

УДК 632.913/914

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФИТОСАНИТАРНОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА

А.Н. Фролов

Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург

Достижения в области фундаментальных основ фитосанитарного мониторинга и прогноза за постперестроечный период связаны с глубоким изучением популяционной структуры вредных объектов, пониманием закономерностей динамики их численности, вычленением ведущих факторов с помощью методов многомерной статистики и использования ГИС-технологий. Несмотря на прогресс в методических подходах, существенно расширяющих возможности, повышающих точность и ускоряющих реализацию прогностических разработок (молекулярно-биологические методы, геоинформационные системы, Интернет и цифровые технологии), в области инструментальных технологических решений, обеспечивающих сбор информации для целей мониторинга и прогноза, наблюдается сильное отставание от мирового уровня.

Ключевые слова: фитосанитарный мониторинг и прогноз.

Фитосанитарный мониторинг и прогноз нацелены на сбор, анализ и передачу информации в целях своевременного принятия решений в сфере управления фитосанитарной ситуацией (Поляков, 1964). Современный (постперестроечный) этап защиты растений характеризуется развитием и совершенствованием фундаментальных основ и методологических принципов, созданием новых методических приемов и разработкой технологических решений, определяющих стратегию и тактику защиты растений. Достижения и проблемы в области научно-технического обеспечения фитосанитарного мониторинга и прогноза рассмотрены в основном на примере ВИЗР, как головного института в области защиты растений. В данной статье мало затрагиваются проблемы фитосанитарной диагностики, детально рассмотренные в коллективной монографии под редакцией И.Я.Гричанова (2009).

Эффективные технологические решения требуют выработки адекватных моделей, основанных на тщательном изучении поведения объекта (Буре, 2009). Создание моделей для прогноза массовых размножений вредных организмов осуществляется на основе всестороннего изучения популяционной структуры вредных объектов, многолетних наблюдений за динамикой их численности, вычленения ведущих факторов с помощью методов многомерной статистики, приме-

нения методов ГИС технологий.

Колебания численности, как характерная особенность популяционных систем, могут индуцироваться как ресурсами среды (температура, осадки, доступность и качество пищи, т.н. bottom-up effects), так и паразитами, хищниками и болезнями (т.н. top-down effects). Несмотря на долгий период изучения природы колебаний численности до сих пор остается дискуссионной (Liebhold, Tobin, 2008). Прогресс в понимании закономерностей динамики популяций достигается благодаря выполнению работ, направленных на строгое описание численности во времени и пространстве (Heino et al., 1997; Kendall et al., 1999; Liebhold, Kamata, 2000; Bjørnstad et al., 2002, 2008; Raimondo et al., 2004; Liebhold et al., 2004; Naukioja, 2005; Esper et al., 2007). Особенно ценны многолетние исследования, поскольку особенности популяционной экологии вида становятся очевидными обычно лишь спустя 20 и более лет после сбора данных; особое доверие вызывают работы, базирующиеся на 40-60-летних сериях (Ylloja et al., 1999; Williams, Liebhold, 2000; Price, Hunter, 2005; Büntgen, 2009). При этом, центральной проблемой популяционной экологии остается вопрос о соотношении вклада регулирующих (зависимых от плотности) и модифицирующих (независимых от плотности) факторов в динамику численности (Schowalter, 2006).

Агроценозы обычно рассматриваются как искусственные, неустойчивые системы, способные существовать лишь благодаря хозяйственной деятельности человека. В отличие от естественных экосистем, в агроценозах ослаблены механизмы саморегуляции, что было показано классическими работами 1950-х годов, посвященными анализу изменений структуры энтомологических комплексов, произошедших после освоения целинных и залежных земель (Григорьева, 1960; Бей-Биенко, 1961). Однако долгосрочные наблюдения за фитосанитарной ситуацией в агроценозах обнаружили, что последним в той или иной степени свойственна способность к саморегуляции, то есть к стабилизации динамического равновесия элементов, относящихся к разным трофическим группам (Танский, 2006). Анализ экологических последствий резкого сокращения объемов химических обработок, произошедшего со второй половины 1990-х годов в СССР, подтвердил вывод о весомости вклада саморегуляции в функционирование агроценозов (Сумароков, 2009).

На протяжении последних десятилетий в ВИЗР динамику численности вредителей изучали путем составления и анализа таблиц выживаемости с разбиением на интервалы по стадиям развития (stage-dependent или current life tables) (Morris, 1957; Varley, Gradwell, 1970; Haggai, Rogers, 1975; Royama, 1996; Sharov, 1996) в рамках проектов, поддержанных РФФИ (№ 94-04-11328, 97-04-48015, 00-04-48010, 03-04-49269, 06-04-48265 и 09-04-00619). Составление таблиц выживаемости, хотя и требует немалых затрат времени и труда (Фролов, Мальш, 2004), позволяет получать достаточно объективную информацию о воздействии экологических факторов на численность природных популяций (Викторов, 1968). В качестве модельных объектов были выбраны луговой мотылек, хлопковая совка, кукурузный мотылек и колорадский жук, то есть опасные и особо опасные вредные виды, существенно различающиеся по своим экологическим параметрам. При изучении роли микро-

биологических агентов в динамике численности их хозяев применяли анализ гистологических мазков, световую микроскопию, в т.ч. флуоресцентную, адаптированную применительно к патогенным микроорганизмам насекомых (Токарев и др., 2004).

В целях более точной диагностики патогенов применяли молекулярно-биологические подходы (ПЦР). При создании пространственных моделей динамики численности использовали современные ГИС-технологии на базе программных продуктов MapInfo и Idrisi32. Статистический анализ осуществляли с использованием кросс-корреляций, автокорреляций, серийного анализа, метода "всех регрессий" и "симметризации" (Sharov, 1996; Сергеев и др., 2008).

Луговой мотылек *Pyrausta sticticalis* L. - широкий полифаг, повреждающий более 200 видов растений из 40 семейств. Среди них, однако, выделяются лишь несколько видов, питание которыми обеспечивает максимальный репродуктивный потенциал насекомого, причем ни одно культурное растение в этот список не попадает (Трибель, 1989). Несмотря на статус особо опасного вредителя луговой мотылек, строго говоря, не является облигатным вредителем, поскольку ущерб культурным растениям наносит только в периоды всплеск массового размножения, а в длительные периоды депрессий на посевах сельскохозяйственных культур практически не встречается, за исключением спорадических очагов (Кнор, 1993). На луговом мотыльке отмечен широкий круг паразитов, хищников и патогенных микроорганизмов, насчитывающий до 200 видов (Дядечко и др., 1976), причем во время массового размножения естественные враги способны снижать численность пронимф на 60%, яиц на 50%, гусениц на 80% (Алехин, 2002). Наши наблюдения в Краснодарском крае показали, что динамика численности вредителя в период депрессии контролируется такими патогенными микроорганизмами, как микроспоридии и бакуловирусы (Мальш, 2006; Фролов и др., 2008).

Хлопковая совка *Helicoverpa armigera* Hbn. - многоядный фитофаг, список кормовых растений которого насчитывает более 120 видов (Поспелов, 1989; Zalucki et al., 1986, 1994; Fitt, 1989). В отличие от лугового мотылька хлопковая совка способна в больших количествах размножаться на культурных растениях. Сезонные данные свидетельствуют, что сезонная динамика ее численности в Краснодарском крае зависит от обеспеченности третьего поколения тепловыми и кормовыми ресурсами и регулируется зависимой от плотности смертностью от паразита *Hyposoter didymator* ($R = 0.87$, $p < 0.05$) и в меньшей степени - вирусных заболеваний (Фефелова, 2007).

Кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* Hbn. обычно рассматривают в качестве широкого полифага, способного повреждать 200 и более видов растений (Hodgson, 1928). Однако основным растением-хозяином этого евроазиатского вида служит кукуруза, завезенная из Америки около 500 лет назад, адаптация к обитанию на которой сопровождалась возникновением специализированной биологической расы (Frolov et al., 2007). Еще не так давно полагали, что динамика численности кукурузного мотылька почти исключительно детерминирована независимыми от плотности факторами (Поляков и др., 1985). Многолетние наблюдения в Краснодарском крае подтвердили, что изменения плотности вредителя тесно связаны с колебаниями погоднo-климатических факторов: смертность за поколение и индекс размножения коррелируют с количеством осадков за первую декаду июня ($r = -0.81$ и $r = 0.87$ соответственно). При этом повышенное количество осадков в период лета имаго первого поколения обычно оказывает стимулирующий эффект на численность насекомого, однако их дефицит к снижению численности приводит не всегда. С другой стороны, такие биотические факторы, как браконид *Nabrobracon hebetor* Say и трихограмма *Trichogramma evanescens* Westw., способны очень сильно снижать численность популяции,

вплоть до депрессии, длящейся 2-3 поколения. В местах же относительно недавнего обитания кукурузного мотылька на кукурузе (Белгородская область) численность фитофага не обнаруживает периодических колебаний во времени (Чумаков, Фролов, 2000). Поскольку смертность фитофага от паразитов здесь невысока, такая ситуация вполне объяснима (Фролов, 2004, 2006).

Колорадский жук *Leptinotarsa decemlineata* Say занимает особое положение среди вредителей по масштабам расселения и охвату освоенных им территорий (Вилкова и др., 2001). Его отличает высокая плодовитость, способность длительное время голодать, многообразие состояний физиологического покоя, экологическая пластичность, отпугивающая хищников апосематическая окраска тела, предупреждающая хищника о содержащихся в гемолимфе токсинах. На Северный Кавказ вредитель проник в 1968-1974 гг. (Ушатинская, 1981). Если в местах исконного обитания колорадского жука и близких к нему видов (в Центральной и Южной Америке) отмечается большое разнообразие и обилие энтомофагов, сдерживающих размножение насекомого (Logan et al., 1987; Cappaert et al., 1991; Sañas et al., 2002; O'Neil et al., 2005), то на Кавказе в конце 1970-х - начале 1980-х годов, то есть почти сразу же после проникновения туда вредителя, гибель вредителя от местных энтомофагов оказалась минимальной (Налбандян, 1984; Макеев, 1987). Согласно информации Краснодарского филиала Россельхозцентра численность колорадского жука на посадках картофеля поддерживается на высоком уровне из года в год, и наши наблюдения свидетельствуют, что сколько-нибудь существенного нарастания смертности жука на картофеле от местных энтомофагов за более чем 25-летний период в этом регионе так и не произошло (Новохацкая и др., 2007). Очевидно, что процесс адаптации их к вредителю сдерживается интенсивным применением химических средств защиты растений.

Полученные на модельных объектах материалы свидетельствуют, что периодичность колебаний численности вредителей в общем случае является результатом сложных взаимодействий модифицирующих и регулирующих факторов. Подъемы численности в очередных циклах чаще обуславливаются эффектами модифицирующих факторов, а спады чаще детерминируются регулируемыми факторами - энтомофагами и энтомопатогенными микроорганизмами. При этом регулирующие факторы смертности, по всей видимости, играют определяющую роль в регулярности колебаний численности у насекомых-фитофагов.

В качестве объяснения причин, способствующих переходу насекомых-фитофагов в агроценозы, предложена модель "свободного от естественных врагов пространства" (Price et al., 1980; Jeffries, Lawton, 1984; Denno et al., 1990; Gratton, Welter, 1999; Chen, Welter, 2007). Работоспособность модели косвенно подтверждена многочисленными данными, в т.ч. материалами, полученными в отношении кукурузного мотылька (Pélissié et al., 2009). Несомненно, точность прогностических моделей динамики численности вредных видов в большинстве случаев оказывается много выше, если они учитывают эффекты зависимых от плотности, действующих с запаздыванием регулирующих эффектов естественных врагов и патогенных микроорганизмов. В качестве примера можно привести уточненную модель прогноза кукурузного мотылька для Краснодарского края (Фролов, 2006).

Среди новых методических подходов, существенно расширяющих возможности и точность прогностических разработок, прежде всего, отметим молекулярно-биологические методы, геоинформационные системы (ГИС) и Интернет-технологии.

Молекулярно-биологические методы, основанные на амплификации, клонировании и секвенировании консервативных и переменных участков генома революционизировали современную биологию (Twyman, 1998; McPherson, Møller, 2006).

В основе этих методов лежит использование полимеразной цепной реакции (ПЦР), основанной на комплементарном достраивании ДНК матрицы. Благодаря ПЦР достигается экспоненциальное увеличение числа копий (амплификация) определенных участков ДНК, что позволяет визуализировать даже единичные искомые последовательности нуклеотидов. Так, диагностика инфекционных заболеваний, например, вирусных и микроспоридиозных, традиционными методами не всегда дает ясные результаты, тогда как методы молекулярно-биологического анализа на основе амплификации и секвенирования ДНК отличает быстрота и высокая точность; чувствительность ПЦР-диагностики настолько высока, что позволяет получить положительную реакцию даже при экстракции ДНК из одного вириона (Токарев и др., 2009, 2009а).

Одна из основных проблем прогнозирования состоит в том, чтобы корректно экстраполировать зависимости, установленные для отдельных географических пунктов, на те области, в пределах которых установленные зависимости будут реализоваться. В этой связи все больший интерес вызывает применение ГИС, позволяющих совмещать общепринятые операции с базами данных, пространственный анализ и полноценную визуализацию (De By, 2001; Verbyla, 2002). Геоинформационные технологии широко проникают в самые разные области человеческой деятельности, включая сельское хозяйство (Pierce, Clay, 2007).

В качестве примера использования ГИС для целей прогноза приведем моделирование зависимости колебаний численности кукурузного мотылька от осадков, выпадающих в Краснодарском крае за май (Серрапионов, Фролов, 2008). Для решения этой задачи была проанализирована многолетняя информация о динамике численности кукурузного мотылька, содержащаяся в ежегодных отчетах Краснодарского филиала Россельхозцентра; для создания карт выпавших осадков за май использовали данные из агрометеорологических бюллетеней (таблиц ТСХА, хранящихся в архиве АГМО

ВИР). Векторные слои карты были получены из растровых карт с помощью MapInfo v. 8 путем реклассификации. С использованием операции кластеризации обнаружили, что районы Краснодарского края разделились на два массива (кластера). 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 ($r = 0.62-0.77$), а в пределах западного кластера заселенность посевов кукурузы оказалась также тесно связанной с уровнем выпавших осадков, но лишь за первую декаду мая ($r = 0.82$).

С использованием ГИС-технологий был создан "Агроэкологический Атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения" (Афонин и др., 2008). Над этим уникальным проектом работал в течение ряда лет (2003-2009 гг.) большой коллектив специалистов Санкт-Петербургского госуниверситета, Всероссийского НИИ защиты растений и Всероссийского НИИ растениеводства в тесном сотрудничестве с ARS USDA (партнерский проект, поддержанный U.S.-FSU Scientific Cooperative Program, финансирование осуществлялось Международным научно-техническим центром (ISTC), грант № 2625р). Атлас представляет собой ценный источник информации для специалистов сельского хозяйства, студентов, преподавателей ВУЗов, научных работников. На сегодняшний день он включает 100 карт культурных растений, 540 - диких сорочичей культурных растений, 640 - вредных объектов, а также связанные с ними метеоданные, биологические описания, фотографии, оболочку ГИС. Агроатлас опубликован в двух версиях: на сайте <http://www.agroatlas.ru/> и на CD ROM и являет собой всеобъемлющую сводку: мировые аналоги подобного масштаба нам неизвестны. Посещаемость сайта Агроатласа является рекордной для ресурса научной направленности: к началу 2009 г. она достигла 1000 человек в день и продолжает расти. Больше всего посе-

тителей (около 46%) приходит из России, за ними в порядке убывания следуют посетители из Украины, США и Казахстана.

Насущная задача Интернета - формирование научно-образовательных информационных ресурсов: еще несколько лет назад их дефицит ощущался весьма остро (Садовничий и др., 1999; Конференция "Интернет и наука: 15 лет пути", 2005). Однако за последние несколько лет прогресс в развитии естественно-научных веб-ресурсов значительно усилился, в т.ч. и в области защиты растений. За последние несколько лет ВИЗР создан ряд веб-ресурсов, в той или иной мере характеризующих фитосанитарную ситуацию России, а именно: <http://grichanov.fortunecity.com/>; <http://plantprotection.narod.ru/>; <http://agriento.narod.ru/>; <http://lunevan.narod.ru/>; <http://user.rol.ru/~mif/index.files/index-ru.html>; <http://alternaria.ru/>

Так, созданный в 2005 г. сайт "Насекомые в агроценозах" (<http://agriento.narod.ru/>) нацелен на освещение работ ВИЗР в области изучения динамики численности вредных членистоногих. Наибольшей популярностью на сайте пользуются электронные копии публикаций (файлы форматов pdf и djvu), а также оригинальные фотографии вредителей, их энтомофагов, мест обитания, наносимых растениям повреждений. Оригинальный информационно-справочный Интернет-проект, посвященный грибам рода *Alternaria* (<http://alternaria.ru/>), содержит рекомендации по идентификации видов рода *Alternaria*, описания морфологии наиболее распространенных в России видов, фотографии конидий и чистых культур, pdf-версии статей из научных журналов и ссылки на полезные web-ресурсы. На сайте лаборатории гербологии ВИЗР (<http://lunevan.narod.ru/>) размещается картографический материал, описания и изображения многих видов вредоносных сорняков, полнотекстовые публикации (в формате pdf).

Серьезные статьи, посвященные осо-

бенностям экологии вредителей, болезней и сорных растений, а также мерам борьбы с ними, публикуются на многих сайтах профильных научно-исследовательских учреждений. Так, например, на сайте НПО "КОС-МАИС" (<http://kosmais.narod.ru>) размещены материалы, посвященные западному кукурузному корнево му жуку *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte - опасному вредителю кукурузы, проникшему в Европу из Северной Америки в конце 20 века. Помимо краткого описания биологии и жизненного цикла, изображений имаго и поврежденных растений, на сайте выложены карты расселения насекомого по странам Европы за последние годы (<http://kosmais.narod.ru/diabrotica.html>).

Для получения объективной и всесторонней информации о прогнозируемых объектах необходимо применение современных технологий сбора и учета вредных объектов. Современная служба прогнозов защиты растений все в большей степени нуждается в инструментальном оснащении.

Автоматические метеостанции (АМС), которые наряду с температурой, влажностью, осадками и прочей метеорологической информацией имеют встроенные программы фитосанитарного прогноза по многим вредным объектам, стали обязательным элементом современного высококоразвитого растениеводства. Преимуществами АМС перед штатными метеостанциями являются более полный и разнообразный учет местных погодных условий и оперативность получения итоговой информации специалистами хозяйства.

В ВИЗР накоплен большой опыт применения АМС для сигнализации и прогноза многих видов болезней и вредителей, особенно вредителей сада (Гричанов, 1995). В частности, метеостанции KMS-P фирмы Anton Paar (Австрия) много лет демонстрировали высокую эффективность при сигнализации сроков борьбы с основными вредителями и болезнями, как на Северном Кавказе, так и на Северо-Западе России, однако к настоящему

времени эти устройства выработали физический ресурс и морально устарели. Современные метеостанции значительно дешевле, еще более просты в обслуживании, а передача данных осуществляется по беспроводным технологиям с использованием сетей GSM. Ныне пользователь даже избавлен от необходимости находиться рядом со станцией: все данные можно вывести через устройство, имеющее доступ в Интернет.

Для мониторинга вредных организмов используют устройства различной степени сложности, конструкция которых в решающей степени определяется экологическими и поведенческими особенностями этих объектов.

Например, характерной биологической особенностью тлей является их способность к пассивному расселению; данное обстоятельство положено в основу метода мониторинга их численности путем отбора проб из воздуха. В Европе и Америке уже несколько десятилетий используются для целей мониторинга тлей всасывающие ловушки, осуществляющие захват и фильтрацию воздушной массы. Конструкция ловушки была разработана в 1964 г. на Ротамстедской опытной станции (Англия), она приводится в действие электродвигателем и имеет стандартную высоту 12.2 м. В 2002 г. первая и пока единственная всасывающая ловушка появилась и в России - она установлена на опытном поле ВИЗР и обслуживает европейскую систему мониторинга, объединяющую более 70 ловушек, размещенных в 19 странах (Harrington et al., 2004). Подобного рода сети развернуты и на других континентах (Teulon, Scott, 2006; Rhainds et al., 2010).

Роль световых ловушек для мониторинга целого ряда вредных насекомых трудно переоценить (Горностаев, 1984); они широко используются, в т.ч. в комбинации с пищевыми или половыми аттрактантами (например, Cantelo, Jacobson, 1979). В СССР в 1970-е годы серийно выпускалась коническая экранированная ловушка пенсильванского типа под маркой "ЭСЛУ-3" (Андреев и др., 1976). Кое-где и поныне эти ловушки

продолжают использоваться, однако свой ресурс они уже давно выработали.

Высокую эффективность световые ловушки демонстрируют, например, при мониторинге такого особо опасного вредителя, как луговой мотылек. В периоды депрессий плотность имаго может снижаться до такой степени, что иногда вредитель вообще не обнаруживается как вид. Зато во время вспышек размножения порхающие в воздухе бабочки подобны снежной метели (отсюда одно из народных названий вредителя - "метелица"), а переползающие через рельсы гусеницы способны остановить поезд.

В 2008 г. в Российской Федерации началась очередная вспышка размножения лугового мотылька, прежде всего отмеченная в Забайкальском крае, где превышающую экономический порог вредности плотность гусениц обнаружива-

ли на 80% заселенных площадей (рис. 1). Высказывалось предположение, что источником массового размножения послужила залетевшая из-за рубежа (предположительно, Монголии или Китая) популяция вредителя. В 2009 г. заселенная вредителем площадь продолжала нарастать, в одной лишь Амурской области она превысила 400 тыс. га. Луговой мотылек в больших количествах обнаруживался также в Бурятии, Красноярском и Алтайском краях, Иркутской, Новосибирской, Кемеровской, Омской и Томской областях, Хакасии, отмечено его появление даже на Сахалине. К счастью, из-за неблагоприятных для развития погодных условий, сложившихся в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, свой потенциал в полной мере вредитель реализовать не смог (Фролов и др., 2010).



Рис. 1. Массовое размножение лугового мотылька в Забайкальском крае в 2008 г. (фотографии специалистов Забайкальского филиала Россельхозцентра)

Многолетний, долгосрочный и краткосрочный прогноз лугового мотылька весьма неплохо отработаны, но они действительны лишь в отношении местных популяций вредителя (Трибель, 1989; Алевин, 2002). В частности, основываясь на 11-летних циклах активности солнца (числах Вольфа), удается с ошибкой в один-два года прогнозировать начало и охарактеризовать ожидаемый масштаб массового размножения вредителя (Фролов и др., 2009). Учет состояния вредителя во время критических периодов позволяет прогнозировать ожидаемую фазу динамики численности в региональном аспекте (Макарова, Доронина, 1980), а подсчет сумм температур и фенологические индикаторы вносят необходимые

коррективы в краткосрочное прогнозирование вредителя (Алевин, 2002). Однако, луговой мотылек - крайне мобильный вид, и его прогноз существенно осложняется из-за способности вредителя к дальним миграциям (Мельниченко, 1936; Пятницкий, 1936).

Причины и метеорологические условия, вызывающие начало перелетов лугового мотылька и их завершение, детально освещены в монографии Л.А.Макаровой и Г.М.Дорониной (1994). Конкретные траектории перелетов, высоту, скорость, дальность, а также объем переносимой воздушными потоками биомассы насекомых можно оценить с помощью методов радиолокации или дистанционного мониторинга со спутников

(Макарова, Доронина, 1994). К сожалению, в нашей стране эти разработки так и не были реализованы на практике.

В КНР с 1949 г. было зарегистрировано три вспышки массового размножения лугового мотылька (1953-1959, 1978-1984 и 1996-наши дни). Прогноз размножения местных популяций вредителя первой и второй генераций основывается на тра-

диционной технологии учета имаго перезимовавшего и первого поколений при точности, оцениваемой в 80% (рис. 2) (здесь и далее приводятся фотографии, любезно предоставленные сотрудниками Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing: Dengfa Cheng, Yunhui Zhang, Xingfu Jiang, Lizhi Luo, Shaozhe Huang).



Рис. 2. Учеты численности лугового мотылька в КНР (слева) радар-трансивер и система обработки сигнала (слева), используемый для мониторинга миграций насекомых в КНР

Мониторинг миграций лугового мотылька нацелен на прогноз направления перемещения насекомых, их массы, высоты и скорости переноса, ожидаемых мест приземления (напр., Chen et al., 1999; Feng et al., 2004; Chen Xiao et al., 2008). Основой системы мониторинга перемещений вредителя являются радары

(рис. 2), регистрирующие показатели миграций в реальном времени.

Видовой состав мигрирующих насекомых уточняется по результатам отловов ловушками, в т.ч. световыми ультрафиолетовыми наземного базирования (стандартными и с вертикальным направлением света), а также аэростатами (рис. 3).



Рис. 3. Оборудование, используемое для диагностики видовой состава мигрирующих насекомых (светоловушки наземного базирования и аэростаты).

Локальные метеорологические станции предоставляют необходимую информацию о скорости ветра и его направлении, а оперативная метеорологическая информация о распределении атмосферного давления, поступающая из Нацио-

нальных Центров Прогноза и Исследований Атмосферы (National Center for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research), позволяет прогнозировать места приземления мигрирующих имаго. Для трассировки

миграционных потоков используется программа HYSPLIT (Hybrid Single Particle Langrangian Integrated Trajectory Model) от Air Resources Lab. (США). К сожалению, опыт, накопленный в КНР по отслеживанию миграций лугового мотылька, не может быть с легкостью перенесен в Россию по ряду причин, в частности, из-за неразвитости отечественной сети метеостанций.

Достижения в области фундаментальных исследований популяционной биологии вредных организмов, новые технологические решения в области молекулярной биологии и ГИС способны существенно повысить достоверность и точность

фитосанитарного мониторинга и прогноза. Наибольшие успехи в этой сфере достигаются в тех направлениях, которые не требуют серьезной государственной поддержки, например, в области цифровых и Интернет-технологий.

Гораздо хуже обстоит дело с такими технологическими решениями, которые требуют серьезного государственного подкрепления, как в организационном плане, так и финансовом. Нынешняя оснащенность службы фитосанитарного мониторинга и прогноза техническими средствами (автоматические метеостанции, светоловушки и др.) совершенно неудовлетворительна.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-04-00619).

Литература

Алексин В.Т. Луговой мотылек // Защита и карантин растений, 2002, 6, Приложение, с. 50-71.

Андреев С.В., Мартенс Б.К., Молчанова В.А. Биофизические методы в защите растений от вредителей и болезней. Л., Колос, 1976, 168 с.

Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н. Агроэкологический Атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения (Интернет-версия 2.0). 2008. <http://www.agroatlas.ru>.

Бей-Биенко Г.Я. О некоторых закономерностях изменения фауны беспозвоночных при освоении целинной степи // Энтомол. обозр., 1961, 40, 4, с. 763-775.

Буре В.М. Методология и программно-математический инструментальный информационного обеспечения точного земледелия // Автореф. докт. дисс. СПб, АФИ, 2009, 49 с.

Викторов Г.А. Проблемы динамики численности насекомых на примере вредной черепашки. М., Наука, 1967, 271 с.

Вилкова Н.А., Фасулати С.Р., Коваль А.Г. Биоэкологические факторы экспансии колорадского жука // Защита и карантин растений, 2001, 1, с. 19-23.

Григорьева Т.Г. О некоторых общих закономерностях формирования агробиоценозов и о принципах защиты растений на целинных землях // Журн. общ. биол., 1960, 21, 6, с. 411-418.

Горностаев Г.Н. Введение в этологию насекомых-фотоксенов (лет насекомых на искусственные источники света) // Этология насекомых (Тр. ВЭО, 66). Л., Наука, 1984, с. 101-167.

Гричанов И.Я. Автоматизированный прогноз в защите плодового сада от вредителей // Защита растений, 1995, 7, с. 30.

Гричанов И.Я. /ред. Высокопроизводительные и высокоточные технологии и методы фитосанитарного мониторинга. СПб, ВИЗР, 2009, 86 с.

Дядечко Н.П., Цыбульская Г.Н., Чижик Р.И., Венгер В.М. Биологические агенты, снижающие численность лугового мотылька // Защита растений, 1976, 7, с. 43-44.

Кнор И.Б. Луговой мотылек (*Loxostege sticticalis* L.) в южной Сибири и северном Казахстане и меры борьбы с ним. Автореф. докт. дисс. Новосибирск: Новосибирский агроуниверситет, 1993, 42 с.

Конференция "Интернет и наука: 15 лет пути". Материалы, 2005. <http://www.fid.ru/actions/conf/>

Макарова Л.А., Доронина Г.М. Логическая модель прогноза фаз динамики популяций лугового мотылька // Эколого-физиологические предпосылки современной системы борьбы с луговым мотыльком. Л., ВИЗР, 1980, с. 42-68.

Макарова Л.А., Доронина Г.М. Синоптический метод прогноза дальних миграций вредных насекомых. СПб, Гидрометеиздат, 1994, 199 с.

Макеев Г.И. Эколого-экономическая математическая модель популяции колорадского жука // Применение новых химических и микробиологических препаратов в борьбе с карантинными болезнями, вредителями и сорными растениями. М., 1987.

Мальш Ю.М. Особенности биологии лугового мотылька в период его низкой численности на Западном Кавказе // Автореф. канд. дисс. СПб, ВИЗР, 2006, 19 с.

Мельниченко А.Н. Закономерности массовых перелетов лугового мотылька и проблема построения прогноза его залетов // Л., ВИЗР (Тр. по защ. раст.), 1936, 1, 17, 55 с.

Налбандян А.В. Закономерности динамики численности колорадского жука и рациональные приемы борьбы с ним в условиях северо-восточной зоны Армянской ССР // Автореф. канд. дисс. Ереван, 1984. 24 с.

Новохацкая Л.Л., Калинин В.М., Фролов А.Н. Факторы смертности колорадского жука в Краснодарском крае. // Сб. докл. 10 Межд. конгр. молодых

ученых, студентов и аспирантов. "Перспектива-2007", Нальчик, Кабардино-Балкарский ГУ, 2007, 4, с. 48-50.

Поляков, И.Я. Прогноз распространения вредителей сельскохозяйственных культур. М., Колос, 1964, 326 с.

Поляков И.Я., Макарова Л.А., Доронина Г.М. Методические рекомендации по разработке прогнозов динамики популяций вредителей и планированию объемов защитных мероприятий на основе агроклиматических предикторов. Л., ВИЗР, 1985, 51 с.

Поспелов С.М. Совки - вредители сельскохозяйственных культур. М., Агропромиздат, 1989, с. 87-92.

Пятницкий Г.К. К вопросам экологии и теории массовых размножений лугового мотылька. Л., ЦУЕГМС, 1936, 111 с.

Садовничий В.А., Васенин В.А., Мокроусов А.А., Тутубалин А.В. Российский Интернет в цифрах и фактах. М., Изд-во МГУ, 1999, 148 с.

Серационов Д.А., Фролов А.Н. Заселенность кукурузы кукурузным мотыльком первого поколения и майские осадки в Краснодарском крае: картирование и анализ с помощью ГИС // Вестник защиты растений, 2008, 2, с. 34-37.

Сергеев Г.Е., Серационов Д.А., Фролов А.Н. Методы итерационной линеаризации и корреляционной оптимизации в моделировании динамики численности насекомых // 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.

Сумароков А.М. Восстановление биотического потенциала биогеоценозов при уменьшении пестицидных нагрузок. Донецк: УААН, 2009. 193 с.

Танский В.И. Влияние саморегуляции агроэкосистем полевых культур на эффективность агротехнических мер защиты растений // Вестник защиты растений, 2006, 1, с. 21-32.

Токарев Ю.С., Владимиров К.В., Аль-Шехадат Р.И. Применение флюоресцентной микроскопии для диагностики энтомопатогенных протистов // РЭТ-Инфо, 2004, 1 (49), с. 54.

Токарев Ю.С., Дубровина А.Г., Малыш Ю.М., Митрофанов В.Б., Фролов А.Н. Метод диагностики вируса ядерного полиэдроза кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* Hbn. на основе ПЦР // Высокопроизводительные и высокоточные технологии и методы фитосанитарного мониторинга. СПб, ВИЗР, 2009, с. 24-27.

Токарев Ю.С., Малыш Ю.М., Фролов А.Н. Современные методы диагностики микроспоридий насекомых на примере лугового мотылька *Pyrausta (=Loxostege) sticticalis* L. // Высокопроизводительные и высокоточные технологии и методы фитосанитарного мониторинга. СПб, ВИЗР, 2009а, с. 20-23.

Трибель С.А. Луговой мотылек. М., Агропромиздат, 1989. 64 с.

Ушатинская Р.С. Колорадский картофельный жук, *Leptinotarsa decemlineata* Say. Филогения, морфология, физиология, экология, адаптация, естественные враги. М., Наука, 1981, 377 с.

Фефелова Ю.А. Факторы сезонной динамики численности хлопковой совки на Северо-Западном Кавказе в период низкой численности. Автореф.

канд. дисс. СПб, ВИЗР, 2007, 19 с.

Фролов А.Н. Биотические факторы депрессии кукурузного мотылька // Вестник защиты растений. 2004, 1, с. 37-47.

Фролов А. Н. Динамика численности кукурузного мотылька и ее прогноз // Бюлл. МОИП, отд. биол. 2006, 111, 1, с. 10-14.

Фролов А.Н., Луо Личжи, Малыш Ю.М., Хуан Шаоже, Токарев Ю.С., Дзян Шиньфу. К вопросу о периодичности массовых размножений лугового мотылька (*Pyrausta sticticalis* L.) // Тр. Ставропольск. отд. РЭО, 5. // Мат. 2 Межд. научно-практич. интернет-конф. "Актуальные вопросы энтомологии" (Ставрополь, 1 марта 2009 г.). Ставрополь, Аргус, 2009, с. 242-248.

Фролов А.Н., Малыш Ю.М. Плотность размещения и смертность яиц и гусениц младших возрастов кукурузного мотылька на растениях кукурузы // Вестник защиты растений, 2004, 1, с. 42-55.

Фролов А.Н., Малыш Ю.М., Токарев Ю.С. Особенности биологии и прогнозирования динамики численности лугового мотылька *Pyrausta sticticalis* L. (Lepidoptera, Pyraustidae) в период низкой его численности в Краснодарском крае // Энтотомол. обозр., 2008, 87, 2, с. 291-302.

Фролов А.Н., Саулич М.И., Малыш Ю.М., Токарев Ю.С. Луговой мотылек: цикличность многолетней динамики численности // Защита и карантин растений, 2010, 2, с. 49-54.

Чумаков М.А., Фролов А.Н. Факторы динамики численности кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* (Hbn.) (Lepidoptera, Pyralidae) в Центрально-Черноземной зоне России // Энтотомол. обозр., 2000, 79, 3, с. 543-549.

Bjørnstad O.N., Liebhold A.M., Johnson D.M. Transient synchronization following invasion: revisiting Moran's model and a case study // *Popul. Ecol.*, 2008, 50, p. 379-389.

Bjørnstad O.N., Peltonen M., Liebhold A.M., Baltensweiler W. Waves of larch budmoth outbreaks in the European Alps // *Science*, 2002, 298, 5595, p. 1020-1023.

Büntgen U., Frank D., Liebhold A., Johnson D., Carrer M., Urbinati C., Grabner M., Nicolussi K., Levanić T., Esper J. Three centuries of insect outbreaks across the European Alps // *New Phytologist*, 2009, 182, 4, p. 929-941.

Cañas L.A., O'Neil R.J., Gibb T.J. Population ecology of *Leptinotarsa decemlineata* Stål (Coleoptera: Chrysomelidae): population dynamics, mortality factors, and potential natural enemies for biological control of the Colorado potato beetle *Biol. Control*, 2002, 24, 1, p. 50-64.

Cantelo W.W., Jacobson M. Phenylacetaldehyde attracts moths to bladder flower and to blacklight traps // *Environ. Entomol.* 8, 3, 1979, p. 444-447.

Cappaert D.L., Drummond F.A., Logan P.A. Population dynamics of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on a native host in Mexico // *Environ. Entomol.*, 1991, 20, 6, p. 1549-1555.

Chen R.L., Bao X.Z., Wang S.Y. An observation on the migration of meadow moth by radar // *Acta Phytophyl. Sin.*, 1999, 19, 2, p. 171-174.

Chen Xiao, Zhai Baoping, Gong Ruijie, Yin Minghao, Zhang You, Zhao Kuijun. Source area of spring population of meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae), in Northeast China // *Acta Ecol. Sin.*, 2008, 28, 4,

p. 1521-1535.

Chen Y.H., Welter S.C. Crop domestication creates a refuge from parasitism for a native moth // *J. Appl. Ecol.*, 2007, 44, 1, p. 138-245.

De By R.A., ed. Principles of geographic information systems. An introductory textbook. Enschede, Netherlands: ITC, 2001, 490 p.

Denno R.F., Larsson S., Olmstead K.L. Role of enemy-free space and plant quality in host-plant selection by willow beetles // *Ecology*, 1990, 71, 1, p. 134-137.

Esper J., Buntgen U., Frank D.C., Nievergelt D., Liebhold A. 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. // *Proc. Royal Soc. B.*, 2007, 274, 1610, p. 671-679.

Feng H.Q., Wu K.M., Cheng D.F., Guo Y.Y. Spring migration and summer dispersal of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and other insects observed with radar in northern China // *Environ. Entomol.*, 2004, 33, 5, p. 1253-1265.

Fitt G.P. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems // *Annu. Rev. Entomol.*, 1989, 34, p. 17-53.

Frolov A.N., Bourguet D., Ponsard S. Reconsidering the taxonomy of several *Ostrinia* species in the light of reproductive isolation: a tale for Ernst Mayr // *Biol. J. Linn. Soc.*, 2007, 91, 1, p. 49-72.

Gratton C., Welter S. Does "enemy-free space" exist? Experimental host shifts of an herbivorous fly // *Ecology*, 1999, 80, 3, p. 773-785.

Haggai P., Rogers D. A new method for the identification of key factors from life-table data // *J. Anim. Ecol.*, 1975, 44, 1, p. 85-114.

Harrington R., Verrier P., Denholm C., Hullé M., Maurice D., Bell N., Knight J., Rounsevell M., Cocu N., Barbagallo S., Basky Z., Coceano P. G., Derron J., Katis N., Lukášová H., Marrkula I., Mohar J., Pickup J., Rolot J. L., Ruzkowska M., Schliephake E., Seco-Fernandez M. V., Sigvald R., Tsitsipis J., Ulber B. EXAMINE (Exploitation of aphid monitoring in Europe): an European thematic network for the study of global change impacts on aphids // *Aphids in a new millennium*. Simon J.C., Dedyryer C.A., Rispe C., Hullé M., eds. *Proc. of the 6th Int. Symp. on Aphids: INRA*, 2004, p. 45-49.

Haukioja E. Plant defenses and population fluctuations of forest defoliators: mechanism-based scenarios // *Ann. Zool. Fenn.*, 2005, 42, 4, p. 313-325.

Heino M., Kaitala V., Ranta E., Lindström J. Synchronous dynamics and rates of extinction in spatially structured populations // *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 1997, 264, 1381, p. 481-486.

Hodgson, B. E. The host plants of the European corn borer in New England // *USDA Tech. Bull.*, 1928, 77, 63 p.

Jeffries M.J., Lawton J.H. Enemy-free space and the structure of ecological communities // *Biol. J. Linn. Soc.*, 1984, 23, 4, p. 269-286.

Kendall B.E., Briggs C.J., Murdoch W.W., Turchin P., Ellner S.P., McCauley E., Nisbet R.M., Wood S.N. Why do populations cycle? A synthesis of statistical and mechanistic modeling approaches // *Ecology*, 1999, 80, 6, p. 1789-1805.

Liebhold A., Kamata N. Are population cycles and spatial synchrony a universal characteristic of forest insect populations? // *Popul. Ecol.*, 2000, 42, p. 205-209.

Liebhold A.M., Koenig W.D., Bjørnstad O.N., Spatial synchrony in population dynamics // *Annu. Rev. Ecol., Evol. and Syst.*, 2004, 35, p. 467-490.

Liebhold A.M., Tobin P.C. Population ecology of insect invasions and their management // *Annu. Rev. Entomol.*, 2008, 53, p. 387-408.

Logan P.A., Casagrande R.A., Hsiao T.H., Drummond F.A. Collections of natural enemies of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Mexico, 1980-1985 // *Entomophaga*, 1987, 32, 3, p. 249-254.

McPherson M.J., Möller S.G. PCR. N.Y.: Taylor & Francis, 2006, 292 p.

Morris R.F. The interpretation of mortality data in studies on population dynamics // *Can. Entomol.*, 1957, 89, 2, p. 49-69.

O'Neil R.J., Cañas L.A., Obrycki J.J. Foreign exploration for natural enemies of the Colorado potato beetle in Central and South America // *Biol. Control.*, 2005, 33, 1, p. 1-8.

Pélessié B., Ponsard S., Tokarev Y.S., Audiot P., Pélessier C., Sabatier R., Meusnier S., Chaufaux J., Delos M., Campan E., Malysh J.M., Frolov A.N., Bourguet D. Did the introduction of maize into Europe provide enemy-free space to *Ostrinia nubilalis*? Parasitism differences between two sibling species of the genus *Ostrinia*. // *J. Evol. Biol.*, 2009, 23, 2, p. 350-361.

Pierce F.J., Clay D., ed. GIS applications in agriculture. Boca Raton et al.: CRC Press, 2007, 204 p.

Price P.W., Bouton C.E., Gross P., McPherson B.A., Thompson J.N., Weiss A.E. Interactions among three trophic levels: influence of plants on interaction between insect herbivores and natural enemies // *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1980, 11, p. 41-65.

Price P.W., Hunter M.D. Long-term population dynamics of a sawfly show strong bottom-up effects // *J. Animal Ecol.*, 2005, 74, 5, p. 917-925.

Raimondo S., Liebhold A.M., Strazanac J.S., Butler L. Population synchrony within and among Lepidoptera species in relation to weather, phylogeny, and larval phenology // *Ecol. Entomol.*, 2004, 29, 1, p. 96-105.

Rhainds M., Yoo Ho Jung S., Steffey K.L., Voegtlin D.J., Sadof C.S., Yaninek S., O'Neil R.J. Potential of suction traps as a monitoring tool for *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) in soybean fields // *J. Econ. Entomol.*, 2010, 103, 1, p. 186-189.

Royama T. A fundamental problem in key factor analysis. // *Ecology*, 1996, 77, 1, p. 87-93.

Schowalter T. *Insect ecology: an ecosystem approach*. 2nd edition. Oxford: Academic Press, 2006, 576 p.

Sharov A. Quantitative population ecology. On-line lectures. Dept. of Entomol., Virginia Tech, Blacksburg, VA., 1996, <http://home.comcast.net/~sharov/PopEcol/popecol.html>

Teulon D.A.J., Scott I.A.W. The use of suction traps for detection of unwanted invasive insects and other invertebrates // *New Zealand Plant Protection*, 2006, 59, p. 125-131.

Twyman R.M. *Advanced molecular biology. A concise reference*. Oxford, UK: BIOS Sci. Publ., 1998, 499 p.

Varley G.C., Gradwell G.R. Recent advances in insect population dynamics // *Annu. Rev. Entomol.*, 1970, 15, p. 1-24.

Verbyla D.L. *Practical GIS analysis*. L., N.Y.: Taylor & Francis, 2002, 294 p.

Williams D.W., Liebhold A.M. Spatial scale and the detection of density dependence in spruce budworm outbreaks in eastern North America // *Oecologia*, 2000, 124, 4, p. 544-552.

Ylloja T., Roininen H., Ayres M.P., Rousi M., Price P.W. Host-driven population dynamics in an herbivorous insect //

Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1999, 96, 19, p. 10735-10740.

Zalucki M.P., Daghli G., Firempong S., Twine P.H. The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hübner) and *H. punctigera* Wallengren (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia: what do we know? // Australian J. Zool., 1986, 34, 6, p. 779-814.

Zalucki M.P., Murray D.A.H., Gregg P.C., Fitt G.P., Twine P.H., Jones C. Ecology of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *H. punctigera* (Wallengren) in the inland of Australia: larval sampling and host plant relationships during winter and spring // Australian J. Zool., 1994, 42, 3, p. 329-346.

MODERN TRENDS IN PHYTOSANITARY MONITORING AND FORECAST DEVELOPMENT

A.N.Frolov

Modern achievements in the field of phytosanitary monitoring and forecasts are associated with studying population structure of harmful organisms, understanding regularities and major ecological factors involved in their population dynamics on the basis of multivariate statistics and GIS technology. There is a progress in some approaches to forecasting and monitoring in Russia (e.g. molecular biology, GIS, Internet and digital technologies); nevertheless, we may observe a developmental lag from world level in phytosanitary consultancy service.

Keywords: *phytosanitary monitoring, phytosanitary forecast.*

А.Н.Фролов, д.б.н., профессор,
vizrspb-frolov@yahoo.no