются. В этой связи все больший интерес вызывает разработка методических принципов и подходов к описанию и анализу колебаний численности на обширных территориях. Возможность перехода от точечных данных к выводам о развитии на больших территориях дают геоинформационные технологии (ГИС).

Для выработки подхода к решению озвученной проблемы, была проанализирована многолетняя информация о развитии фитофага в Краснодарском крае, содержащаяся в ежегодных отчетах Краснодарской СТАЗР с 1958 г. К сожалению, использование массива данных за весь срок наблюдений не дало статистически корректных результатов из-за неполноты исходных материалов. Поэтому мы ограничились материалами 1975-1978 гг., т.к. за указанный отрезок времени для всех районов края были собраны данные о средней заселенности растений, которые были представлены даже в виде картограмм. По этим данным была составлена векторная карта заселенности полей кукурузы в Краснодарском крае за указанный период. Анализ связи осадков и заселенности посевов осуществляли лишь для той части края, на которой посевы кукурузы занимают не менее 5% от общей площади под пашней.

Для создания карт выпавших осадков за май (в сумме и подекадно) были использованы данные из агрометеорологических бюллетеней (таблиц ТСХА, хранящихся в архиве АГМО ВИР).

При включении в анализ оценок заселенности посевов и ранговых оценок количества выпавших осадков за май по всем районам Краснодарского края в рамках единого массива связи между показателями не обнаруживалось.

В этой связи был применен метод ступенчатого регрессионного анализа. По завершении операции кластеризации обнаружилось, что районы Краснодарского края образовали два массива (рис. 7). В пределах восточного кластера заселенность посевов кукурузы была тесно связана с количеством осадков, выпавших соответственно за первую, вторую, третью декады мая и за весь месяц ( $r = 0.62-0.77$ ).

В пределах западного кластера заселенность посевов кукурузы оказалась также тесно связанной с уровнем выпавших осадков, но лишь в первую декаду мая ( $r = 0.82$ ).

Восточная и западная части Краснодарского края существенно различаются коэффициентами регрессии заселенности посевов по выпавшим осадкам (рис. 8).

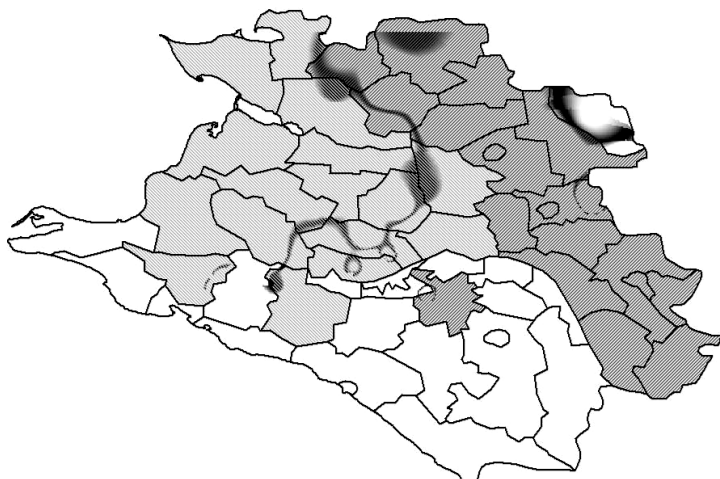


Рис. 7. Распределение среднееголетних значений сумм осадков за май в восточной и западной частях Краснодарского края

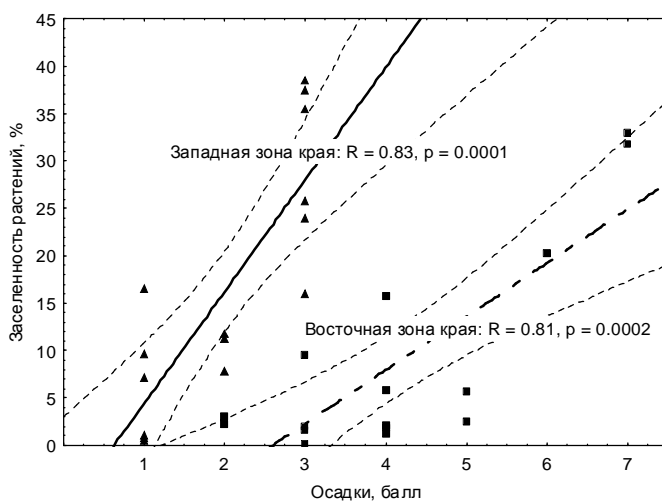


Рис. 8. Зависимость средней по району заселенности посевов кукурузы от количества осадков за первую декаду мая (1975–1978 гг.) в восточной и западной зонах Краснодарского края

Для развивающихся на двудольных кормовых растениях популяций кукурузного мотылька и близких форм рода *Ostrinia* в европейской части бывшего СССР описан внутривидовой полиморфизм по строению голеней средних ног самцов (Фролов, 1992). Частоты аллелей генов, кодирующих морфологию голеней, формируют в пространстве клины, соответствующие градиентам увлажненности. Любопытно, что постепенным изменением средних значений осадков за июнь соответствуют скачкообразные изменения частот аллелей; границы между зонами, в которых обитают популяции с разной генетической структурой, характеризуются постоянной локализацией в пространстве и довольно узки: скачки частот генов почти от 0 до 1 обнаруживаются на расстояниях 50-60 км (Фролов, 1994). Учитывая тесную связь осадков и структуры популяций стеблевых мотыльков на двудольных кормовых растениях, логично предположить, что обитающие в восточной и западной частях Краснодарского края популяции кукурузного мотылька на кукурузе также могут характеризоваться специфическими адаптациями к обитанию в условиях, отличающихся средними значениями майских осадков.

По всей видимости, в восточной части Краснодарского края динамика численности кукурузного мотылька будет детерминироваться зависимостями, выявленными для Гульткевичского района. Вполне вероятно, что разработанные модели будут корректно работать и на значительных территориях Ставропольского края и Ростовской области. Однако для западной части Краснодарского края прогностические модели размножения вредителя, очевидно, нуждаются в уточнении.

## ВЫВОДЫ

1) По результатам многолетних стационарных наблюдений составлены таблицы выживаемости кукурузного мотылька для Краснодарского края, позволяющие достоверно интерпретировать не менее 88% вариации плотности популяции вредителя.

2) Значительные (от 0.56 до 12.6 раз) изменения численности кукурузного мотылька происходят во время развития первой генерации. В этот период общая смертность за поколение не зависит от плотности яиц. Отрицательная зависимость смертности за поколение от плотности яиц обнаружена в период развития насекомых второй генерации.

3) Колебания численности кукурузного мотылька в основном определяются вариацией уровня гибели яиц и/или питающихся на растениях гусениц.

4) Выявлена тесная связь колебаний численности кукурузного мотылька от погодно-климатических факторов, таких как сумма осадков. Большое количество осадков в период лёта бабочек первого поколения и массовой откладки яиц оказывает стимулирующий эффект на численность вредителя, тогда как их дефицит не обязательно приводит к снижению его численности.



5) Показано, что паразиты яиц (*Trichogramma evanescens*) и гусениц (*Habrobracon hebetor*) — важный фактор динамики численности кукурузного мотылька на Северном Кавказе. Паразитические насекомые способны вызвать депрессию численности вредителя, длящуюся несколько поколений.

6) Гибель насекомых за поколение тесно связана со смертностью гусениц младших возрастов, которая варьирует в широких пределах (значения  $k$  варьируют от 0.22 до 1.11) и зависит от сортовых особенностей кукурузы.

7) Рассчитаны 2 регрессионных уравнения динамики численности кукурузного мотылька, пригодные для прогнозирования размножения вредителя на различных по площади территориях (район, хозяйство, поле).

8) С помощью геоинформационных технологий проведено районирование Краснодарского края по регрессионной зависимости заселенности кукурузы кукурузным мотыльком от осадков и выделена территория, в пределах которой точность разработанных прогностических моделей максимальна.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1) В целях повышения достоверности прогностических моделей рекомендуется осуществлять сбор исходных данных в рамках длительных стационарных наблюдений за численностью вредных объектов, нацеленных на составление таблиц выживаемости. Полученная в ходе таких работ информация позволяет проводить расчеты трех- и четырех факторных комплексов с минимальной статистической погрешностью.

2) При прогнозе размножения кукурузного мотылька в пределах восточной части Краснодарского края рекомендуется использовать разработанные регрессионные модели, описывающие воздействия погодноклиматических и биотических факторов на динамику численности вредителя. При уточнении моделей прогноза для других территорий Северного Кавказа рекомендуется использовать апробированный алгоритм, основанный на «симметризации» и «методе всех регрессий».

3) Рекомендуется применять геоинформационные технологии для пространственного моделирования динамики численности вредителей и картирования заселенных ими площадей, а также для выделения территорий, в пределах которых корректно работают прогностические модели.

## Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. **Серапионов Д.А.** Эффективность природной популяции трихограммы против кукурузного мотылька / Серапионов Д.А., Фролов А.Н. // Защита и карантин растений. - 2008. - № 2. - С. 63-64.

2. **Серапионов Д.А.** Заселенность кукурузы кукурузным мотыльком первого поколения и майские осадки в Краснодарском крае: картирование и анализ с помощью ГИС / Серапионов Д.А., Фролов А.Н. // Вестник защиты растений. - 2008. - № 2. - С. 34-37.

3. Фролов А.Н. Прогностическая модель динамики численности кукурузного мотылька для Кубани: успех первого этапа верификации / Фролов А.Н., **Серапионов Д.А.** // Фитосанитарное оздоровление экосистем: Материалы Второго Всерос. съезда по защите растений. СПб, 5-10 декабря 2005. - СПб, 2005. - Т. 1. - С. 112-114.

4. Фролов А.Н. Роль биотических факторов в многолетней динамике численности насекомых на примере лугового и кукурузного мотыльков / Фролов А.Н., Малыш Ю.М., Митрофанов В.Б., Токарев Ю.С., **Серапионов Д.А.**, Исси И.В. // Фитосанитарное оздоровление экосистем: Материалы Второго Всерос. съезда по защите растений. СПб, 5-10 декабря 2005. - СПб, 2005. - Т. 1. - С. 132-134.

5. **Серапионов Д.А.** Многолетняя динамика зараженности яиц кукурузного мотылька - *Ostrinia nubilalis* Hbn. природной популяцией *Trichogramma evanescens* Westw. в степной зоне Краснодарского края / Серапионов Д.А., Фролов А.Н. // Достижения энтомологии на службе агропромышленного комплекса, лесного хозяйства и медицины: Материалы 13 съезда РЭО. Краснодар, 9-15 сент. 2007 г. - Краснодар, 2007. - С. 195.

6. **Серапионов Д.А.** Полевая устойчивость кукурузы к стеблевому мотыльку в модели прогноза размножения вредителя / Серапионов Д.А., Фролов А.Н. // Информационные системы диагностики, мониторинга и прогноза важнейших сорных растений, вредителей и болезней сельскохозяйственных культур: Материалы междунар. конф. СПб – Пушкин, 12 - 16 мая 2008. - СПб, 2008. - С. 89-90.

7. Сергеев Г.Е. Методы итерационной линеаризации и корреляционной оптимизации в моделировании динамики численности насекомых / Сергеев Г.Е., **Серапионов Д.А.**, Фролов А.Н. // Информационные системы диагностики, мониторинга и прогноза важнейших сорных растений, вредителей и болезней сельскохозяйственных культур: Материалы междунар. конф. СПб – Пушкин, 12 - 16 мая 2008. - СПб, 2008. - С. 90-92.

