

Российская академия наук. Сибирское отделение
Государственная публичная научно-техническая библиотека
Институт химической кинетики и горения
Институт систематики и экологии животных
Вычислительный центр

Серия "Экология"
Издается с 1989 г.
Выпуск 33

**ПЕСТИЦИДЫ В ЭКОСИСТЕМАХ:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Аналитический обзор

Новосибирск, 1994

Пестициды в экосистемах: проблемы и перспективы = Ecological Problems of Pesticide Application: Аналит. сбор / Кузеногий К.П., Киров Е.И., Кнорр И.Б. и др.; Сибирское отделение РАН. ГПНТБ. Ин-т хим. кинетики и горения. Ин-т систематики и экологии животных. Вычислительный центр. - Новосибирск, 1994. - 142 с. - (Сер. "Экология". Вып. 33.)

Обзор посвящен различным аспектам воздействия пестицидов на экосистемы и проблемам, связанным с их применением. Рассмотрены возможные пути и стратегии, повышающие безопасность их применения для экосистем, а, следовательно, и для человека.

В предлагаемом обзоре обобщена мировая литература по экологическим последствиям применения пестицидов. Рассматривая эту проблему системно, авторы подробно анализируют вопросы предотвращения негативных последствий использования пестицидов, применения оптимальной аэрозольной технологии внесения пестицидов и ее физико-химические и экологические основы, экологической инженерии, эволюционные аспекты пестицидного загрязнения экосистем, концепции биологического земледелия.

Обзор рассчитан на специалистов в области защиты растений, охраны окружающей среды, экологов широкого профиля и др.

The suggested review summarises the world-wide literature on the important problem of pesticide impact on ecosystems. The main attention is paid to the prevention of negative after-effects of pesticide use. The authors attract attention to the important problems yet not well-known among specialists: the optimal aerosol technology of biologically active compounds application, ecological engineering, evolutionary aspects of the pesticide pollution on ecosystems, biological agriculture.

The review is addressed to the specialists on plant protection and environmental conservation, ecologists and others.

Авторы: К.П. Кузеногий - введение, заключение, 2.1, 2.2; Е.И. Киров - 1.3, 1.6, 1.7, 1.9, 2.3, 2.4.1, 2.4.2; И.Б. Кнорр - 1.2, 2.2.1, 2.4; А.А. Алексеев - 1.1, 1.2, 1.4, 1.8; В.И. Макаров - 2.1; Ю.Н. Самсонов - 3.1; О.В. Чанкина - 1.8; Н.Р. Богатырев - 1.8, 3.3, иллюстрации; А.Н. Башев - 3.2.

Ответственный редактор д.с.х.н. Н.Н. Горбунов
Рецензент д.б.н. А.Ю. Харитонов

Обзор подготовлен к печати: к.п.н. О.Л. Лаврик
Н.И. Коноваловой

ISBN 5-7623-0864-2

© Государственная публичная научно-техническая библиотека
Сибирского отделения Российской академии наук
(ГПНТБ СО РАН), 1994



“Право на действия без экологии открывает путь к коллективному самоуничтожению”
Из установок Глобального форума представителей неправительственных организаций

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы проблемы охраны окружающей среды вошли в число наиболее приоритетных, так как речь идет о выживании человечества. Из-за крайней сложности и многогранности этой проблемы, ее решение невозможно без серьезных и комплексных научных исследований, тесно связанных и с вопросами практической реализации этих результатов. В настоящее время очень интенсивно, а в ряде случаев и достаточно эмоционально, в различных сферах дискутируются “признаки экологических катастроф”. Один из примеров этого - проблема пестицидов. Как и во многих других аналогичного рода проблемах, наблюдаются периоды необычайно бурной активности общественного мнения. Накал страстей гальванизирует общество, и оно готовится к самым страшным итогам. Однако это стимулирует глубокий и всесторонний анализ состояния вопроса и поиск форм более корректного поведения человека в его взаимодействии с окружающим миром.

Приходится признать, что мы одна из компонент единой системы, называемой биосферой, и наша деятельность в той или иной мере проявляется во многих сложных связях, обеспечивающих длительное и устойчивое существование системы, и что нельзя свою деятельность строить на основе только интересов человечества, не считаясь с объективными законами, управляющими всей биосферой.

Применение пестицидов - это один из частных вопросов глобальной проблемы устойчивого развития человеческого общества [1]. Но здесь можно отчетливо проследить те принципиальные трудности, с которыми мы сталкиваемся в реальной жизни, а также те пути, которые позволяют найти разумное решение без катастрофических для нас последствий. Очень важно понимать, что создание и широкое применение синтетических пестицидов - это естественный путь развития цивилизации, который стал возможен только благодаря выдающимся достижениям человеческого разума. Но, как и во многих других случаях, ослепленные первыми результатами, мы забыли о том, что чем более мощное средство воздействия на окружающую среду мы получаем в свои руки, тем более осторожными и внимательными должны быть с широкомасштабным использованием своих достижений. Первым серьезным напоминанием о том, что, помимо мгновенных успехов в борьбе за выживание, мы можем столкнуться с не менее страшными последствиями нашей поспешности, была публикация Р. Карсон “Безмолвная весна” [2]. Появившись в 1962 г., она вызвала мощный рост общественного самосознания и стимулировала быстрое развитие движения “зеленых”. К сожалению, серьезные

и научно обоснованные аргументы для выработки экологически безопасных решений проблемы применения пестицидов и других физиологически активных веществ порой сопровождаются излишними эмоциями рекламного и политического характера. Как и любые другие, волевые решения не способствуют тяжелому и длительному поиску оптимального и реального решения проблем [3 - 6].

Занимаясь в течение многих лет вопросами оптимизации аэрозольной технологии применения пестицидов, а затем и других физиологически активных веществ, мы прочувствовали многие сложности этой проблемы и пришли к выводу, что нужно систематизировать сведения по данной проблеме и разобраться в вопросах её принципиального решения.

Итогом изучения обширной литературы и размышлений стал обзор [7]. Уже в процессе его написания стала ясной глобальность проблемы. Мы отчетливо понимаем, что даже на те вопросы, которые были сформулированы, мы не имеем удовлетворяющего всех ответа. Более того! после завершения обзора мы увидели некоторые из недостатков, которые попытались доработать в данном обзоре. Этот обзор - дальнейшее продолжение и развитие нашего представления о проблеме применения пестицидов. Чтобы у читающих сложилось более правильное представление о существе проблемы, ее трудностях, о различных, нередко противоречивых мнениях, о том, что нам нужно делать, мы догосорились, что каждый выскажет свою точку зрения, по собственному усмотрению расставит приоритеты и выскажется по тому, как нам должно поступать.

Естественно, что такой подход может создать впечатления неоднородности материала. Обзор нужно рассматривать под углом зрения тех вопросов, на которые мы пытались ответить:

- нужно ли применять пестициды, нельзя ли полностью обойтись без них?
- если все же применение пестицидов необходимо в конкретных ситуациях, то как это сделать с минимальными последствиями для окружающей среды?
- что дает применение избирательно действующих препаратов, которые безопасны для полезных животных?
- каковы закономерности воздействия пестицидов на биоценоз?
- каковы принципы, позволяющие уменьшить неблагоприятные побочные действия пестицидов?
- есть ли альтернатива массовой химизации сельского хозяйства?
- возможно ли биологическое земледелие без массовой химизации и каковы пути экологизации аграрного производства?
- каковы задачи науки по исследованию реальностей химизации аграрного производства и где пути предотвращения негативного влияния химизации?

При поиске ответов на эти вопросы была проанализирована литература в основном за 80-е, но в некоторых случаях, чтобы продемонстрировать истоки вопроса, важный экспериментальный или натурный материал, привлекалась и более "старая" информация за 60-е гг. и даже 20-е.

Глава 1. ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕСТИЦИДОВ НА ЭКОСИСТЕМЫ



1.1. Экологический кризис, пестициды и проблемы эволюции

Воздействие человека на окружающую среду в XX в. приобрело глобальные масштабы. С одной стороны, это приводит к изменению климата планеты в результате потепления (парниковый эффект), с другой - разрушению природных экосистем, преобразованию ландшафтов и мощному загрязнению различными поллютантами, среди которых не последнее место занимают пестициды. В общем, по мнению многих ученых, можно говорить о надвигающемся экологическом кризисе, имея в виду необратимое разрушение природных экосистем и значительное сокращение видового разнообразия биоты.

Оставив мрачные прогнозы, заглянем в геологическое прошлое. Экологические кризисы происходили на Земле регулярно. Они были вызваны геологическими кризисами, периодичность которых 180 и 30 млн лет, вероятно, связана с обращением Солнечной системы вокруг центра Галактики [8]. Наиболее детально изучен меловой биоценотический кризис после которого сформировался современный облик биосферы. Палеонтологические данные говорят о быстром и значительном сокращении разнообразия, т.е. вымирании, охватившем в конце мезозойской эры все как континентальные, так и водные экосистемы. Этому предшествовал сравнительно длительный (в десятки миллионов лет) период стабильного функционирования экосистем, причем вымирание охватило все группы растений и животных - доминантов того периода.

Чтобы понять, что же произошло, необходимо рассмотреть закономерности развития современных экосистем. Здесь кратко изложим основные положения концепции климакса, разработанной С.М. Разумовским и В.В. Жерихиным [9, 10].

Сообщество, занимающее какое-либо местообитание, постепенно изменяет его продуктами своей жизнедеятельности. В результате этого условия ухудшаются для доминантов данного сообщества, и оно сменяется другим, для которого эти условия оптимальны. Такая последовательная смена сообществ называется сукцессией. Движущей силой сукцессии служит незамкнутость геохимического цикла. Конечная стадия сукцессии - климакс. В отличие от предыдущих стадий, в климаксовом сообществе геохимический цикл замкнут. В каждой климатической зоне (правильнее сказать - ботанико-

географическом районе) формируются свои сукцессионные ряды, образующие сукцессионную систему. Ранние стадии сукцессий, как правило, образованы "пионерными" видами - активными колонизаторами с коротким жизненным циклом и высокой скоростью размножения, пластичными, но с низкой конкурентоспособностью. На поздних стадиях преобладают высокоспециализированные виды. В естественных экосистемах основу составляют поздние стадии сукцессии.

При резких, глобальных изменениях климата во время геологических кризисов в первую очередь исчезали узкоспециализированные доминантные и субдоминантные виды. Это приводило к лавинообразному вымиранию большого числа видов на всех трофических уровнях и быстрому распаду экосистем на огромных пространствах, которые заселялись видами пионерных ассоциаций, экологически пластичными, менее специализированными, слабо конкурентоспособными. Вот только конкуррировать уже было не с кем.

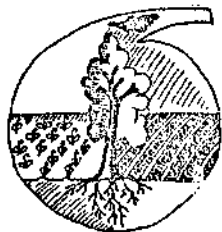
В.В. Красилов [8, 11] вводит понятия когерентного и некогерентного типа эволюции. Когерентный тип - под контролем устойчивой структуры экосистемы, в условиях острой конкуренции, стабилизирующей эволюционный процесс. Некогерентный тип - при распаде экосистем и ослабленной конкуренции, в периоды биосферных кризисов. Когерентный филогенез протекает в стабильных условиях среды под жестким контролем сообщества. Темпы его замедлены, видообразование идет путем конкурентного вытеснения и усиления специализации. Некогерентный - происходит в периоды распада экосистем, т.е. в ходе биосферного кризиса. В этот период значительно ослаблена конкуренция, резко повышается скорость филогенеза. Специализированные виды-доминанты вымерли. Остались пионерные виды с высоким потенциалом размножения и коротким жизненным циклом. Ослабление конкуренции приводит к резкому увеличению размаха изменчивости. Такое явление, названное дестабилизирующим отбором, происходит при одомашнивании и других видах искусственного отбора [12]. Скорость изменений в ходе такого отбора может быть очень высокой. Так, эксперименты Г.Х. Шапошникова с адаптацией тли *Dysaphis anthrisci majkopica* Shar. к питанию на новом хозяине показали: резкое усиление изменчивости вследствие усиления дестабилизирующего отбора в 4-8-м поколениях; в 9-10-м поколениях произошел резкий скачкообразный необратимый переход в новое адаптивное состояние с возникновением существенных морфологических различий между новой и исходной формами [13]. Эти результаты были подтверждены в опытах на другом виде тлей - *Megoura vicia* [14].

Нарушения экосистем в результате хозяйственной деятельности человека уже привели к распаду природных экосистем на громадных площадях и возникновению антропогенных ландшафтов с преобладанием рудеральной растительности и обедненным составом флоры и фауны. Сюда же можно отнести и интенсивно возделываемые сельскохозяйственные угодья. По мнению М.В. Козлова [15, 16], в районах интенсивного антропогенного воздействия можно обнаружить случаи нарушения когерентного хода эволюции. Некоторые тенденции, например, возрастание в последние десятилетия роли некоторых реликтовых групп, напоминают таковые в период мелового кризиса. Это позволяет предположить, что "воздействие человека

на природу реально приближает планету к новому биоценотическому кризису" [16]. При этом основная опасность видится в непредсказуемости некогерентного филогенеза, в результате которого возникнут новые виды с непредсказуемыми свойствами, в том числе вредными для человека [17]. С этой точки зрения совсем в другом свете видится проблема пестицидов в экосистемах. Выступая как мощный и целенаправленный фактор в агроценозах они сокращают невысокое видовое разнообразие этих экосистем, причем в первую очередь элиминируются полезные и индифферентные (с точки зрения человека) виды. Результатом этого является снижение межвидовой конкуренции и ослабление регуляции паразитами и хищниками. Налицо все предпосылки для дестабилизирующего отбора и некогерентной эволюции.

Видимо, неслучайно широкомасштабное применение пестицидов в последние 20 - 25 лет сопровождается "обвальным" увеличением числа резистентных видов [18], причем среди них встречаются настоящие "монстры". Например, популяции капустной моли в странах Юго-Восточной Азии резистентны к большому числу хлор-, фосфорорганических, карбаматных и пиретроидных инсектицидов, а также к бензоилмочевинам с высокими и средними показателями резистентности. Резистентность гусениц капустной моли к пиретроидному инсектициду фенвалерату достигла 11600-кратного уровня [19]. До сих пор никто с эволюционных позиций не рассматривал феномен резистентности. Отсутствуют популяционно-биологические исследования в этом направлении. Нет даже постановки проблемы, отсутствуют как методология таких исследований, так и методический аппарат.

Для начала можно сравнить размах изменчивости в популяциях агроценозов и природных экосистем. Необходимы исследования в этом направлении и, возможно, существенное сокращение масштабов применения пестицидов, пока ситуация не вышла из-под контроля. Новый биоценотический кризис надвигается. Или уже начался?



1.2. Влияние пестицидов на биоценоз

Интенсивное применение хлорорганических инсектицидов и в первую очередь ДДТ во всем мире началось в 40 - 50-х гг., тогда же появились первые комплексные исследования влияния инсектицидов на популяционно-видовые сообщества [20]. Позднее

было изучено влияние ДДТ на различные трофические уровни вследствие аккумуляции и передачи препарата по пищевым цепям [21, 22]. Было установлено, что особенно пострадали хищные и водоплавающие птицы. Накапливаясь в организме, ДДТ приводил к снижению плодовитости, увеличению смертности эмбрионов, истончению скорлупы яиц [23].

Действие пестицидов на почвенную микрофлору. Оценки последнего действия пестицидных обработок довольно противоречивы: от утверждения

о стимулирующем влиянии до признания резкого ингибирующего эффекта [24 - 29]. Различающиеся результаты прежде всего говорят о том, что последствия пестицидных обработок зависят от многих факторов, которые полностью учесть невозможно. Ю.В. Круглов в качестве одной из причин называет то обстоятельство, что в микробиологии мы имеем дело не с одним видом, а с целым комплексом организмов, существенно отличающихся по биохимическим и экологическим характеристикам [30]. Отмеченные трудности, не позволили выработать единые критерии оценки токсичности пестицидов для почвенных микроорганизмов.

В лесах Литвы однократное применение производственных норм хлорофоса и метатиона с помощью авиации не влияло на соотношение основных групп почвенных микроорганизмов. Наиболее чувствительны к фосфорорганическим инсектицидам две группы бактерий: 1) усваивающие белковый азот; 2) разлагающие целлюлозу [24, 25, 31]. Однако действие упомянутых препаратов на названные группы микроорганизмов далеко не однозначно. Специально поставленные эксперименты позволили установить, что 1-я способна активно усваивать из бензофосфата углерод и фосфор, резко увеличивая свою численность, особенно при наличии в почве разлагающегося зеленого люпина, богатого белками, а целлюлозоразрушающие бактерии в присутствии фосфорорганических инсектицидов, наоборот, снижают численность в 2 - 4 раза по сравнению с контролем [24].

Внесение гербицида каторана с нормой расхода 2 кг/га в лугово-сероземные почвы Самаркандской области УзССР снизило численность микроорганизмов на 25%, но уже через 20 суток после однократной обработки микробное население почвы восстанавливается [30].

Рассматриваемый вопрос приобретает особое значение с точки зрения утилизации остатков пестицидов в природных экосистемах. Показано, что почвообитающие микроорганизмы - главные агенты их детоксикации [29, 30, 32, 33]. Микроорганизмы минерализуют, включая в нормальные биосферные циклы, 10 - 70% общего объема поступающих в природу ксенобиотиков [34 - 37].

Действие пестицидов на почвенную микрофауну. Роль почвенной микрофауны в минерализации растительных остатков и повышении почвенного плодородия общеизвестна. Понятен интерес исследователей к вопросу о действии пестицидных обработок на этих членистоногих [38 - 44]. Последствия применения пестицидов для упомянутого зоокомплекса пахотных земель не одинаковы. Чаще всего токсиканты действуют как ингибиторы, но нередки случаи, когда наблюдается и стимулирующий эффект. Это прежде всего объясняется разной токсичностью препаратов. Кроме того отдельные группы и виды микроартропод отличаются по чувствительности к одному и тому же препарату [45]. Считается, что щадящие режимы химических обработок с небольшими нормами расхода пестицидов не оказывают отрицательного действия на почвенную микрофауну.

Между тем, производственные нормы применения инсектицидов хлорофоса и метатиона заметно влияют на структуру и численность орбитид в лесных дерново-подзолистых почвах Литвы [25]. Первоначально (до года с момента обработки) хлорофос и метатион стимулируют рост численности

орibatидных клещей, а затем (иногда в течение нескольких лет) снижают ее. Иногда инсектицидные обработки являются причиной перестройки структуры орibatидного сообщества, выражающейся в изменении степени доминирования отдельных видов. На интенсивность процессов минерализации в почве эти препараты влияли слабо. Фосфорорганический гербицид далапон несущественно изменял численность и структуру орibatид [25].

Влияние пестицидных обработок на население ногохвосток изучено недостаточно. Встречающиеся литературные данные довольно противоречивы: от признания их особой чувствительности к токсикантам до утверждения, что небольшие затравки биоцидами не действуют на них угнетающе [45]. Однако общая оценка последствий пестицидных обработок для коллембол заключается в признании ингибирующего эффекта, особенно при увеличенных нормах расхода препаратов [46, 47], но угнетающее действие, оказываемое на них разными пестицидами, не одинаково. Менее персистентные фосфорорганические препараты вызывают лишь непродолжительный отрицательный эффект.

Чувствительность к одному и тому же токсиканту у разных групп и видов ногохвосток также неодинакова [25, 39]. Высокий биотический потенциал этих примитивных насекомых позволяет им уже через год после жесткой химической обработки восстановить структуру популяции и увеличить свою численность по сравнению с контролем [25]. Правда, некоторые авторы склонны видеть причины этого явления в пестицидном подавлении естественных механизмов регуляции численности коллембол [48]. В лабораторном эксперименте при дозировке фосфорорганических препаратов метафоса и бензофосфата соответственно 80 и 150 мг/кг почвы численность ногохвосток уменьшилась в 2 раза, а скорость разложения соломы и березовых листьев снизилась на 7 - 27% [49].

Однократные самолетные обработки лесов Литвы производственными нормами инсектицидов хлорофоса и метатиона и гербицида далапона оказывали несущественное угнетающее действие на коллембол [25]. Отмечено лишь незначительное кратковременное уменьшение общей численности этих членистоногих при постоянстве видового состава. Длительный ингибирующий эффект наблюдался в вариантах с увеличенными нормами расхода этих пестицидов.

Последствия применения гербицидов. Прямое и опосредованное инсектицидное действие гербицидов колеблется от сублетальных поражений до уровня смертности, вызываемых инсектицидами [50]. С другой стороны, наблюдалась стимуляция размножения у тли (*Macrosiphon pisi*) при действии гербицида 2,4-Д, а также ускорение развития гусениц у бабочки (*Chilo suprossalis*) [51]. Но наиболее значительные последствия связаны с опосредованным влиянием гербицидов на уровне биоценоза в результате структурных изменений растительных сообществ. Уничтожение сорняков приводит к сокращению разнообразия фитофагов за счет выпадения видов, облигатно питающихся сорняками, а также связанных с ними паразитов и хищников, которые на всех или отдельных стадиях жизненного цикла связаны только с данными видами фитофагов. Под влиянием гербицидов

изменяются свойства местообитания, в первую очередь структура и микроклиматические условия. Кроме того, временно повышается освещенность и уменьшается влажность поверхности почвы, а также увеличивается амплитуда температур. При этом стенобионтные виды как фитофагов, так и энтомофагов, прежде всего на наиболее чувствительных фазах эмбрионального и личиночного развития, не выдерживают этих изменений. Увеличивается смертность, снижается их численность, падает плотность популяций. Такие нарушения приводят к выпадению ряда видов и упрощению сообществ. Обычно остается небольшое число эврибионтных видов, способных существовать в изменившихся условиях [52]. Загрязнение гербицидами лесополос и других нецелевых экосистем агроландшафта через нарушение фитоценозов также приводит к обеднению фауны членистоногих.

Инсектицидный стресс. Подробнее изучено действие инсектицидов. Большинство таких работ посвящено токсикологии, оценке эффективности применения, влиянию на динамику численности вредителей и их энтомофагов в агроценозах, в основном это лабораторные и полевые исследования на популяционном уровне. Литературы, посвященной влиянию инсектицидов на ценотическое уровне, гораздо меньше. Подробно изучено влияние однократной обработки севином с нормой расхода 2,3 кг д.в./га на луговую экосистему на всех трофических уровнях [53]. Обработка не повлияла на биомассу и чистую первичную продуктивность растительности, которые как суммарно, так и по составляющим сообщество видам, не отличались в контроле и опыте. Это очень важно, так как свидетельствует об однородности условий опытного и контрольного участков. Изучалось влияние обработки, как на всех членистоногих (динамика биомассы и плотности), так и на разные трофические и наиболее крупные систематические группы. Кроме того, были использованы показатели видового разнообразия и выравненности фауны.

Биомасса всех членистоногих сокращалась на 95% и восстанавливалась до 50%-го уровня через 5, а полностью через 7 недель. Плотность членистоногих сокращалась на 99% и до конца сезона оставалась сниженной на 25%. Биомасса фитофагов (клопов и цикадок, составлявших большую часть всех фитофагов и 70% биомассы всех членистоногих), восстанавливалась медленнее, чем таковая энтомофагов (перепончатокрылых и пауков).

Интересен анализ изменения видовой структуры с применением индексов видового разнообразия [54] и выравненности [55]. Видовое разнообразие равнокрылых после обработки снижалось до 0, но уже через неделю восстанавливалось с превышением контроля и окончательно выравнивалось к концу сезона. Население клопов восстанавливалось лишь к концу сезона (через 6 недель). Видовое разнообразие всех фитофагов после обработки резко снижалось, но быстро (через 2 недели) восстанавливалось. Энтомофаги восстанавливались через 6 недель. Этот трофический уровень примерно в равном соотношении составляли перепончатокрылые и пауки, но если перепончатокрылые сильнее подавлялись инсектицидом (в учете через сутки они не обнаружены) и медленно восстанавливались (их численность и видовое разнообразие было ниже контроля до конца сезона), то пауки не реагировали на химобработку.

Выравненность (или равномерность распределения) отражает распределение видов по обилию, т. е. чем меньше видов-доминантов с относительно высокой численностью, тем больше неравномерность их распределения и тем меньше значение коэффициента выравненности и наоборот, чем больше видов с высокой численностью, тем больше значение этого коэффициента. Первый случай характерен для агроценозов и нарушенных сообществ, а второй - для равновесных естественных сообществ [56].

Инсектицидные обработки повышали значение коэффициента выравненности, так как численности видов доминантов сокращалась сильнее, но уже через 2 - 3 недели этот показатель снижался до контрольного уровня. Дж. Барретт [53, 57] считает, что наиболее подходящим и чувствительным индикатором степени и продолжительности инсектицидного стресса является изменение индекса видового разнообразия Маргалефа $d = (S - 1) / \lg N$ (где S - число видов, N - число особей), измеренное для трофического уровня. При анализе населения по таксонам наиболее четкие результаты были получены для отрядов клопов и равнокрылых, составляющих обычно 70 - 80% численности и биомассы всего трофического уровня членистоногих - фитофагов. Изменения численности, видового разнообразия и выравненности на следующем трофическом уровне - хищников и паразитоидов - интерпретировать сложнее, так как в отличие от фитофагов на них, кроме действия инсектицидов, сильно влияет значительное сокращение пищи (растительно- и детритоядных насекомых). Поэтому видовое разнообразие хищников и паразитов восстановилось только через 6 недель. Незначительное снижение скорости разложения детрита вызвано, видимо, гибелью части микроартропод, играющих важную роль в этом процессе, или репеллентным действием на них инсектицида. Скорость разложения детрита падала из-за гибели микроартропод от нафталена [58, 59].

Более подробно, но без анализа изменения скорости разложения детрита, изучалось влияние инсектицидов на видовую структуру и доминирование микроартропод (ногохвосток и клещей) в агроценозах. На экспериментальных площадях сельскохозяйственных культур, где в течение 10 лет обрабатывали почву одинаковым количеством одного и того же инсектицида (линдан, ДДТ и паратион) общая численность микроартропод под влиянием линдана и паратиона была несколько снижена (на 35 - 50%), а под действием ДДТ - значительно превышала контроль (почти в 3 раза). Изменилась также структура доминирования: выпали несколько малочисленных видов и сократилась относительная и абсолютная численность обычных ногохвосток и клещей (особенно в варианте с ДДТ) [60].

Через пять лет после обработки клеверного поля повышенной (2,5 кг/га) дозой 80%-го ГХЦГ обилие ногохвосток и орибатид в опыте было снижено на 9 и 50% соответственно, тогда как их видовое разнообразие оказалось выше, а структура доминирования более равномерной. Ногохвостки и орибатиды - преимущественно детритофаги и микрофитофаги. У хищных же клещей увеличилась неравномерность, что, видимо, повлияло и на более низкий трофический уровень.

Для понимания закономерностей восстановления структуры сообществ

важны исследования [62 - 65] реколонизации членистоногими мангровых островов после экспериментального уничтожения их фауны высокими дозами инсектицида. После уничтожения фауны равновесная структура восстанавливается за счет иммиграции в 3 этапа:

а) независимая иммиграция видов, изменения в трофической структуре - пассивное следствие независимого закрепления видов. При высоких темпах иммиграции может быть превышение по числу видов по сравнению с равновесной структурой;

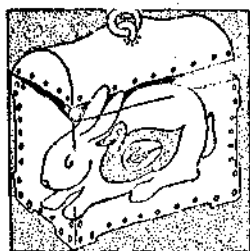
б) установление равновесной трофической структуры;

в) восстановление таксономической структуры.

Быстрее всего восстанавливались фитофаги, так как их кормовая база не была затронута, затем - хищники и паразиты, последними - детритофаги. Эти данные интересны для понимания процессов восстановления энтомофауны после инсектицидного стресса.

Агроландшафт включает в себя множество экосистем, отчасти сохранивших естественную исходную ситуацию таких как сенокосы, пастбища, залежи, опушки, колки и т.д. Часто они подвергаются действию инсектицидов в результате сноса. При этом в них попадают гораздо меньшие концентрации инсектицида, чем применяемые для обработок. С.И. Рич с соавторами [66] изучали действие севина на членистоногих кукурузного поля и 12-летней залежи. При этом доза инсектицида составляла 0,1 от рекомендуемой для коммерческого применения. Это особенно интересно тем, что севин в коммерческой дозировке применялся в опытах Дж. Барретта [53]. Изучение действия таких низких дозировок очень важно для исследования эффектов сноса, так как примерно в таких концентрациях сносимый инсектицид загрязняет нецелевые экосистемы агроландшафта. Результаты показали гораздо ярче выраженный ответ залежной экосистемы по сравнению с монокультурой кукурузы. Эти данные интересны тем, что противоречат сложившейся точке зрения [67] о большей устойчивости более сложных естественных биоценозов по сравнению с простыми и неравновесными агроценозами монокультур. Считается, что от инсектицидного стресса сильно страдают энтомофаги, особенно в монокультурах, и что токсическое действие на почвообитающих членистоногих снижает скорость разложения органики и нарушает круговорот веществ. Эти выводы подкреплены многими исследованиями высоких, близких к коммерческим, доз инсектицидов [53, 68 - 71]. Низкая доза инсектицида вызывала совершенно другие эффекты. Показано почти полное отсутствие действия на почвенных членистоногих как в монокультуре, так и в залежи. В опыте с кукурузой численность как общая, так и по трофическим группам незначительно отличалась от контроля, а ее динамика полностью совпадала. Соотношение энтомофагов и фитофагов отличалось также слабо, причем в опыте оно было несколько выше. На залежи, наоборот, в опыте было зарегистрировано значительное, по сравнению с монокультурой, снижение численности всех групп, а также значительное (в 2 - 3 раза против контроля) повышение коэффициента энтомофагии (отношения энтомофаги/фитофаги). Все это свидетельствует о качественном различии ответных реакций разных экосистем на низкие и высокие дозировки инсектицида. Другими

словами, существует пороговое значение стрессора. Этот вывод требует более углубленного изучения и может иметь практический интерес.



1.3. Структурность экосистем

При экологической оценке применения пестицидов правильнее исходить из структурных уровней организации живой материи: гены, клетки, органы, организмы, популяции, биоценозы и биосфера [72 - 75]. Полную картину ответных реакций насекомых на антропогенные воздействия, в том

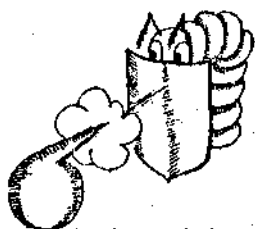
числе на пестициды, можно получить, если проследить изменения, которые выявляются в особи, популяции, виде, экосистеме. По предложенной классификации [15, 76], в ответ на антропогенные воздействия следует ожидать изменений на организменном уровне по химическому составу тела, репродуктивному потенциалу, продолжительности отдельных стадий онтогенеза, нарушению функций ферментативных систем, аномалиям развития, нарушениям поведения. Изменения на популяционном уровне оцениваются по генетической (фенотипы) и пространственной структурам, соотношению полов, численности (плотности), изменению коэффициента размножения дочерних поколений. Изменения на биоценозическом уровне регистрируются по рассогласованию сроков развития отдельных видов, нарушению трофических цепей вследствие изменения структуры сообщества. Из всех видов антропогенного воздействия на членистоногих дисхемия - наиболее распространённый и значимый тип нарушений на всех уровнях. Именно здесь проявляются последствия применения пестицидов для защиты растений.

Оценка экологических последствий применения пестицидов должна включать определение прямого токсического влияния на клеточном и организменном уровне, а также косвенного - в виде неспецифического ответа популяций и биоценозов на нарушение эволюционно сложившихся взаимоотношений [77].

Изменения в биоценозах проще и надежнее определять после сильных воздействий, в том числе и пестицидов. Учитывать неизбежные флуктуации природных факторов очень трудно, а часто невозможно зафиксировать слабые изменения в биоценозах. Специальные исследования показали, что прогнозирование изменений биоценозов эффективнее всего при моделировании природных процессов с измерением в природе минимального числа необходимых параметров [74, 78]. Подчеркивается, что, в отличие от других случаев загрязнения природной среды, полевые наблюдения за эффектом загрязнения инсектицидами перспективны, но необходимо соблюдение методических требований, которые сводятся к учету естественной рождаемости, смертности и особенно процессов миграции [74].

Процессы миграции и коэффициент размножения беспозвоночных можно изучить прежде всего на эталонных видах, которые нужно выделить

в конкретных биоценозах, а затем проследить сезонную динамику их численности и плодовитость в год обработки и последующие годы.



1.4. Резистентность насекомых к инсектицидам

Резистентностью насекомых к инсектицидам называют способность рас или популяций переносить дозы токсикантов, которые приводят к гибели большинства особей нормальной популяции вида [79]. Впервые термин "резистентность" (*resistance*) был употреблен в 1914 г. Меландером, который наблюдал устойчивость щитовки *Aspidiotus perniciosus* на яблонях к опрыскиванию серой в окрестностях Вашингтона [94].

Резистентность как серьезную проблему начали изучать с конца 40-х гг. в связи с широкомасштабным производством и применением хлорорганических инсектицидов, прежде всего ДДТ. С этого времени ведется мониторинг резистентных популяций членистоногих. В течение последних 20 лет число видов насекомых и клещей, имеющих резистентные популяции, удваивается каждые 6 лет. И хотя во многих, в первую очередь развитых, странах принимаются меры по предотвращению развития резистентности, насчитывается уже более 500 видов, имеющих популяции, устойчивые к тем или иным инсектоакарицидам [81]. При этом наиболее опасные и экономически значимые виды, как правило, резистентны к большому числу пестицидов и на большой территории. Это неудивительно, ведь наиболее опасны виды с высокой скоростью размножения, поливольтинные (т.е. имеющие несколько поколений в год), экологически пластичные. А именно эти свойства благоприятны при селекции на устойчивость к пестицидам.

За более чем 40 лет химической борьбы с вредными членистоногими сменилось несколько "поколений" пестицидов. На смену хлорорганическим пришли фосфорорганические и карбаматные соединения. Последнее десятилетие можно назвать "эрой" пиретроидов. Все шире применяются ингибиторы синтеза хитина и аналоги ювенильного гормона, а также биоинсектициды (абамектин, токсины *Bacillus thuringiensis*, препараты на основе нерисетоксина). С приходом нового класса соединений высказываются надежды, что к новым веществам резистентность развиваться не будет. И каждый раз они не оправдываются. Сейчас обнаружена резистентность и к ювеноидам, и к бензоилмочевинам, причем во многих случаях это кросс-резистентность рас, хорошо известных своей устойчивостью к пестицидам из других классов. Более того, обнаружена устойчивость к препаратам на основе *B. thuringiensis* [82] и абамектину [83].

Мониторинг резистентности проводится на основе токсикологического анализа. С учетом высокой неоднородности как факторов, действующих на природе, так и условий развития насекомых, точность такого анализа невысока; ранние этапы развития резистентности недостаточно изучены. Положение усугубляется отсутствием популяционных исследований резистен-

тности, особенно ранних ее этапов, а также разобщенностью и отсутствием системного рассмотрения этого феномена. Генетики изучают, как правило, уже сформировавшие резистентность в природе и отселектированные в лабораторных условиях расы; круг объектов весьма узок, что связано со спецификой генетических методов исследования и трудностями лабораторного разведения насекомых. Биохимики исследуют механизмы, по которым развивается резистентность. Круг объектов довольно широк, но из-за сложности и трудоемкости методик популяционные исследования практически отсутствуют. Работа ведется на взятых из природы и подвергнутых лабораторной селекции расах.

Большинство стран сталкивается с проблемой резистентности членистоногих к инсектицидам, причем с каждым годом положение ухудшается. Несмотря на большое число исследований и пристальное внимание ученых к этой проблеме, практических успехов не так много. Это при том, что разработаны и успешно применяются научно обоснованные системы ротации препаратов, позволяющие бороться с резистентными популяциями и препятствующие возникновению устойчивости у чувствительных [84]. Причины этого не столько научно-технические, сколько социально-экономические. Низкий уровень технологической и научной подготовленности кадров в развивающихся странах, в целом явно недостаточная степень экологичности большинства, в том числе самых современных, сельскохозяйственных технологий - это лишь часть причин, в основе которых лежит отношение человека к природе (подробно об этой стороне проблемы можно прочитать в разделе "Стратегии альтернативного природопользования").

Генетические основы резистентности насекомых к инсектицидам. Общепринято, что формирование резистентности вредителей к пестицидам является типичным примером "дарвиновского" отбора. При этом регулярные пестицидные обработки выступают как фактор такого отбора [84, 85]. В рамках этого подхода устойчивость рассматривается как преадаптация. Основа резистентности - особи, несущие спонтанные мутации. Такие мутации встречаются в любой популяции с частотой 10^{-5} - 10^{-7} . У некоторых видов описана устойчивость, возникающая за счет амплификации кодирующего фермент детоксикации гена.

Однако нельзя игнорировать то, что многие пестициды обладают выраженным мутагенным эффектом. Целевому действию пестицида подвержена лишь часть популяции, находящаяся на поле в момент обработки. Какая часть популяции получает сублетальные дозы за счет сноса или контактируя с остатками неизвестно; как в этом случае работает фактор мутагенности инсектицида неясно.

Очевидно, что изменения в природной популяции, происходящие под воздействием селекции пестицидом и приводящие к формированию резистентности, не сводятся к отбору мутаций. Любая природная популяция полиморфна и обладает определенной фенетической структурой [86]. Эта структура может меняться под действием различных факторов среды, в числе которых могут быть и частые инсектицидные обработки. Например, для колорадского жука показано, что некоторые морфы, маркирующиеся конкретными фенами окраски, обладают повышенной устойчивостью к инсектицидам, причем в

районах с высокой интенсивностью химической защиты растений частота этих морф в популяции выше [87].

Механизмы резистентности. Резистентность насекомых к инсектицидам возникает за счет изменения чувствительности мишени действия; усиления метаболизма яда ферментами детоксикации; снижения проницаемости покровов; поведенческих особенностей, понижающих степень контакта особи с ядом. По мнению большинства специалистов, первые два фактора наиболее распространены и имеют решающее значение в развитии резистентности к инсектицидам [88, 89, 94].

Изменение чувствительности мишени. Главными мишенями действия инсектицидов являются: ацетилхолинэстераза (AChE) и ионные каналы нервной ткани. AChE - это мишень фосфорорганических и карбаматных инсектицидов, которые связываются с ацетилхолинэстеразой с различной степенью обратимости, в результате чего нарушается работа синапсов. Инсектицид связывается с регуляторными белками ионных каналов, в результате чего происходит деполаризация мембран нейронов. Так действуют ДДТ и пиретроидные инсектициды [89, 90].

Резистентность, связанная с появлением изоформы AChE с низким сродством к инсектицидам, описана в [89, 91, 92]. Этот механизм может обеспечивать средние уровни резистентности к ФОС и карбаматам и достаточно распространен.

Пониженная чувствительность нервной ткани, известная еще как нокадаун-резистентность (kdr - knockdown resistance), - один из первых выявленных механизмов резистентности [93, 94] был описан у комнатных мух, устойчивых к ДДТ, затем для пиретринов и синтетических пиретроидов. Этот механизм в ряде случаев обеспечивает высокие уровни резистентности [95], причем, как правило, проявляется кросс-резистентность (т.е. устойчивость к нескольким препаратам) к большому числу пиретроидов и ДДТ. До конца не ясен механизм этого явления: меняется ли средство регуляторных белков ионного канала или снижается плотность потенциал-зависимых натриевых каналов в нервной ткани, или то и другое вместе [96].

Повышенный метаболизм инсектицидов. В детоксикацию и выведение из организма ксенобиотиков, в том числе инсектицидов, основной вклад вносят следующие ферментные системы: монооксигеназная с цитохромом P450 в качестве центрального звена; эстеразная; система трансфераз.

Монооксигеназная система, главным звеном которой является цитохром P450 - это важнейшая система детоксикации ксенобиотиков у всех животных [94, 97]. Цитохром P450 обладает широкой субстратной специфичностью, связанной с существованием множественных форм фермента. Реакции с участием цитохрома P450 повышают гидрофильность молекул ксенобиотиков, которые в свою очередь становятся доступны для ферментов конъюгации. Таким образом снижается токсичность веществ, а продукты конъюгации легко выводятся из организма экскреторной системой [89, 94].

Усиление метаболизма инсектицидов монооксигеназной системой, вероятно, самый распространенный механизм резистентности у членистоногих. Подробно вопросы участия монооксигеназной системы в устойчивости членистоногих к инсектицидам рассмотрены в обзорах [89, 98].

Неспецифические эстеразы осуществляют гидролиз соединений с эфирной связью. Доказано участие эстераз в резистентности ко многим ФОС, к пиретроидам [94]. Кроме того отмечено участие эстераз в резистентности к аналогам ювенильного гормона [94]. Описаны следующие механизмы участия эстераз в резистентности: повышение эстеразной активности за счет амплификации гена или за счет изменения уровня активности регуляторного гена [97, 99]; образование мутантного фермента, имеющего высокое сродство к данному инсектициду [100]. Подробно роль эстераз в метаболизме инсектицидов и резистентности к ним рассмотрена в [88, 89, 94].

Ферменты конъюгации. При конъюгации инсектицида образуются хорошо растворимые в воде соединения, которые могут быстро выводиться из организма. При этом происходит снижение токсичности или полная детоксикация вступающего в реакцию конъюгации вещества. Реакция конъюгации с глутатионом, катализируемая глутатион-S-трансферазами (GST), часто вовлекается в резистентность ко многим инсектицидам. При этом отмечается как увеличение общего количества GST, так и появление новых изоформ фермента с повышенной специфичностью к субстрату [89, 94, 101, 102]. Усиление активности ферментов конъюгации приводит к увеличению скорости детоксикации как исходного соединения, так и его метаболитов, образованных работой эстеразной и/или монооксигеназной систем, а также к ускорению экскреции продуктов метаболизма.

Снижение проницаемости покровов. Подавляющее большинство инсектицидов это яды контактного действия, т.е. они попадают в организм насекомого, проникая через покровы. По существу, кутикула насекомого - единственный барьер на пути яда. Хорошо развитая у всех насекомых ганглионарная оболочка, окружающая нервные ганглии центральной нервной системы, выполняет трофическую функцию и, по-видимому, не является серьезным препятствием для проникновения инсектицидов в нервные клетки [89, 103].

В большинстве работ и обзоров, посвященных резистентности, фактору снижения проницаемости кутикулы отводится второстепенная роль. Показано, что снижение проницаемости происходит за счет утолщения покровов. При этом скорость проникновения инсектицида снижается, как правило, не более чем в 1,5 - 3 раза. У комнатных мух и некоторых других видов найден ген *rep*, который, как считают, ответствен за этот механизм резистентности [84, 104].

Большинство исследователей придерживается теории транспорта инсектицида к мишени гемолимфой. Согласно этой теории инсектицид пассивно диффундирует через кутикулу, абсорбируется гемолимфой и переносится к сайту действия и другим органам. При этом кутикула рассматривается как гомогенный барьер, через который происходит диффузия токсиканта, представляемая как чисто физико-химический процесс [105].

Однако существует другая точка зрения, называемая теорией латерального транспорта [106, 107], согласно которой основной путь вхождения инсектицида в тело насекомого - диффузия через трахейную систему. Трахеи насекомых выстланы кутикулой и имеют прямой доступ во все органы и ткани, в том числе и в центральную нервную систему.

Были проведены экспериментальные работы в подтверждение как первой, так и второй теорий, но вопрос до сих пор спорный. Совершенно ясно, что покровные ткани не просто механический барьер, а сложнейшая по структуре и функциям ткань, и процесс проникновения вещества через кутикулу - комплексное и сложное явление.

Проницаемость кутикулы играет весьма важную роль в резистентности насекомых к ювеноидам и ингибиторам синтеза хитина. Так, у резистентной к ювеноидам расы комнатной мухи метопрен проникал гораздо медленнее. Также, сниженное проникновение это один из главных механизмов у резистентной к дифлубезурону расы комнатной мухи (*Musca domestica*) [94, 108, 109].

Таким образом, снижение проницаемости покровов, несомненно, играет важную роль в резистентности. Особенно следует отметить неспецифичность этого механизма, что делает его весьма опасным с практической точки зрения, на ранних этапах становления резистентности в популяции.

Поведенческие механизмы устойчивости. Изучением поведения занимается наука этология, использующая специфические методы. Механизмы резистентности же изучают физиология, биохимия, генетика, при этом в экспериментах поведенческие аспекты в принципе не учитываются. Поэтому неудивительна та отрывочность и скудность данных об особенностях поведения резистентных особей даже в лабораторных условиях, не говоря уже о поведении в природе.

Описаны случаи гиперчувствительности к репеллентному действию инсектицида у резистентных насекомых в отличие от чувствительных. Так, резистентные к фенвалерату, перметрину и дельтаметрину мухи-жигалки (*Haematobia irritans*) проявляли повышенную чувствительность к репеллентной активности этих соединений [109]. Было показано [110], что вспышки численности паутиных клещиков в фруктовых садах после обработки пиретроидами связаны с поведенческими реакциями - гиперактивностью, повышенной репеллентной чувствительностью, миграциями на менее опасные участки.

Множественная и перекрестная резистентность. Часто устойчивость популяции обеспечивается двумя и более механизмами или генами. В таких случаях говорят о множественной резистентности. Широкая распространенность множественной резистентности, по-видимому, объясняется следующим. Начальные этапы селекции популяции инсектицидом формируют неспецифическую многофакториальную толерантность "vigor tolerance" [84], которая возникает в результате отбора наиболее устойчивых фенотипов. Как правило, следствием этого является повышение дозировок и/или кратности инсектицидных обработок, а, следовательно, интенсивности отбора. Многие случаи высоких уровней устойчивости связаны с множественной резистентностью. Например, высокорезистентная к пиретроидам раса комнатной мухи (показатель резистентности (ПР) 4.850 для перметрина; после селекции в лаборатории ПР достиг 6.000) имела сильно повышенную активность монооксигеназной системы, значительно сниженную чувствительность нервной ткани (kdr-механизм) и пониженную проницаемость покровов по сравнению с мухами чувствительной расы [95].

У гусениц табачной совки (*Heliothis virescens*), резистентных к циперметрину (ПР > 1000), изучали механизмы устойчивости [111]. Было показано, что основной вклад вносит монооксигеназная система, но также отмечено значительное снижение проницаемости покровов у резистентных гусениц. Вместе с тем, отмечаются очень высокие уровни резистентности, связанные с каким-либо одним механизмом (чаще всего метаболическим). Так, в результате совместной селекции фенвалератом с пиперонилбутоксидом (ППБ) была получена 11.000-кратная резистентность к фенвалерату, связанная только с системой микросомальных монооксигеназ [19].

Кросс-резистентность к пиретроидным инсектицидам и ДДТ, как правило, связана с kdr-механизмом и представляет большую опасность. Так, кросс-резистентная к пиретроидам раса комнатной мухи из Дании показала средние и высокие ПР к восьми протестированным пиретроидам и ДДТ (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Сравнительная токсичность инсектицидов для чувствительной и кросс-резистентной к пиретроидам рас комнатной мухи [112]

Инсектицид	LD50, мкг/особь (самки)		Показатель резистентности (ПР)
	Чувствительная (S)	Резистентная (R)	
Аллетрин	0,24	7,1	30
Фенотрин	0,037	3,7	100
Ресметрин	0,016	1,4	88
Перметрин	0,037	6,5	176
<i>транс</i> -Перметрин	0,042	> 6,5	> 155
Циперметрин	0,012	2,9	242
Фенвалерат	0,04	> 40,0	> 1,000
Дельтаметрин	0,00066	1,1	1,667
ДДТ	0,17	6,0	35

Селекция инсектицидами с различными механизмами действия может приводить к формированию перекрестной резистентности к соединениям из различных классов. Так, в результате селекции перметрином и малатионом, раса комнатной мухи приобрела резистентность к широкому набору как пиретроидных, так и фосфорорганических инсектицидов (табл. 1.2).

Как мы видим, существует широкое разнообразие механизмов устойчивости и их сочетаний, причем разные популяции одного и того же вида могут формировать резистентность к одному и тому же инсектициду или классу соединений по разным механизмам. Яркий пример этого - резистентность комнатных мух к пиретроидам [95].

Мониторинг и преодоление резистентности. Мониторинг резистентности заключается в слежении за уровнем чувствительности природных популяций к основным инсектицидам. Для каждого вида подбираются

Показатели резистентности к различным инсектицидам расы комнатной мухи, подвергнутой совместной селекции перметрином и малатионом [113]

Соединение	ПР	Соединение	ПР
Малатион	30	Перметрин	164
+ ППБ	70	+ ППБ	78
Стирофос	29	Пропоксур	> 60
Метилпаратион	13	ДДТ	> 385
Диметоат	8	Алдрин	3
Фенвалерат	229		

диагностические концентрации препаратов, т.е. такие концентрации, которые вызывают 100%-ю гибель чувствительных особей. Считается, что такой метод позволяет обнаружить снижение чувствительности даже на ранних этапах [84]. Однако точность этих методов невысока. Кроме того, чувствительность особей каждой локальной природной популяции может сильно колебаться под действием многих факторов как эндогенных (в первую очередь плотности популяции), так и экзогенных (погодные условия, время суток, вид и состояние кормового растения и т.д.). Этими методами регистрируется, в лучшем случае, состояние толерантности (т.е. примерно 2 - 4-кратной устойчивости), когда доля устойчивых особей в популяции уже достаточно высока. Поэтому неудивительно, что происходит быстрое увеличение числа как видов, так и популяций, резистентных к различным, в том числе новейшим, инсектицидам.

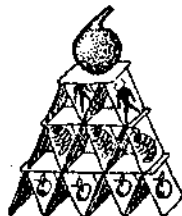
Наиболее распространенным и эффективным методом предупреждения и преодоления резистентности членистоногих к пестицидам является их ротация, т.е. чередование по определенным схемам. Как правило, чередуются препараты с различными механизмами действия. Часто в схемы ротации включают ювеноиды и ингибиторы синтеза хитина [94], микробиологические и вирусные препараты. Такие схемы, особенно, когда они основаны на предварительном изучении механизмов резистентности, достаточно эффективно тормозят и преодолевают резистентность. Однако картина усложняется, когда мы имеем дело с комплексом резистентных видов. В качестве примера можно привести систему ротации инсектоакарицидов, разработанную для комплекса вредителей хлопчатника в Таджикистане [84]. В результате 6-летнего применения этой системы удалось сдержать и снизить резистентность хлопковой совки и тлей, но существенно возросла устойчивость паутиных клещиков.

Следует заметить, что при современных масштабах применения инсектицидов, видимо, невозможно проводить эффективный мониторинг, а следовательно, и контролировать развитие резистентности и своевременно принимать меры.

Анализ данных по развитию резистентности за последние 10 - 15 лет [18, 81, 114, 115] показывает, что основная доля устойчивых популяций сосредоточена в странах с высоким уровнем и интенсивностью сельскохозяйственного производства (США, Япония, Австралия, европейские страны). Здесь наиболее активно ведется мониторинг, осуществляются программы по борьбе с резистентными популяциями, применяются новейшие пестициды и технологии. Вывод напрашивается сам собой: человечество пока не способно контролировать развитие резистентности к инсектицидам у членистоногих (боюсь, что это в равной мере относится и к остальным "парам": фунгициды - грибные болезни, гербициды - сорняки, антибиотики - бактерии). Очень сложно провести экономическую оценку резистентности - необходимо оценить убытки от того, что конкретные препараты потеряли эффективность, от потерь урожая из-за снижения эффективности пестицида, затраты вследствие увеличения дозировок. Кроме того, увеличение норм расхода ядохимикатов для борьбы с резистентными популяциями усиливает загрязнение окружающей среды и подавляет численность паразитических и хищных членистоногих.

Прогнозы и перспективы развития резистентности неутешительны. Неуклонно растет число как видов, так и популяций, резистентных ко все большему числу препаратов, в том числе новейших. Все больше сообщений поступает из развивающихся стран, где сельское хозяйство является ведущей сферой экономики. Ими закупается широкий ассортимент инсектицидов, в том числе самых современных. При этом не очень высокий уровень культуры сельскохозяйственного производства сочетается с низкой научной обеспеченностью агросектора и приводит к некомпетентному и неквалифицированному применению средств защиты растений и, как следствие, быстрому формированию резистентных популяций (как и почему это происходит, мы хорошо знаем на печальном опыте нашего сельского хозяйства). Кроме того, страны "третьего мира" расположены в основном в тропиках и субтропиках и обладают богатейшей фауной вредителей, зачастую плохо изученной.

По замечанию Дж. Маллета [80]: "...чувствительность вредителей - это ценный природный ресурс, который сейчас растрчивается..." Тактика контроля вредителей предоставляет возможность для эволюции резистентности. Один из лучших способов затормозить резистентность - использовать инсектициды только в крайних случаях. Резистентность насекомых к инсектицидам - уникальный и интереснейший пример адаптации. Необходимо развивать популяционно-генетические и популяционно-биологические исследования для управления проблемой резистентности и успешной выработки тактик ее преодоления.



1.5. Устойчивость экосистем при загрязнении пестицидами

Главная проблема химического метода, который по оценкам специалистов будет доминировать в

защите растений в ближайшие десятилетия, - необходимость его всемерного совершенствования. Для выработки стратегии щадящего применения инсектицидов важно выяснить характер изменений в биоцепозах в результате химических обработок.

Проблема устойчивости экосистем - одна из центральных в экологии. Устойчивость - это сумма всех компонентов и взаимодействий, составляющих сообщество - синтез всех свойств высшего порядка, проявляющихся на уровне сообщества, популяции и организма. Чтобы выяснить ее сущность нужно понять экологические и эволюционные реакции и взаимосвязи на всех уровнях [116].

Устойчивостью можно назвать внутренне присущую экосистеме способность выдерживать вызванное извне изменение или восстанавливаться после него, что объясняется гомеостатическими реакциями составляющих ее видов. Различают два типа устойчивости: резистентную и упругую. Резистентная устойчивость - это способность экосистемы сопротивляться нарушениям путем сохранения своей структуры и функций. Упругая устойчивость - это способность системы восстанавливаться после того, как ее структура и функции были нарушены. Каждая экосистема обладает обеими видами устойчивости, но их значение и вклад в общую устойчивость может отличаться в зависимости от типа нарушения и свойств экосистемы. Если нарушение превышает пределы устойчивости, то экосистема разрушается, но хроническое нарушающее воздействие (загрязнение выбросами предприятий, сточными водами, ядохимикатами и т.д.) также приводит к ее деградации и распаду. Наиболее опасны нарушения на уровне продуцентов, так как в результате возникают нарушения на всех остальных трофических уровнях.

Подмечено свойство животных из разных систематических групп, в том числе членистоногих, восполнять исходную численность популяции после каких-либо катастроф за счет эволюционно выработанных механизмов регуляции. Освободившиеся экологические ниши заполняются благодаря миграции с соседних территорий. Кроме того, популяция, видимо, "чувствует" резкое уменьшение численности и реагирует повышением коэффициента размножения увеличивая рождаемость и уменьшая смертность нового поколения.

Мировое производство пестицидов уже достигло 5 млн т в год и продолжает расти [117], расширяется ассортимент и увеличивается их стоимость. Тем не менее, годовые потери урожая, например, в США, причиненные вредными членистоногими с 1904 по 1974 гг., оставались - на уровне 11%. Эту парадоксальную ситуацию нельзя объяснить традиционными экологическими представлениями [117]. Требуется поэтапное решение, а именно: 1) инвентаризация стратегий химической борьбы; 2) анализ превращений инсектицидов в окружающей среде; 3) определение токсичности пестицидов для вредных и полезных членистоногих; 4) математическое моделирование последствий применения пестицидов и экологический прогноз.

Экологи упустили из виду опасные нелокальные последствия этих токсикантов, не обратили внимания на их сомнительную эффективность с точки зрения глобальных критериев, что подтверждается относительной

стабильностью доли урожая, изымаемой вредителями. Применение инсектицидов приводит к прогрессирующей нестабильности трофической цепи: растения - фитофаги - энтомофаги. Применяя эти препараты, мы во все возрастающем объеме "оплачиваем" ту смертность фитофагов, которую их естественные враги - энтомофаги вызвали "бесплатно". Поэтому необходим новый подход к оценке эффективности применения инсектицидов, основанный на глобальных критериях: 1) геофизических закономерностях поведения инсектицидов в окружающей среде; 2) токсичности к вредным и полезным членистоногим; 3) количественном анализе синэкологических последствий химической борьбы.

Глобальный характер проблем требует объединения усилий научных коллективов различных стран в рамках специальных международных проектов на многоступенчатой основе [117].

1.6. Избирательная токсичность пестицидов

Применение инсектицидов основано на их избирательной токсичности [118] в системе "человек - позвоночные животные - растения - вредные и полезные членистоногие". С возникновением концепции интегрированной защиты растений возникла проблема избирательной токсичности для системы "вредные членистоногие и их враги". По отношению к этой системе избирательная токсичность пестицидов дифференцирована на физиологическую и экологическую [20]. Под физиологической избирательностью понимается устойчивость членистоногих к действию инсектицидов благодаря их способности обезвреживать токсиканты в своем организме с помощью физиологических барьеров (плохая проницаемость покровов, эффективная детоксикация ферментами, видовая устойчивость нервных узлов, быстрый вывод инсектицидов и продуктов их метаболизма из организма и т.п.). Экологическая избирательность - это устойчивость к инсектицидам благодаря экологическим особенностям членистоногих, позволяющим избежать попадания препарата в результате укрытия в недоступных нишах, разного времени суточной и календарной активности, нахождения в неуязвимой фазе развития, разного отношения к теплу, свету, влаге и т.п. Биологические особенности членистоногих из разных систематических групп позволяют находиться вредителям в уязвимом, а энтомофагам - в недоступном для токсиканта состоянии.

Известны примеры физиологической устойчивости энтомофагов к инсектицидам [20]. Так установлено, что холинэстераза златоглазки и семиточечной коровки гораздо устойчивее к действию хлорофоса по сравнению с холинэстеразой злаковой тли [119]. Инсектициды эмифос и сафос токсичны для тлей и нетоксичны для их энтомофага-семиточечной коровки [119]. Другой пример: устойчивость к пестицидам паразитированных гусениц значительно возрастает, что способствует их выживанию и тем самым сохранению полезных видов [119].

Количественной мерой физиологической избирательности может быть отношение токсичности LD_{50} или $СК_{50}$ хищников и их жертв, называемое

коэффициентом избирательности. Обычно разница в чувствительности к большинству токсикантов у полезных и вредных видов мала, поэтому не проявляется на практике. Реализация свойств избирательности перспективна лишь у соединений, коэффициент избирательности которых не ниже 100 [120]. Практика свидетельствует, что физиологическая избирательность современных инсектицидов для системы "фитофаги - энтомофаги" - это скорее исключение в соответствии с широким спектром действия современных нервно-паралитических инсектицидов. Поэтому изучение и выявление экологической избирательности пестицидов более предпочтительная и выигрывающая задача, которая требует постоянных и специальных исследований. Такие исследования должны быть привязаны к региональным особенностям роста, развития и обитания членистоногих, а также к видовым и сортовым особенностям кормовых растений, определяющих питательную ценность корма и, соответственно, жизненный потенциал и плодовитость фитофагов. Понятно, что реализация физиологической и, особенно, экологической избирательности инсектицидов требует высокой квалификации и профессионализма от специалистов при практической реализации химической защиты растений.

Значительные резервы по увеличению экологической избирательности инсектицидов таят их смеси с фунгицидами и микроэлементами. Примером может служить практика применения метафоса против клубеньковых долгоносиков на клевере [119]. Восстановление их численности до экономического порога вредности (15 экз./м^2) после применения метафоса произошло на 17-й день, а смеси метафоса с хлорокисью меди, молибдена и бора - на 34-й день. К тому же, соотношение численности фитофаги/энтомофаги на этом клеверном поле после применения метафоса было нарушено на 260% от контроля, а упомянутой смеси - только на 60% на 11-й день. Этот феномен можно объяснить повышением иммунитета растений в результате применения подкормки микроэлементами (МЭ). Здесь возникают дополнительные возможности по применению МЭ в виде аэрозолей с использованием законов внекорневого питания, т.е. внесение аэрозолей МЭ в процессе вегетации по зеленому листу, в период налива зерна, формирования урожая и т.п.

Считается, что при действии современных нервно-паралитических инсектицидов хлор-, фосфор-, карбаматной и пиретроидной природы лимитирующим фактором смертности членистоногих является обезвоживание в результате паралича нервной системы и разбаланса биохимических отравлений организма [119]. Если это так, то продолжительность воздействия препаратов на членистоногих должна определяться их физико-химическими свойствами, обеспечивающими сохранение инсектицидов в течение длительного времени (десятки часов). Инсектициды с низкой испаряемостью, стойкие к воздействию света, кислорода и биогенных компонентов растений будут самыми эффективными против вредителей, но и самыми губительными для полезных и индифферентных членистоногих. С позиций нанесения наименьшего ущерба экосистеме, наиболее перспективны быстро испаряющиеся, фото-, кислородо-, гидронеустойчивые инсектициды. Их действие должно быть ограничено, чтобы реализовать временную экологическую изби-

рательность. Поэтому весьма перспективны фотонестабильные пиретроиды, особенно при аэрозольном применении. Применение аэрозолей инсектицидов после захода солнца и в ночные часы гарантирует их приземное распространение в слое растительности и эффективное оседание на поверхности тела насекомых. В течение ночи цель обработки, заключающаяся в индукции паралича насекомых и их последующей гибели от обезвоживания, будет достигнута. В течение следующего дня фотонестабильные пиретроиды разлагаются, способствуя сохранению биоты, т.е. действуя более избирательно.

Рассмотрим еще несколько примеров экологической избирательности. В отношении членистоногих травяного яруса наблюдается следующее. Сразу после опыливания или опрыскивания инсектицидами происходит уменьшение численности членистоногих на 30 - 100% [121 - 126]. Срок восстановления их исходной или контрольной численности определяется, главным образом, размером обработанной площади. Если обработаны небольшие делянки 50 x 50 м, участки леса 0,5 - 3 га, поля сельскохозяйственных культур до 15 га, то восстановление исходной фауны происходит через 10 - 15 дней, главным образом, за счет миграции с соседних необработанных участков [121, 124 - 126].

Аналогичные данные получены по весеннему авиаопрыскиванию минерально-масляной эмульсией ДДТ с расходом 2,2 кг/га по д. в. кедрово-пихтовых древостоев на площади в несколько десятков гектаров. Здесь, несмотря на 90%-ю гибель тленомуса, низкая численность которого прослежена в течение 40 дней, при осеннем учете все яйца сибирского шелкопряда в количестве 100 - 300 на дерево были заражены упомянутым паразитом [127].

В отличие от небольших участков, при обработке лесных массивов, даже колочного характера, но расположенных компактно, общей площадью 3 тыс. га, наблюдалось уменьшение численности мух, одиночных пчел, божьих коровок на 70 - 90%. Их численность не восстанавливалась в течение двух месяцев наблюдений [123].

При авиаобработке лесных массивов в несколько сотен гектаров с использованием фосфорорганических инсектицидов способом опрыскивания через 3 дня после обработки отмечено уменьшение численности насекомых травяного яруса восьми отрядов в 2 - 7 раз. Даже спустя 2 месяца их численность восстановилась не полностью [126]. При опыливании дустом ДДТ происходит полная гибель летающих паразитов сосновой пяденицы, численность которых не восстанавливается до конца вегетационного периода [128].

Продолжительность токсического действия инсектицида зависит также от его химической природы и препаративной формы. Так, 20%-й масляный раствор хлорорганических инсектицидов в количестве 5 л/га через 5 дней вызвал уменьшение численности насекомых травяного яруса на 70%, в то же время после авиаопрыскивания суспензией 80%-го смачивающегося порошка дитерфоса в количестве 1 кг/га в 30 л воды в сходных условиях через 5 дней количество насекомых травяного яруса не отличалось от контроля [122].

В отношении членистоногих напочвенного яруса проявляется та же закономерность, т.е. при обработке небольших площадей до 15 га [121, 124] погибшие на 75 - 100% жуки восстанавливают свою числен-

ность до контрольной через 10 - 20 дней в результате миграции с соседних участков. При сплошной обработке участков размером 100 га и более [121] или массивов леса в несколько тысяч гектаров наблюдается гибель жужелиц на 100% и их численность не восстанавливается до конца сезона [123] в течение двух лет [129], а при расходе 5 кг/га ДДТ по д. в. восстановление жужелиц начинается только через 3 года [39].

Для сохранения наибольшего количества полезных членистоногих важен ранний срок применения инсектицидов. Например, обработка дубрая до распускания листьев уменьшает гибель полезных насекомых в 10 раз по сравнению с обработками после распускания листьев [122].

Кроме регистрации отчетливого токсического действия опрыскивания и опрыскивания инсектицидами на полезную фауну ряд исследований посвящен избирательной токсичности химических обработок путем применения специальной тактики с учетом биологии вредных и полезных видов. Подчеркиваются [122, 126, 127, 130, 131] пути сохранения энтомофагов при химической борьбе с вредителями леса, возможности сочетания инсектицидных обработок с деятельностью паразитов при борьбе с весенним комплексом лесных вредителей. Эти пути и возможности заключаются в том, что обработка больших площадей в сжатые сроки против младших возрастов вредных насекомых способствует сохранению основной массы естественных врагов, которые, будучи паразитами, как правило, запаздывают в своем развитии по сравнению с хозяином и в момент обработки находятся в покоящихся стадиях развития и недоступны действию токсиканта. Это, в частности, относится к очагам хвое- и листогрызущих насекомых весеннего комплекса (непарный, кольчатый шелкопряды, монашенка, зеленая дубовая и боярышниковая листовертки, сосновая совка). В результате этих исследований подтверждена общая закономерность: чем старше возраст гусениц, с которыми ведется химборьба, тем большее количество связанных с ними энтомофагов поражается ядохимикатами [131].

Особо подчеркивается, что при умелом применении инсектицидов повторные вспышки размножения вредных насекомых - не обязательное следствие химобработок. Доказательством этого положения являются многолетние данные по Челябинской области [132] в очагах непарного шелкопряда, монашенки и сосновой ядленицы, где на протяжении 13 лет не зарегистрировано ни одного случая сокращения межвспышечного периода в результате разовой химической обработки леса.

Напротив, в условиях сельского хозяйства при регулярных и, часто, многократных химических обработках полей и в СССР, и за рубежом фиксируются многочисленные факты массового размножения членистоногих после применения инсектицидов [133].

Приемы, реализующие избирательную токсичность истребительных мероприятий, в настоящее время известны в виде комплекса мероприятий под названием интегрированных систем защиты растений. В обзорах литературы [133 - 137] анализируется огромный международный опыт щадящего использования пестицидов.

1.7. Миграция пестицидов по трофическим цепям



В процессе вегетации, хранения и консервации культурных растений концентрация пестицидов в пищевых продуктах и фураже снижается до безопасного для человека и сельскохозяйственных животных уровня. В естественных условиях дикие животные вынуждены обитать в загрязненной пестицидом среде в течение всего периода его сохранения,

когда и происходит его дальнейшее распространение по трофическим цепям.

Отдельные виды животных часто вымирают вследствие необратимых изменений популяционной структуры [138]. На животных часто воздействуют низкие дозы пестицидов, поражающее действие которых маловероятно, если речь идет о судьбе отдельной особи, но с которыми нельзя не считаться при воздействии на популяцию [139]. Наиболее важным звеном в трофических цепях наземных экосистем являются мелкие млекопитающие. Любое снижение их продуктивности изменяет функционирование экосистемы в целом. Большинство видов мелких млекопитающих является фитофагами, ими потребляется до 35% первичной продукции фитоценоза, они выполняют роль вторичных продуцентов, полностью обеспечивая пищевые потребности животных высших трофических уровней.

Комплексный анализ закономерностей накопления химических загрязнителей природных популяций (уровень элемента в среде обитания, пути его поступления в животных, количество потребляемого корма и его состав и т.д.) проводился только на примере некоторых тяжелых металлов [139]. При изучении распределения пестицидов в различных экосистемах определяли степень загрязнения отдельных звеньев трофической цепи [140]. В этом отношении много сделано применительно к водным экосистемам.

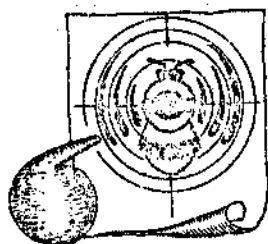
Первые работы такого рода были проведены в Калифорнии. Озера обрабатывали ДДТ в борьбе с комарами в 1949 г. в дозе 0,14 мг/л, в 1952 и 1957 гг. - в дозе 0,02 мг/л. В 1959 г. в планктоне было обнаружено 5,8 мг/кг ДДТ. Карпы, добытые в этом озере, уже содержали 22 - 25 мг/кг, а хищные рыбы до 2500 мг/кг, что в 125 тыс. раз превышало концентрацию препарата в воде. После 3-й обработки отмечалась массовая гибель рыбоядных птиц. В трупах погибших птиц было обнаружено до 1600 мг/кг упомянутого препарата [141].

В лесном биоценозе после обработки ДДТ в коре шльма было обнаружено до 242 мг/кг, в листе - 206, в почве - 298, в дождевых червях - 86,7 мг/кг этого препарата [142]. Через 2 года после обработки количество ДДТ в дождевых червях (64,8 мг/кг) превышало его содержание в почве (31 мг/кг). Все исследованные субстраты являлись звеньями пищевых цепей птиц: загрязненная почва и листья - дождевые черви - птицы; загрязненная кора - насекомые, обитающие под корой, - дятловые. Концентрируясь в тканях беспозвоночных, пестициды проникают в организм насекомоядных позвоночных.

Исследования в тайге, показали, что по мере нарастания эпитофагии у птиц концентрация свинца в их тканях увеличивается. При содержании

свина в растениях 0,4 максимум 0,7 мг/кг и в беспозвоночных от 1,5 до 10 мг/кг, наибольшая концентрация свина отмечена в тканях птиц преимущественно или исключительно насекомоядных [140].

Потенциальная опасность загрязнения биоценозов пестицидами в большой мере зависит от продолжительности периода сохранения их остатков в обработанных растениях и почве [143]. При медленном разложении пестицид на длительное время становится постоянным компонентом среды обитания и кормов животных. Поэтому необходимо избегать многократных обработок, применять минимальные дозы. Желательны технологии, при которых остатки пестицидов в растительности минимальны. Так, при обычном опрыскивании ОВГ-1В начальный уровень остатков метафоса в пшенице 39 мг/кг, и в почве 0,3 мг/кг, а при аэрозольном способе - 0,4 и 0,006 мг/кг соответственно [144].



1.8. Пестициды и опылители

Связи насекомых-опылителей и цветковых растений сложились в процессе их сопряженной эволюции. Нарушение этих связей резко уменьшает биомассу растений и урожай. Экономическое значение насекомопыления основных энтомофильных культур в странах Общего рынка оценивается в 5 млрд экю для урожаев с рыночной стоимостью 65 млрд экю. На долю пчел приходится 85% этой стоимости, а остальное - на других насекомых опылителей [145]. Перекрестное опыление наиболее эффективно осуществляют насекомые из семейства пчелиных (около 30 тыс. видов). Они опыляют более 50 сельскохозяйственных культур [20, 146 - 149].

Урожай плодовых и ягодных культур при их полном опылении пчелами возрастают на 30 - 40%, дынь и тыкв - в 2 раза и более [146, 150]. Размещение ульев в садах, обеспечивающее многократное посещение цветков яблони пчелами, положительно сказывается на образовании полноценных завязей, средней массе плодов, количестве и всхожести семян, жизнеспособности сеянцев яблони [149, 151].

Важная роль насекомых-опылителей (особенно медоносных пчел) отмечалась для малины. Урожай, в зависимости от сорта, повышался от 14 до 25%, что прежде всего было связано с увеличением размера плодов [152]. Пчелы повышают урожайность семян кормовых трав: люцерны, красного клевера, вики мохнатой в 3 - 4 раза [146]. По данным В.С. Гребенникова [153], опыление люцерны мегахилами, искусственно размножаемыми на полях Новосибирской области, дало прибавку урожая семян люцерны от 0,7 до 5,5 ц/га. На подсолнечнике одна пчела опыляет 4 - 16 тыс. цветков. При этом урожай увеличивается на 66%, содержание масла - на 5,8%, всхожесть семян на 12,5%. Пчелоопыление повышает урожайность хлопка, и межвидовая гибридизация хлопчатника возможна только с участием пчелоопылителей [150, 154]. Использование пчел в закрытом грунте увеличивает

урожайность томатов [155], огурцов [150], тыквы на десятки процентов, улучшает сортность плодов [156].

В условиях современного земледелия с обширной распаханностью угодий, крупными размерами полей, интенсивным применением средств химизации нарушается естественная среда обитания насекомых-опылителей, численность которых резко сокращается. Впервые с этой проблемой в конце прошлого столетия столкнулись в США. Первоначально до широкого использования пестицидов, начавшегося после второй мировой войны, она носила локальный характер [157]. Высокая эффективность синтетических органических инсектицидов сделала возможным их использование не только на всех сельскохозяйственных культурах, но также на громадных территориях пастбищ и лесов. Применение эффективных гербицидов резко уменьшило медоносные растения, как культурные, так и дикие, а также заменило медоносные растения на немедоносы. Увеличение монокультур сельскохозяйственных растений, уменьшение целинных участков и уничтожение сорняков привело к значительной зависимости медоносных пчел от опыляемых культур, они вынуждены питаться на обработанных химическими средствами полях. Это стало одной из причин сокращения числа пчелосемей. Наблюдения за потерями, вызванными отравлением пчел, показывают, что они очень значительны [20, 41, 158 - 165].

Несмотря на разнообразные меры по предотвращению отравления пчел, потери от гибели и косвенного урона продолжают расти [166]. При отравлении пчел наиболее общим симптомом [157, 167] является появление в улье больных и мертвых особей. Естественной считается гибель в семействе до 100 пчел в день, 500 - 900 экз. - средняя смертность, более 1000 пчел в день - высокая. Но, кроме смертности, при отравлении обычный симптом - агрессивность. Когда пчелы гибнут, рабочие особи почти всегда становятся "кусачими". Это наблюдается при обработках линданом и фосфорорганическими инсектицидами. ДДТ и другие хлорорганические препараты вызывают оцепенение, паралич, ненормальные отрывистые и вращательные движения. Выделение нектара из зобика наблюдалось при отравлении ФОСами. В этих случаях перед ульями можно видеть влажную, липкую массу мертвых и погибающих пчел.

Показано [157], что сублетальные дозы паратиона вызывают у пчел ошибки в правильном определении направления и расстояния к месту питания, а также потерю чувства времени. Отравление карбарилем, севином или дильдрином приводит к изменению в поведении, схожему с холодным оцепенением, т.е. пчелы ведут себя замедленно, не могут летать, карабкаются, а через 2 - 3 дня погибают [157, 167].

При тяжелом отравлении [167] типичны плохо очищенные ульи. Скопление мертвых пчел на дне может забивать леток, и оставшимся пчелам трудно им пользоваться. Отравление отличается от зимней гибели тем, что в последнем случае не бывает мертвых пчел на верхних досках или пчел, застоявшихся вниз головой в ячейках сот. Пчелиная семья быстро обучается узнавать отравленных пчел, так как их движения не связаны с полетом. Это, как правило, рабочие пчелы, контактировавшие с остатками пестицида в поле. Отравление происходит также в результате питания пыльцой, содержащей

ядохимикат. Так, пыльца с остатками карбарилла может сохранять токсичность в течение 8 месяцев при хранении в сотах. Погибшая семья в этом случае имеет типичные признаки карбарильного или мышьяковистого отравления, нарушается терморегуляция в улье и происходит охлаждение.

У матки, загрязнение которой происходит через пыльцу, обнаруживаются следующие изменения в поведении: откладка яиц в грязные ячейки, чрезвычайная угнетенность, которую связывают с уменьшением ею секреции специальных веществ [157]. Широкое использование различных инсектицидов является одной из причин гибели некоторых рабочих пчел и маток в течение зимы.

Пчелы-сборщицы без видимого вреда для себя способны заносить в гнездо многие неорганические и органические контактно-кишечные инсектициды в высоких концентрациях [168]. При содержании пчелиных семей на кормах, собранных с обработанных медоносных культур, как правило, наблюдается хроническое отравление пчел, ведущее к резкому ослаблению силы семей и к повышенной восприимчивости отдельных особей к различным болезням. Как при искусственном, так и при естественном заносе пчелами в мед с обработанных цветущих медоносов гексахлорана и севина, последние сохраняются в меде более 10 месяцев хранения, независимо от температуры.

Гистологические исследования отравленных пестицидами пчел показали, что при применении производственной концентрации 2,4-Д набухают трахеи, почти на 20% в клетках уменьшается содержание РНК, в клетках мальпигиевых сосудов меняется состояние ДНК, в клетках нервной ткани разрушаются ядра, а в соединительной ткани в 1,5 раза увеличивается содержание РНК. При действии хлорофоса происходит повреждение мышечного слоя, вакуолизация цитоплазмы, значительное изменение эпителия средней кишки. Таким образом, отравление вызывает глубокие цитологические изменения [169].

Изучение действия пиретроидов: дельтаметрина, циперметрина и перметрина на активность фосфогидролаз АТФ и аминотрансфераз при экспериментальном отравлении пчел показало, что небольшие дозы пиретроидов могут нарушать течение процессов метаболизма у насекомых уже в первые часы воздействия пестицидами [170].

При разработке новых пестицидов обязательна их характеристика по степени опасности для пчел. Кишечная токсичность определяется при индивидуальном скармливании заданной дозы препарата, контактная: а) при аппликации препаратов на грудные тергиты; б) контакта насекомых с обработанной поверхностью. На основании данных по токсической активности при нанесении на тергиты груди, инсектициды подразделяются на три группы: высокотоксичные - ЛД₅₀ менее 2 мкг на пчелу, среднетоксичные - ЛД₅₀ от 2 до 11 мкг, относительно нетоксичные - ЛД₅₀ свыше 11 мкг [171].

Данные по токсичности некоторых инсектицидов на пчелу приведены в табл. 1.3. Инсектициды пиретроидного типа, применяемые в сельском хозяйстве, малотоксичны для теплокровных, но высокотоксичны для пчел. Набор инсектицидов, слабо действующих на пчел, крайне невелик. Отрицательные последствия применения инсектицидов зависят не только от токсичности, но и от других факторов. Большую роль, в частности, играет препаративная

Таблица 1.3

Токсичность инсектицидов и акарицидов для пчел, ЛД₅₀, мкг/г
[158, 160, 171 - 177]

Препарат	Апликация на груд- ные тергиты	Токсичность	
		Кишечная	Контакт с обрабо- танной поверхностью
1	2	3	4
Альдрин	3,5	—	—
Гентахлор	5,2	—	—
ГХЦГ тех.	20,0	20,0	—
Линдан, ВНС	5,6	—	—
ДДТ	180,0	180,0	—
- " -	59,5	—	—
Дильдрин	1,4	—	—
Диенохлор	160,0	100,0	250,0
Токсафен	—	1000,0	—
Хлорфенамедин	160,0	200,0	58,0
Эндрин	60,0	70,0	—
- " -	20,0	—	—
Актелик	22,0	20,0	—
Антио	23,8	19,0	—
Ацефат	5,0	1,0	30,0
Базудин	60,0	15,4	—
Волатон	5,0	10,0	—
Гардона	185,0	97,0	—
- " -	13,7	—	—
- " -	20,0	11,0	—
- " -	60,0	20,0	—
Димефокс	30,0	7,0	—
Диметоат	1,8	—	—
- " -	6,0	7,0	—
- " -	20,0	12,0	—
Диазинон	3,7	—	—
Дибром (налед.)	4,8	—	—
- " -	10,0	1,5	—
ДДВФ	4,9	—	—
- " -	4,3	4,3	—
Дурсбан	0,65	1,09	0,01

1	2	3	4
Дурбан	1,14	—	—
- " -	4,0	10,0	—
Дикротофос	3,0	—	—
Метаксидофос	8,5	2,0	5,2
Мегидатион	2,3	—	—
Метафос	2,9	—	—
- " -	6,0	2,7	—
Мешифос	3,6	—	—
Малатион	7,0	—	—
- " -	14,0	19,0	—
- " -	71,0	88,0	—
Метатион	1,5	0,9	—
Метилмеркантифос	—	50,0	—
Карбофенотион	44,7	—	—
Нексион	483,0	223,0	—
Ортеп	5,7	11,0	—
Паратион	1,7	—	—
Фталофос	156,0	213,0	—
Фенсульфотрион	35,0	—	—
Фениртотион	3,8	—	—
- " -	19,0	—	—
Хлорофос	337,0	103,0	—
- " -	100,0	15,0	0,1
Хлорпифос	1,9	2,2	0,7
Циапекс (цианофос)	4,0	9,8	—
Этримфос	0,8	—	—
Азоциклотрин	172,0	50,0	50,0
Амитраз	100,0	200,0	250,0
Бромпропилат	100,0	100,0	250,0
Диазобутон	40,0	63,0	7,0
Пропаргит (омайт)	100,0	200,0	—
Прокнонон (акар)	100,0	200,0	250,0
Альдикарб	2,8	—	—
Азинофосметил	4,0	—	—
Дноксакарб	0,4	0,1	5,0

1	2	3	4
Карбофуран	1,6	—	—
Карбарил (севин)	70,0	7,0	—
- " -	13	—	—
Кабаналат	23,6	—	—
Мексакарбат	3,0	—	—
Пиримикарб	100,0	64,0	72,0
Фозалон	400,0	200,0	—
- " -	130,0	640,0	—
Фталофос	2,0	—	—
Эндосульфан	78,0	—	—
Альфаметрин	2,4	10,0	—
Аллетрин	170,0	200-400	—
Бифентрин	6,3	18,3	—
Дельтаметрин	3,3	34,8	—
Неопигомин	28,0	8,0	8,0
Пиретрин	10,0	7,0	—
Перметрин	2,0	5,3	34,0
Ресметрин	28,0	8,0	8,0
- " -	100,0	200,0	250,0
Фенвалерат	4,0	14,0	—
- " -	37,0	913,4	—
Флувалинат (маврик 2E)	1235,8	3515,6	—
Цигалотрин	3,5	76,4	—
Циперметрин	6,0	129,1	—
- " -	1,0	—	—
Эсфенвалерат	6,0	50,2	—
Этофенпрокс	4,4	103,4	—

форма. Для пчел гораздо более опасно применение пестицидов в форме дустов [157, 171], чем в виде жидкостей. Влажный порошок имеет более длительное остаточное действие, чем концентраты эмульсии. Токсичные остатки, полученные разными препаративными формами, по-разному собираются с поверхности растений пчёлами, вызывая иногда при больших уровнях осадка меньший биологический эффект (табл. 1.4).

Сбор с загрязненной поверхности является главным фактором получения пчелами летальной дозы при контакте с растительностью.

Уровни осадка ДДТ и смертность медоносной пчелы, ррп

Препаративная форма	Листья люцерны	Пчелы	Смертность, %
50%-й смачивающийся порошок	133	33	74
24%-й эмульгирующий концентрат	211	11	12

Способность эффективно собирать яд может быть связана с различными участками тела, в том числе щетинками, которые приспособлены для удержания мельчайших гранул пыльцы. Порошковые препараты хорошо прилипают к телу пчелы и вместе с пыльцой очищаются в пыльцевые корзиночки. Большое количество погибших светлоокрашенных, пушистых свежевылупившихся рабочих пчел - это верный признак загрязнения, поскольку они активно кормятся пыльцой [167].

Высокоотоксичны для пчел микрокапсулированные формы паратиона и метилпаратиона с размером частиц 30 - 50 мкм, которые похожи на пыльцу [157]. Помимо контакта с пестицидами при попадании их на пчелу во время посещения обработанных растений на лапках и теле пчелы пестицид переносится в улей, что губительно действует на других пчел и расплод. Так, применение метилпаратиона в гранулированной форме вызывало тяжелое отравление пчел и в течение года привело к разрушению примерно 20 тыс. пчелосемей [160, 178].

У фуражирующих пчел, имеющих доступ к цветущим растениям, обработанным микрокапсулированным метилпаратионом, препарат обнаруживали в пыльце и в средней кишке даже через 9 дней после обработки. Почти 10% ячеек с пыльцой в сотах, взятых из семей, которые собирали нектар на обработанной территории, содержали метилпарагигон. Более безопасно для пчел опрыскивание масляными растворами, на что указывают данные табл. 1.4.

Добавки поверхностно-активных веществ могут играть двойственную роль. Так, показано [157], что низкие дозы поверхностно-активных веществ не токсичны для пчел. Однако даже их низкие концентрации (25 ррп) вызывают массовое потопление пчел в небольших водоемах и лужах, а концентрация до 500 ррп оказывает репеллентное действие.

Испытания синтетических пиретроидов - сравнительно новых и перспективных инсектицидов - показали высокую токсикологическую активность в лабораторных исследованиях и относительную безопасность для пчел в полевых условиях. Противоречивость этого явления объясняется резким снижением норм расхода пиретроидов по сравнению с другими классами инсектицидов, а так же многообразием факторов, определяющих поведение как инсектицида, так и опылителей в агробиоценозе.

Так, применение циперметрина на злаковых в дозах 7,5 и 15 г/га существенно не увеличивает гибель пчел по сравнению с контролем. От диметоата с нормой расхода 500 г/га погибало до 2000 пчел на улей (LD_{50} для этих препаратов одинаково высокая, около 1 - 2 мкг/г). Фуражирование пчел на обработанных циперметрином участках резко

сокращалось в течение 24 ч с сохранением этого эффекта в последующие трое суток [179].

Репеллентные свойства проявлял и перметрин с расходом 220 г/га (до 6 обработок за сезон) [180]. Обработки не вызывают ненормальной гибели пчел, если проводятся во время, когда пчелы не фуражируют.

Применение репеллентов значительно усиливает репеллентное свойство пестицидов [181]. Опрыскивание 0,5 - 0,2% -й водной эмульсией оксамата (репеллент с низкой токсичностью для теплокровных) оказывает защитное действие в течение 120 мин. Испытание пестицидов совместно с оксаматом дало положительный результат - репеллентная активность пестицидов возрастала и не отмечалось гибели пчел в подогытных пчелиных семьях.

Последовательная оценка действия фастака (циперметрин) на медоносных пчел в полевых условиях [177] показала, что фастак и фозалон не оказывают отрицательного действия на жизнеспособность медоносной пчелы, в отличие от метилпаратиона, дающего высокую смертность. Применение фастака приводило лишь к кратковременному снижению фуражировочной активности сразу после опрыскивания. Химический анализ показал крайне низкие остатки фастака в образцах пыльцы, меда, воска и в мертвых пчелах, взятых после обработки. Остатки фозалона и фастака вызывают смертность только 10% пчел, в то время как диметоат - 95%.

По данным [173], для 9 синтетических пиретроидов, применяемых в производственных нормах расхода в полевых условиях, не снижалась активность лета пчел - сборщиц, но изменялось их поведение на растениях в день применения инсектицидов. С обработанных пиретроидами растений насекомые в "стоячем полете" собирали только пыльцу не контактируя с чашелистиками цветков. Признаков интоксикации не наблюдалось.

Высокая токсичность пиретроидов [177] в лабораторных условиях и их относительная безвредность в поле, связана с низкими нормами расхода, и особенностями поведения пчел на обработанных растениях, что позволяет избежать опасности интоксикации, к тому же высокая репеллентная активность пиретроидов вынуждает пчел покидать обработанные участки. Вновь они начинают их посещать не раньше, чем через сутки, что значительно снижает опасность отравления. Остаточная же токсичность очень мала и отрицательно не действует [168, 177, 182 - 185].

Все результаты экспериментов с инсектицидами в форме аэрозолей согласуются с теоретическим обоснованием оптимизации применения инсектицидов [186]. Аэрозольная концепция указывает, что инсектицидные аэрозоли особенно высокотоксичны для летающих насекомых при попадании их в аэрозольное облако, так как основная доля препарата, вызывающая гибель насекомых, попадает на объект из объема. Хотя токсичность большинства пестицидов для пчел достаточно высокая, уровни остаточных количеств после аэрозольных обработок не обеспечивают сбора насекомыми летальной дозы препарата. Это подтверждают многочисленные случаи применения аэрозолей в ночное или раннее утреннее время, когда пчелы не активны.

В экологическом аспекте применение пестицидов в виде аэрозолей предпочтительнее, чем традиционные технологии авиационного и наземного опрыскивания. Это объясняется следующими причинами. Аэрозольная тех-

нология уменьшает удельный расход препарата в 2 - 10 раз, что снижает глобальное загрязнение. После аэрозольных обработок начальные уровни загрязнения, как на растительности, так и в почве в десятки раз для ФОС и в несколько раз для пиретроидов ниже, чем при авиационном и наземном опрыскивании [187, 188]. Масштабы исследований по токсикологии медоносной пчелы чисто количественно превысили, и даже заслонили те же проблемы, которые в меньшей степени актуальны для других опылителей - одиночных пчел [153, 165, 189 - 196] и шмелей [197 - 201].

Вместе с тем, медоносная пчела сейчас в подавляющем большинстве содержится в контролируемых человеком условиях. И в случае грамотно скоординированного и компетентного управления всеми мероприятиями по защите как растений, так и пчел, всегда можно свести к минимуму негативное воздействие инсектицидов или исключить его вовсе (совместное применение пестицидов с веществами усиливающими репеллентный эффект, различные способы изоляции пчел от обработанных растений - как во времени, так и в пространстве - рациональные сроки обработки, кочевки пасек и т.д.). Другое дело - неконтролируемые популяции диких опылителей. В этом случае требуется всестороннее владение информацией по биологии опылителей, фенологии цветения растений, роли множества факторов (погода, кормовые растения, скорость разложения инсектицида и т.д.) с тем, чтобы предотвратить отравление диких опылителей.

Главными направлениями снижения ущерба для одиночных пчел и шмелей следует считать:

- отдаленные сроки химобработок от периода цветения;
- быстрорастворяющиеся инсектициды;
- мало- или неопасные для опылителей препараты;
- вместо инсектицидов (в классическом варианте - "веществ, убивающих насекомых" - дословный перевод) гормональные препараты высокой специфичности, феромоны для привлечения и отлова вредных насекомых, а также вирусные и грибковые узкоспециализированные препараты [202, 203];
- альтернативные экологические способы защиты растений и ведения сельского хозяйства (см. гл. 3.3).

Что же касается шмелей, то следует перечислить черты их образа жизни, с одной стороны, благоприятствующие, а с другой - осложняющие применение инсектицидов. Шмели - дневные нектарофаги. Вместе с тем, есть наземногнездящиеся виды (в отличие от под- и наземногнездящихся) шмелей (*Bombus agrorum* и *B. distinguendus*), гнезда которых менее укрыты и, стало быть, более потенциально уязвимы. Кроме того, в конце лета самцы, самки нового поколения и некоторые рабочие особи шмелей могут оставаться на цветущих растениях, не возвращаясь на ночь в гнездо, и подвергаться, таким образом, воздействию ночных аэрозольных обработок инсектицидами.

Не следует упускать из виду косвенное влияние инсектицидных обработок на шмелей. Это может быть снятие пресса ночных и/или дневных конкурентов-нектарофагов в результате воздействия на них препаратов. Опустевшие от насекомых, но содержащие в обильном нектаре остатки инсектицида участки становятся очень привлекательными для других нектарофагов и опылителей, собиравших корм на соседних участках и занимавших субдоминантное положение в системе межвидовых отно-

шений [178]. Возможен и длительный репеллентный эффект применения инсектицида, когда уже яд разложился на 99%, а насекомые не посещают этот кормовой участок, что может в основе своей иметь условнорефлекторный характер (после 1 - 2 посещений обработанного участка фуражиры надолго отказываются посещать эту зону [6], с. 104 - 105].

Отсутствуют исследования (но надо полагать - не эффект!) по отдаленному воздействию инсектицидов, как в масштабах одной генерации, так и для последующих поколений опылителей. Интенсивно начавшийся процесс доместикиции одиночных пчел и шмелей заставляет тщательно продумывать технологию защиты опылителей от химобработок [153, 197, 204], которая сводится на данном этапе развития агроэкологии практически к тем же мерам, которые рекомендуются для медоносной пчелы.

Таким образом, как показывают многочисленные исследования, насекомые-опылители высокочувствительны к пестицидам. Поэтому в полевых условиях желательно подбирать такую технологию их применения, при которой, благодаря низким нормам расхода препарата, обработкам в неактивное для этих насекомых время суток, незначительному уровню остаточных количеств пестицида на растительности, а также его репеллентным свойствам и отсутствию системного действия, практически возможно избежать отрицательного действия на опылителей. Кроме того, резерв гармонизации отношений в агроэкосистемах лежит в организационной области (четкое выполнение рекомендаций, регулярные севообороты, грамотная пространственная планировка посевов, организация кочевых пчел, создание цветочных конвейеров) и повышении совокупной культуры производства.

Действие инсектицидов на членистоногих многолетних плодовых насаждений. Если однократное воздействие инсектицидов заканчивается восстановлением исходной трофической и таксонометрической структуры, то результаты хронического воздействия инсектицидов приводят к сильным структурным изменениям в экосистемах. Этот процесс проанализирован на примере плодовых садов Крыма, Южного Таджикистана, Закарпатья, Латвии, Кабардино-Балкарии, Центрально-Черноземной зоны [205 - 208]. Показан характер изменений в популяциях членистоногих садов и причины происходящих процессов после многолетнего применения пестицидов.

Отмечены обеднение видового состава, рост численности одного или группы видов, смена доминантов и нарушение сезонной динамики численности. Выявлены причины, вызывающие эти изменения. Это отбор толерантных видов и элиминация высокочувствительных к химическим препаратам форм, образование физиологически устойчивых популяций, обеднение кормовой базы зоофагов, сохранение экологически устойчивых видов, освобождение от пресса естественных врагов, стимулирующее действие пестицидов на растение и некоторых насекомых. Эти причины сформировали фауну современного садового агроценоза, которая является общей для всех стран с развитым садоводством. Подчеркивается, что такая ситуация не стабильна и подвержена изменениям, как это уже бывало за последние 30 лет. Наблюдается возврат к прежним доминантам, возрастание численности листогрызущих чешуекрылых и долгоносиков, что связано с появлением садов нового типа (пальметты, луговые, спуровые).

В промышленных садах на Северном Кавказе при обработке

пестицидами с кратностью 4 - 5, 7 - 8 и 16 - 18 раз за сезон сохраняется 89 видов зоофагов, в то время как в кронах необрабатываемых садов степной и предгорной зон насчитывается 169. В кронах промышленных садов Крыма, черноземных областей, Кабардино-Балкарии сохраняется лишь около 30 % энтомофагов.

В Крыму в конце сезона сады были полностью обезлиственны, а урожай потерян из-за массового размножения боярышниковой минирующей моли (до 7 - 30 мин на лист). Боярышниковый клещ вытеснил бурого клеща, которым было заселено 80 % садов, что вызвало потери 30 - 35 % урожая. Произошла смена видов листовой верток. Среди фитофагов стали преобладать паутиновые клещи, листовертки и минирующие моли. Все виды, доминирующие в садах - скрытоживущие: плодожорки, минирующие моли, листовертки. Интересно, что из сложного комплекса членистоногих, населявших многолетние плодовые насаждения, в первые годы интенсивного применения пестицидов исчезли открытоживущие виды, в массе появившиеся затем вновь.

Нарушаются трофические связи фито- и зоофагов: в контроле связь между ними имеет коэффициент корреляции 0,7 - 0,9, а при обработках пестицидами снижается до 0,3 - 0,4. В промышленных садах с многократными обработками пестицидами в течение сезона сохраняются зоофаги с природной устойчивостью к токсикантам. Это стеторус, златоглазка, набида. Высококочувствительные хищники и паразиты в результате регулярного применения инсектицидов исключаются из энтомоценоза полностью.

Причины, приводящие к вспышкам размножения одного или группы видов или к смене доминантных видов, неоднозначны: отбор толерантных видов, возникновение устойчивых популяций вредителей. В СНГ устойчивость к инсектицидам установлена для 33 видов вредителей сельскохозяйственных культур, против которых ведутся регулярные обработки.

Различные виды листоверток стали основными вредителями яблоневых садов благодаря приобретению устойчивости к инсектицидам и приводят к потерям 30 - 50 % урожая. Вредоносность листоверток стала превосходить вредоносность яблоневой плодовой жорки. В совхозах Краснодарского края максимальная поврежденность плодов яблоневой листоверткой достигала 67 %. Резистентность листоверток (яблоневой, розанной, всеядной) достигает 50 - 70-кратного уровня.



1.9. Применение пестицидов и нарушение равновесия популяций членистоногих

Глобальное применение пестицидов поставило задачу выявления характера вызываемых изменений и на основе их анализа - объяснения причин этих изменений для того, чтобы выбрать пути избирательного применения пестицидов с минимизацией ущерба окружающей среде. Благодаря интенсивному применению современных средств защиты растений стало понятно все значение взаимосвязей между организмами [125]. Вскрыто наличие регу-

ляторных механизмов в популяциях и доказано, что применение пестицидов приводит к нарушению их динамики [209].

Обстоятельный анализ нарушения равновесия популяций членистоногих после применения в основном хлорорганических инсектицидов дан в обзорах [20, 123]. Основные выводы этих работ, видимо, правомочны ко всем современным пестицидам.

Применение инсектицидов основано на избирательной токсичности. Хлор-, фосфорорганические инсектициды, карбаматы и пиретроиды весьма токсичны против насекомых и в десятки, сотни раз менее токсичны против позвоночных и человека. Поэтому возможно их относительно безопасное применение по отношению к теплокровным. Избирательность синтетических инсектицидов к членистоногим выражена слабо. Как правило, после их систематического применения в сильной степени гибнут как целевые фитофаги, так и нецелевые паразиты, хищники, опылители, а также индифферентные насекомые и пауки, что нарушает сложные биоэкологические отношения. В результате неумеренного и многократного применения пестицидов подвижное сбалансированное равновесие в энтомоценозах нарушается, что приводит к вспышкам массового размножения и возобновления фитофагов, вышедших из-под контроля биотических регуляторов. Губительное действие инсектицидов на естественных врагов членистоногих вроде бы очевидно. Однако для подтверждения этого явления нужно убедиться в том, что:

1) существует отрицательная корреляция между численностью вредителей и их естественных врагов;

2) только паразиты и хищники ограничивают численность фитофагов;

3) отсутствует стимулирующее влияние пестицидов на фитофагов непосредственно или через кормовые растения.

Имеется обширная литература, доказывающая первое положение: при увеличении численности врагов численность вредителей уменьшается [20]. Второе положение справедливо при небольшой численности фитофагов. Во время вспышки массового размножения насекомых на полях и в лесу паразиты и хищники уже не способны сдерживать численность фитофагов ниже порога, за которым начинается сильное и полное объедание растительности.

Третье положение справедливо не для всех вредителей и инсектицидов. Иногда слабые дозировки инсектицидов стимулируют биотический потенциал растительноядных членистоногих и уменьшают устойчивость растений к вредителю, что известно для клещей по отношению к ДДТ [210], фунгицидам и, видимо, гербицидам. Это доказано в отношении фунгицидов, содержащих серу. Сера уничтожает хищных клещей, которые подавляют паутиных клещей. В результате наблюдаются вспышки массового размножения паутиных клещей на посевах хлопчатника и в садах.

Хотя фунгициды малотоксичны против насекомых, тем не менее, экспериментальная проверка их действия на естественных врагов растительноядных клещей показала, что 4-кратные повторные обработки тремя фунгицидами вызывают уменьшение численности фитосенд, что влечет возрастание численности популяций растительноядных клещей, три других фунгицида нейтральны в отношении фитосенд [211]. Кроме действия на энтомофагов, фунгициды угнетают энтомофторовые грибы, которые живут за счет

растительных насекомых. В результате численность фитофагов резко возрастает. Так, использование беномила для уничтожения патогенных грибов на посевах сои увеличило численность капустной совки из-за гибели природных микроорганизмов - возбудителей болезней у капустной совки [142].

Гибельное действие на энтомофагов оказывают порошкообразные пестициды и даже одни инертные порошки. Вызывая гибель врагов, они, в условиях сухого континентального климата, способствуют массовому размножению фитофагов [20].

При долговременном снижении численности энтомофагов, что происходит при ежегодном и многократном применении пестицидов, например, в садах или при обработке посевов монокультур с большими остатками инсектицидов, снижаются биотический потенциал данного биоценоза и регуляторные возможности всей экосистемы. Следствием этого являются частые вспышки массового размножения фитофагов, которые становятся хроническими. Для их подавления увеличивают кратность и дозы применения инсектицидов, что ведет к появлению устойчивых популяций фитофагов.

В. Риппер приходит к выводу, что агроценозы (сад или зерновое поле) являются биологическими системами, обладающими механизмом защиты от фитофагов-вредителей [20]. Роль защитного механизма выполняют популяции естественных врагов. Однако энтомофаги могут успешно противостоять только определенной численности вредителей. С массовыми размножениями фитофагов обычно удается справиться только с помощью инсектицидов. И здесь важно помнить, что химической обработкой желательнее только уменьшить плотность популяции вредителя, стимулируя функционирование защитного механизма биологической системы агроценоза.

Соотношение фитофагов и энтомофагов, обеспечивающее состояние подвижного равновесия. Долговременная практика применения пестицидов показала, что неупорядоченные химические обработки приводят к нарушению динамики популяций членистоногих [20], поэтому выявление соотношений численности фитофагов и энтомофагов до и после применения инсектицидов имеет решающее значение для прогноза устойчивости энтомоценозов. На равновесие популяций членистоногих особенно разрушительно действуют многократные и ежегодные обработки инсектицидами, что характерно для плодовых садов [205 - 208]. Многократные инсектицидные обработки хлопчатника пиретроидами (фенвалерат 0,11 кг/га и АС-22 - 0,056 кг/га) и фосфорорганикой (токсафен + метилпаратион - 2,2 + 1,1 кг/га) вызвали полное уничтожение 16 видов хищных членистоногих [212]. Однако ежегодные, но однократные обработки хлопчатника в Южном Таджикистане фосфорорганическими инсектицидами (фозалон, дурсбан), пиретроидами (децис, перметрин, сумицидин, рипкорд), тиоданом и севинном не изменили по сравнению с контролем динамику численного соотношения "связки" фитофаги-энтомофаги [213].

Одно- и двукратные аэрозольные обработки одновременно больших массивов сельхозугодий в несколько тысяч гектаров в Новосибирской области с применением фосфорорганических инсектицидов (метафоса, метатиона) также не нарушили соотношения фитофагов и энтомофагов в травостое приколочных целинных участков в Карасукской лесостепи [214]. Соотно-

шение фитофагов и энтомофагов на опытных и контрольных полигонах по их относительной численности в процентах и по абсолютной численности, т.е. по числу фитофагов, приходящихся на одного энтомофага, свидетельствует, что аэрозольные обработки инсектицидами не нарушают этих соотношений, которые составляют в среднем 4 : 1.

Эффективное регулирование численности насекомых-фитофагов их паразитами и хищниками обычно происходит на относительно низком уровне плотности вредителей. Важно знать количественные соотношения взаимодействующей системы "фитофаги - энтомофаги", которые указывали бы на желательное состояние подвижного равновесия. Моделирование системы "паразитонд - хозяин" [215] с учетом принципа оптимальности [78, 216] свидетельствует, что такая модель глобально устойчива как в детерминированной, так и в случайной среде. Моделирование системы "фитофаги хлопчатника - энтомофаги" показало, что при урожае хлопка 40 ц/га для поддержания в агроэкосистеме состояния устойчивого равновесия должно быть не более 100 ед. вредителей, и не менее 24 ед. полезных насекомых, т.е. при численном моделировании системы "фитофаги - энтомофаги" получено соотношение 4 : 1 [217].

Для природных сообществ членистоногих известно соотношение "хищник - жертва" в норах большой песчанки [218]. Эта специфическая система действовала как саморегулирующаяся при соотношении "жертва - хищник" = 3 : 1. Соотношение фитофагов и энтомофагов среди членистоногих травяного яруса приколочных целинных участков в лесостепи Новосибирской области составило в среднем 4 : 1 с колебанием количества фитофагов на одного энтомофага от 3 до 10. Таким образом, если в биоценозе наблюдается равновесное состояние, то отношение фитофагов и энтомофагов по модельным расчетам и в природных сообществах составляет 3 - 5 : 1. Другими словами, если на одного паразита или хищника в среднем приходится 3 - 5 фитофагов, то в этом случае в агроценозе сохраняется подвижное равновесие и меры борьбы, в том числе с использованием инсектицидов, не требуются. Если и произошло разовое применение инсектицидов, оно, как правило, не изменяет соотношения численности фитофагов и энтомофагов, т.е. экосистема и после разовых обработок инсектицидами остается устойчивой и сохраняет способность к восстановлению равновесия.

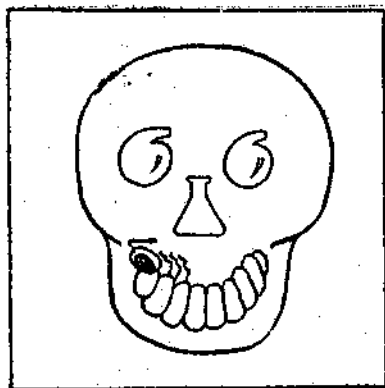
Действие пестицидов на тонкие реакции пищевого и полового поведения насекомых. Поведение насекомых, связанное с пищевыми и половыми инстинктами, нарушается после применения пестицидов. Ниже приводятся примеры этого феномена, из которого следует ряд важных выводов.

В работе [219] отмечается изменение поведения наездников во время поиска хозяйни как побочное действие химических средств защиты растений. Наездник регулирует численность тлей. Самки этого вида, загрязненные гербицидом рамродом, были склонны к постоянным чистящим движениям лапок и не пытались откладывать яйца. Контрольные самки в течение всего периода наблюдений двигались на верхней стороне листа, в то время как самки, загрязненные рамродом, рядом с листом. Аналогичное явление наблюдалось также с препаратами афуган и амбуш. Свежие отложения рамрода и амбуша, кроме того, оказывали репеллентное действие.

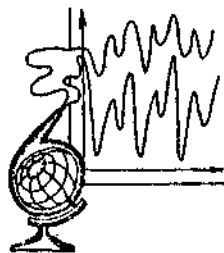
Обобщен материал о взаимосвязи характера влияния инсектицидов с различным механизмом действия из классов хлор-, фосфорорганических, карбаматных и пиретроидных соединений и поведенческих реакций насекомых [220]. Анализируется влияние сублетальных доз инсектицидов на проявление поисковой реакции хозяина, его пищевую активность и поведение при спаривании. Совместное применение феромонов и инсектицидов [221] позволяет резко снизить удельный расход этих препаратов благодаря эффекту синергизма. При воздействии доз перметрина значительно более низких, чем LD_{50} , подавляются сигнальная поза у самок хлопковой моли и ответные реакции на половой феромон у самцов. Способность к реакции у самцов восстанавливается через 4 суток, а сигнальное поведение самок к этому времени еще угнетено. Достигается 50-кратное снижение доз пиретроидов и уменьшение расхода феромона до 1,4 - 2,9 г/га. При этом поврежденность хлопчатника снизилась до 4% против 8% при обычных технологиях.

На калифорнийской щитовке доказана экономическая эффективность использования феромона. В результате исследовательской программы на площади 2120 га прибыль от феромонного мониторинга, экономии от снижения затрат рабочего времени, отказа от применения химических средств, а также чистая прибыль составили соответственно 51, 33, 1022 и 1357 тыс. дол.

Таким образом, многочисленные примеры сильного последствие даже сублетальных доз пестицидов на тонкие реакции пищевого и полового поведения насекомых позволяют сделать вывод о недопустимости так называемых профилактических обработок, которые иногда рекомендуются без угрозы значительного повреждения урожая.



Глава 2. ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ



2.1. Моделирование загрязнения объектов окружающей среды пестицидами

В связи с большим объемом и широким ассортиментом пестицидов значительное внимание уделяется вопросам оценки их влияния на различные компоненты биосферы. Основная масса пестицидов используется в сельском и лесном хозяйстве для защиты растений. Существуют различные методы применения пестицидов [3]. Первоначально вещество тем или иным способом диспергируется и выбрасывается в атмосферу в виде небольшого облака. В дальнейшем оно увеличивается за счет турбулентной диффузии и перемещается в пространстве под действием скоростного потока, создаваемого диспергатором, а затем подхватывается ветром. В процессе распространения частички пестицида оседают на растения, животных, почву и поверхность водоемов. Так происходит первичное загрязнение объектов окружающей среды. Пестициды переносятся внутри различных составляющих биосферы (почва, растительность, различные водные системы) и из одной подсистемы в другую. Например, в результате испарения и ветровой эрозии из почвы пестициды снова попадают в атмосферу и водоемы.

Сложные физико-химические процессы приводят к тому, что независимо от того, где был применен пестицид, спустя некоторое время, он обнаруживается и в тех местах, где и не использовался. Попадая в растительность, почву и водные среды, пестициды взаимодействуют с различными биокомпонентами этих подсистем, а через пищевые цепочки перераспределяются по всему многообразию растительного и животного сообщества, чтобы оценить последствия миграции пестицидов в окружающей среде, огромное внимание уделяется развитию методов экспериментального и математического моделирования [5, 222].

Все разнообразие моделей можно в зависимости от целей и задач разбить на три категории: локальные, региональные и глобальные. Во многих случаях можно анализировать вопросы, начиная с описания закономерностей миграции пестицидов на локальном уровне, последовательно переходя к задачам регионального и глобального масштабов. Хотя конечной целью этих исследований является выявление последствий на биосферу и ее различные компоненты, в случае применения пестицидов, первым этапом будет определение уровней загрязнения атмосферы, растительности, почвы и воды и их

изменение во времени. Эти величины станут входными параметрами для моделирования динамики изменения различных экосистем [222, 223].

Не ставя задачи дать наиболее полное описание работ по данной проблеме, остановимся на выделении наиболее важных сторон вопроса миграции пестицидов, решаемых в рамках локального, регионального и глобального загрязнения.

2.1.1. Модели локального масштаба

Локальному загрязнению окружающая среда подвергается на территории радиусом до 10 - 15 км от источника. При этом как правило, решаются прежде всего задачи, направленные на рациональное использование пестицидов для борьбы с вредными организмами и определение зон повышенного риска в период защитных мероприятий.

Для решения вопроса рационального применения пестицидов необходимо указать способ работы источника (мощность и высоту выброса, спектр размеров частиц), при котором на заданной территории и при заданных внешних условиях (метеоданных, вида вредителя, его численности, типа и структуры растительности) расход пестицида был бы наименьшим.

Общий подход к решению таких оптимизационных задач описан в [187, 224 - 227], рассмотрены случаи оптимизации технологии применения пестицидов как в защите от вредных насекомых, так и болезней. Эти же методы позволяют рассчитывать оптимальные условия применения любых физиологически активных веществ (микроудобрения, регуляторы роста, биопрепараты и др.). Описано использование аналогичных моделей для оценки оптимизации различных технологий в борьбе с опасным вредителем хлопчатника - хлопковой совкой [33].

Некоторые примеры оценки эффективности наземного и авиационного опрыскивания приведены в [228 - 231]. Для моделей локального масштаба важным моментом является учет типа погоды, особенностей растительности, структуры турбулентности. Все эти величины для задач локального масштаба считаются постоянными. Расчетные величины в этих задачах - поле концентрации в атмосфере, распределение осадка на растительности, почве и поверхности воды. Для расчета указанных величин используют два типа математических моделей. Первый связан с решением полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии [229 - 235], второй - статистическим описанием турбулентной диффузии [236, 237]. Применение моделей первого типа для оптимизации аэрозольных обработок с летающими насекомыми описано в [235]. Этот же тип моделей использовали и в [33, 228]. Модели второго типа для описания закономерностей распространения аэрозолей различного размера в лесу раскрыты в работе [237].

Помимо определения начального уровня загрязнения после применения пестицидов важное значение имеет знание скорости вторичного загрязнения атмосферы, связанного с процессами испарения пестицидов и ветровой эрозией. Оценена опасность ингаляционной токсичности, связанная с испарением пестицидов с обработанной территории [238], приведены экспериментальные исследования скорости испарения пестицидов с загрязненной

поверхности [134, 143, 187, 239], обзор данных по скорости испарения, водной и ветровой эрозии [240], сопоставление данных экспериментальных исследований и теоретических расчетов закономерностей миграции пестицидов на локальном уровне [238, 240 - 242].

2.1.2. Модели регионального масштаба

Основная задача моделей этого класса - оценка последствий распространения пестицидов на расстояния от 10 - 20 до 250 - 300 км. Время переноса может достигать 10 - 12 ч. Поэтому метеорологические условия нельзя считать постоянными. Кроме того, в таких задачах необходимо учитывать возможность вымывания пестицидов с осадками. Движение воздушных масс на такие расстояния нередко происходит в условиях неоднородного рельефа. Траектории движения становятся достаточно сложными. Поэтому в одну и ту же точку, где определяется концентрация пестицида, он может попасть из разных мест. Помимо мгновенных концентраций, определяемых мощностью эмиссии заданного источника, анализируют и длительное воздействие малых доз. Таким образом, задача оценки загрязнения в региональном масштабе имеет специфические особенности. Приведем несколько примеров применения моделей регионального масштаба.

Так, в [222, 243] один из вариантов региональной модели использован для расчета распространения таких пестицидов, как ДДТ и γ -ГХЦГ в долине Средней Азии. Здесь определяли динамику изменения концентрации пестицидов в атмосфере и почве. Это позволило установить критические условия, при которых предельно допустимая концентрация (ПДК) превышает либо в почве, либо в атмосфере. Исходя из этого можно разрабатывать рекомендации по выбору той или иной технологии применения пестицидов, обеспечивающих соблюдение санитарно-гигиенических нормативов.

Вклад атмосферных осадков и талых вод в загрязнение равнинных рек хлорорганическими пестицидами (ДДТ, γ -ГХЦГ) изучали на р. Протва в течение ряда лет [244]. Следует также отметить другие модели регионального масштаба, используемые для описания уровней загрязнения взвешенными частицами, тяжелыми металлами, бифенилами, сульфатами и нитратами района оз. Байкал, Северного моря, некоторых регионов Северной Америки [245 - 270]. Здесь учитывают и скорость химического превращения примеси в процессе распространения, и интенсивности вымывания, и неоднородности рельефа, и динамику суточного хода высоты слоя перемешивания.

2.1.3. Модели глобального масштаба

Остановимся более подробно на результатах использования нульмерной модели для оценки способа применения пестицидов на характер распределения его в атмосфере, почве, воде. Это наиболее простая модель позволяет оценить ряд закономерностей миграции пестицидов с длительным временем пребывания в одной из подсистем. Примеры более сложных многомерных моделей переноса примесей с учетом химических превра-

щений и вымыванием осадков описаны в [271 - 278]. Еще более сложная модель, в которой наряду с закономерностями распространения, учитывается влияние на климат и биосферу, использовалась, например, при оценке последствий ядерной войны [279, 280]. В то же время не всегда столь сложные модели оправданы. Во многих случаях ответы можно получить в сравнительно простых нульмерных моделях [281], например, модели глобальной циркуляции ДДТ, предложенной в начале 70-х гг. [282].

Модели глобальной циркуляции пестицидов. Впервые простейшая модель глобальной циркуляции вещества на примере ДДТ была построена в [282]. Здесь рассматривают три подсистемы окружающей среды: суша, атмосфера и океан, предполагая, что вещество сразу равномерно распределяется по всей подсистеме. Скорости обмена между подсистемами и скорости разложения в них протекают по уравнению первого порядка. Тогда задача сводится к решению системы линейных дифференциальных уравнений типа:

$$dN_i/dt = R_i(t) - \sum_{j=1}^m (N_i/t(e)_{ij}) + \sum_{j=1}^m (N_j/t(g)_{ji}), \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где $R_i(t)$ - скорость, с которой ДДТ вносится в i -ю подсистему;

N_i - количество ДДТ в i -й подсистеме;

$t(e)_{ij}$ - характерное время переноса ДДТ из i -й в j -ю подсистему;

$t(g)_{ji}$ - характерное время поступления ДДТ из j -й в i -ю подсистему.

Таким образом, если имеется m подсистем, то необходимо решить m линейных дифференциальных уравнений.

Несколько позднее описана подобная модель расчета уравнений загрязнения ДДТ пяти подсистем окружающей среды: суша, атмосфера, шельф, зоо- и фитопланктон [283]. Несмотря на то, что ДДТ интенсивно применяли в течение 30 лет и проведено большое количество исследований по содержанию и поведению его в различных подсистемах окружающей среды, тем не менее отмечено, что в некоторых случаях отсутствуют данные для оценок скоростей обмена и разложения ДДТ [282, 283]. Поэтому приходилось оценивать скорости обмена и разложения ДДТ, исходя из общих соображений, либо по данным, полученным для других веществ (газы, радиоактивные вещества и др.). В связи с этим, рассчитаны вариации параметров, которые недостаточно надежно определены, с тем, чтобы выяснить, как они будут влиять на уровень загрязнения подсистем [283]. Кроме того, принято, что характерное время нахождения ДДТ в атмосфере равно 4 годам [282]. Это, видимо, не совсем верно, так как концентрация ДДТ в атмосфере очень низкая и, по данным [284, 285], равна $2 \cdot 10^{-10} - 10^{-11}$ г/м³. Поэтому в [283] характерное время нахождения ДДТ в атмосфере принималось равным месяцу.

Недостатком обеих работ является то, что в них не учитывается массоперенос суша - атмосфера. Авторы полагают, что этот процесс происходит с очень малой скоростью. Однако известно [286 - 288], что он может быть существенным за счет испарения вещества, а также эрозии почвы. Характерное время массопереноса суша - атмосфера в результате

этих процессов равно 1 - 3 годам. Мало внимания уделено в [282, 283] вариации количества ДДТ, оседающего на обрабатываемой территории. Не рассматривается вопрос о влиянии фотохимического разложения ДДТ в атмосфере на уровни загрязнения подсистем, поскольку считается, что полоса поглощения ДДТ, равная 270 нм, поглощается атмосферным озоном. Однако известно, что ДДТ может разлагаться при длинах волн света больших 310 нм в присутствии сенсibilизаторов [289 - 291].

Несмотря на указанные недостатки, результаты расчетов показывают, что предлагаемые модели дают достаточно удовлетворительное согласие рассчитанных уровней загрязнения рассматриваемых подсистем с экспериментально наблюдаемыми. При этом экспериментальные величины, полученные в различных частях земного шара, могут отличаться на несколько порядков.

Таким образом, для дальнейшего усовершенствования моделей расчета уровней глобального загрязнения биосферы ДДТ и другими пестицидами, необходимо изучение скоростей биологического и химического их разложения как на суше, так и в море, а также массообмена между сушей и атмосферой.

Влияние способа применения пестицидов и фотохимического разложения в атмосфере на загрязнение окружающей среды. Важный фактор, который может влиять на загрязнение биосферы, - способ применения пестицидов. При оптимальной аэрозольной технологии можно достичь требуемого биологического эффекта при снижении удельного расхода препарата в 5 - 7 раз по сравнению с методами наземного или авиационного опрыскивания [134, 187]. Уровни остаточных количеств пестицидов в растительности в несколько раз, а в почве в десятки раз меньше в пределах эффективной ширины захвата. Тем не менее с точки зрения глобального уровня загрязнения пестицидами, важно оценить влияние способа применения на уровни загрязнения различных подсистем биосферы. Поэтому, используя имитационную модель [283], рассчитано изменение концентраций ДДТ в атмосфере, суше и океане в зависимости от развития производства и использования ДДТ, и определена роль фотохимических процессов в атмосфере на уровни загрязнения рассматриваемых подсистем [292].

Константа скорости массообмена суша-атмосфера принята равной $0,3 \text{ год}^{-1}$ [286 - 288], расчеты проводились и при значении константы, равной $0,1 \text{ год}^{-1}$. Так как точное значение скорости фотохимического превращения ДДТ в атмосфере неизвестно, для оценок использовали константы скорости разложения ДДТ в атмосфере, равные $8,316 \text{ год}^{-1}$ и $33,76 \text{ год}^{-1}$, что соответствует периоду полураспада 1 месяц и 1 неделя. Рассматривали, как и в [283], два случая возможного объема производства и поступления ДДТ в биосферу: 1) постоянное производство с 1970 до 2000 г.; 2) прекращение производства и использования ДДТ с 1970 г.

Способ применения характеризовался долей ДДТ, осаждаемой на сушу. Расчеты проводили при следующих значениях этого параметра: 0,95; 0,5; 0,1 и 0,01. 1-й случай характеризует метод мелкокапельного опрыскивания, когда 95% вещества оседает на сушу, 2-й - ультрамалообъемного опрыскивания (УМО), а 3-й и 4-й - аэрозольного.

Результаты расчетов показывают, что при постоянном объеме использования ДДТ быстро стабилизируется и уровень загрязнения рассматриваемых

мых подсистем. На величину этого уровня, в случае отсутствия фотохимического превращения, влияет способ и масштаб использования ДДТ. При снижении использования ДДТ пропорционально снижаются стационарные уровни загрязнения биосферы.

При опрыскивании уровень загрязнения океана в 1,5 - 2 раза ниже, чем при аэрозольном методе, если весовой расход препарата одинаков. Однако при аэрозольном методе снижается расход препарата в 5 - 7 раз по сравнению с опрыскиванием [134, 187]. Поэтому можно ожидать, что при аэрозольном методе можно добиться уменьшения уровня загрязнения в 2 - 3 раза. Промежуточное положение занимает способ УМО. Если применение пестицидов прекратить, то уровень загрязнения экспоненциально убывает со временем и влияние различных способов использования пестицидов нивелируется.

Фотохимическое разложение ДДТ в атмосфере с периодом полураспада 1 месяц приводит к тому, что способ использования ДДТ практически не влияет на уровень загрязнения при учете массообмена между суши и атмосферой.

Выражения для расчета уровней стационарного загрязнения атмосферы и суши при различных скоростях массообмена суша - атмосфера и фотохимических реакций превращения в атмосфере представлены в табл. 2.1.

Как показывают расчеты, время релаксации уровня загрязнения океана и его составляющих не зависит (в рамках данной модели) от

Т а б л и ц а 2.1

Нормированные уровни стационарного загрязнения суши и атмосферы и время релаксации уровней загрязнения в атмосфере и на суше [292]

K11\K	0	8,316	33,76
Суша			
0	1,443 + 4,329·f4	0,6561 + 5,116·f4	0,2458 + 5,526·f4
0,1	1,007 + 3,021·f4	0,4340 + 3,384·f4	0,1583 + 3,559·f4
0,3	0,8385 + 2,515·f4	0,3352 + 2,613·f4	0,118 + 2,656·f4
Атмосфера			
0	0,1443 - 0,1443·f4	0,0656 - 0,0656·f4	0,0246 - 0,0246·f4
0,1	0,1588 - 0,11007·f4	0,0684 - 0,0434·f4	0,0250 - 0,0158·f4
0,3	0,1806 - 0,0838·f4	0,0722 - 0,0335·f4	0,0254 - 0,0118·f4
Время релаксации (годы)			
0	5,8	5,8	5,8
0,1	4	3,8	3,7
0,3	3,4	2,9	2,8

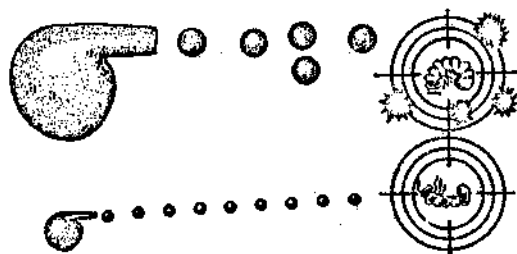
K - константы фотохимического разложения в атмосфере (год⁻¹)

K11 - константы массообмена суша-атмосфера (год⁻¹)

f4 - доля вещества, оседающего на сушу в процессе применения (0,95; 0,5; 0,1; 0,01)

скорости массопереноса суша-атмосфера и фотохимических реакций в атмосфере и в 2 - 4 раза превосходит период релаксации в системе суша-атмосфера. Уровень стационарного загрязнения полностью определяется уровнем загрязнения атмосферы и суши.

2.2. Размеры частиц и эффективность применения пестицидов



Принято считать, что для эффективного применения инсектицидов контактного действия (на их долю при борьбе с вредными насекомыми приходится более 80% ядохимикатов) необходимо равномерно распределить по поверхности растений

заданное количество препарата. Обычно оно задается в виде рекомендаций, чтобы количество капель, содержащих инсектицид, на 1 см^2 растительности было не ниже заданного (например, 10 - 100). Вторым условием является требование минимального сноса препарата за пределы участка, на котором необходимо уничтожить вредных насекомых. Исходя из этого, приходят к выводу, что "оптимальным" размером капель будут частицы диаметром около 100 мкм.

Хотя эта точка зрения распространена повсеместно, она находится в противоречии как с экспериментальными данными, так и теоретическими представлениями, развиваемыми в последние десятилетия. Чтобы понять причину этого, рассмотрим упрощенную блок-схему процесса применения инсектицидов на практике (рис. 2.1).

Препарат с помощью различного рода оборудования дробится (диспергируется) и выбрасывается в атмосферу, образуя небольшое облако (струи). Это облако ветром (или движущимся агрегатом) переносится по заданному участку, увеличиваясь за счет турбулентной диффузии. Размер облака, а, следовательно, и концентрация частиц зависит как от размера капель, так и от времени его существования. На рис. 2.1 начальное облако охарактеризовано начальной концентрацией C_0 , а концентрация в движущемся облаке - $C(d, t)$ - 4. Для простоты здесь выделены лишь две зависимые переменные - диаметр капель (d) и время с момента образования облака (t). Во время движения облака частицы могут оседать на насекомом или растительности. Насекомое обозначено штрихпунктирным прямоугольником. В нем выделены две подсистемы. Поверхность насекомого 1, и его внутренность 2. Стрелками указаны пути переноса вещества в системе атмосфера - растительность - насекомое.

Основным путем получения легальной дозы препарата считается либо контакт с загрязненной поверхностью растений, либо послание отравленного

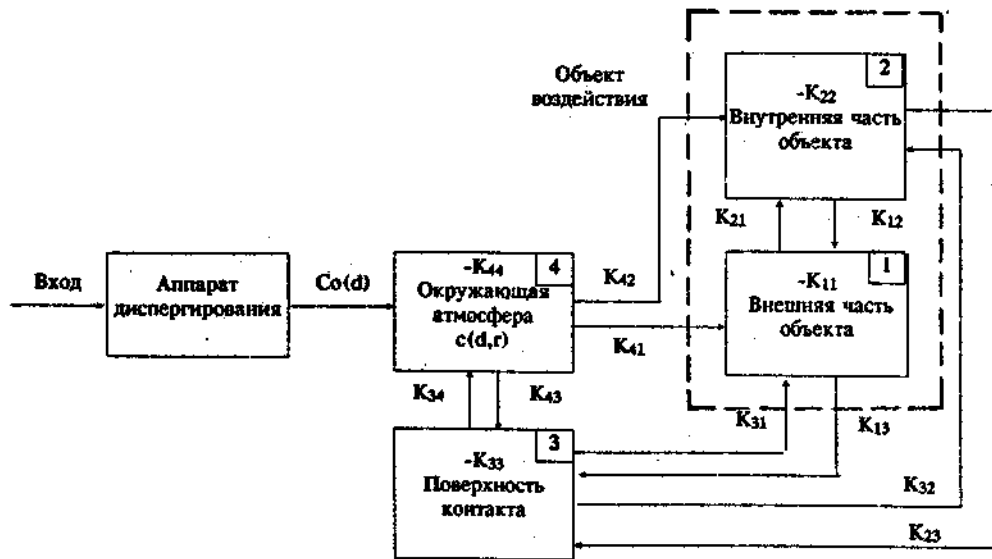


Рис. 2.1. Технологическая схема применения пестицидов

корма (загрязненных ядохимикатами растений). Негласно предполагалось, что количество инсектицида, попадающее на насекомое в момент прохождения облака, мало по сравнению с тем, что оно набирает с растительности. Нетрудно понять, что, если принять эту точку зрения правильной, то в реальных условиях расход препарата во много раз будет превосходить то количество, которое необходимо, чтобы уничтожить вредителей.

Так, при наборе летальной дозы за счет поедания отравленного корма, концентрация пестицида в корме должна быть не менее летальной, так как за весь период развития насекомое поедает массу растительности, примерно равную своему десятикратному весу. Поэтому перерасход препарата будет во столько раз больше требуемого, во сколько биомасса вредителя меньше биомассы растительности. Для наглядности приведем некоторые оценки на примере гусениц хлопковой совки.

Химическую обработку против этого вредителя назначают, когда плотность заражения достигает около 10 гусениц на 100 кустов хлопчатника. Вес гусеницы в период защитных мероприятий составляет около 0,1 г. Вес же растительной массы куста хлопчатника равен примерно 1 кг, поэтому перерасход препарата будет не менее, чем в 10^5 раз.

Теперь сравним реальную норму расхода, равную 0,5 - 1,0 кг/га, с тем, что необходимо для уничтожения гусениц при индивидуальном нанесении препарата на вредителя. При плотности высева $5 \cdot 10^5$ кустов хлопчатника на 1 га, биомасса гусениц на 1 га составит 50 г. Летальную дозу препарата примем равной 10 мг/г (ядохимикат средней токсичности). Для уничтожения всех гусениц достаточно всего 0,5 мг ядохимиката, вместо 500 - 1000 г, которое обычно применяют.

Так как практические дозировки определяют из опытов по подсаживанию насекомых на загрязненную растительность, либо скармливая загрязненный корм, то из приведенных выше оценок ясно, что в реальных условиях при существующих подходах и технологии применения ядохимикатов единственный резерв уменьшения нормы расхода, это более равномерное распределение препарата на обрабатываемой территории, а здесь возможности очень ограничены.

Несмотря на крайность такой постановки с общепринятой точки зрения, зададимся вопросом, а правильна ли сама точка зрения? Для этого, как оказывается, есть основания, и они достаточно весомы.

Прежде всего, если основную массу летальной дозы насекомые набирают при контакте с загрязненной поверхностью, то должна быть тесная корреляция между плотностью осадка и гибелью насекомых. Однако на опыте этого не наблюдается [293 - 296]. В частности, при изменении плотности осадка более, чем в 100 раз, смертность насекомых (как сельскохозяйственных, так и лесных вредителей) не зависит от плотности осадка. Высокая смертность насекомых наблюдалась на значительном расстоянии (свыше 200 м) от аэрозольного генератора [293], здесь практически нулевые осадки на растениях. Кроме того, согласно измерениям спектра размеров капель, оседающих на стеклянные пластины [293], на удалении свыше 50 м от генератора, отсутствуют частицы крупнее 50 мкм. Эти исследования имеют очень важное значение, так как убедительно показывают несостоятельность общепринятого подхода к оценке эффективности применения инсектицидов в природных условиях.

Одновременно с опытами, в которых были указаны противоречия в критериях оценки эффективности применения инсектицидов, в конце 50-х гг. публикуются экспериментальные данные, в которых делается однозначный вывод о том, что именно оседание капель на насекомых при прохождении облака, а не осадок, оставленный на растениях, главная причина получения летальной дозы [293]. В этих опытах сравнивалась гибель насекомых, которые сразу же после прохождения облака пересаживались в чистые садки, со смертностью чистых насекомых, посаженных на загрязненную поверхность листьев. В первой группе смертность была около 70%, в то время как во второй она достигала лишь 29%. Поэтому основной причиной получения летальной дозы служит оседание частиц из взвешенного состояния, а не осадок препарата на листе, с которой контактируют насекомые.

В результате комплексных испытаний мощного аэрозольного генератора (МАГ) с лесными вредителями и переносчиками заболеваний [297 - 303] установлено, что облако аэрозольных частиц ($d < 50$ мкм) позволяет эффективно бороться с лесными вредителями и переносчиками заболеваний на расстояниях нескольких километров от генератора [297 - 300]. При этом удельный расход по сравнению с традиционными технологиями снижается в 5 - 7 раз. Кроме того, намного слабее влияние такого облака на нецелевые объекты как растительного покрова, так и на почве [299, 300]. На расстояниях свыше 1 км от МАГа практически отсутствуют капли крупнее 30 мкм [302, 303], исчезающе малы и остаточные количества ядохимикатов в растительности [303].

Совокупность полученных сведений указывала на необходимость пересмотра общепринятой точки зрения и постановки принципиально иных исследований, направленных на выяснение закономерностей распространения аэрозольных частиц внутри растительного сообщества и оседания частиц на растительные элементы и насекомых [300]. Впервые этот вопрос был поставлен в конце 40-х гг. в связи с развитием аэрозольного метода борьбы с комарами в лесистой местности [295, 304 - 306].

Так как аэрозоли предполагалось использовать для уничтожения летающих комаров, то здесь единственным путем попадания яда на насекомое был захват частиц из аэрозольного облака (взвешенного состояния). Поэтому прежде всего разработчиков этой технологии интересовало, как влияют на эффективность захвата аэрозольных частиц размер капель и скорость, с которой комар летит через облако ядовитых частиц. Этот вопрос был выяснен с помощью специальной техники (обдув насекомых в аэродинамической камере потоком монодисперсных аэрозолей) [295, 304, 305]. Зависимость эффективности захвата от размера частиц при фиксированной скорости обдува монотонно возрастающая функция. Для частиц крупнее 10 мкм эффективность оседания близка к 1, если скорость обдува более 1 м/с. Обобщение этих данных в виде количественных соотношений было проведено в [307], где подведен итог по проблеме, связанной с борьбой с летающими насекомыми.

Помимо обобщения экспериментального материала по определению сечения захвата капель различными насекомыми (комар [304], муха [308], саранча [309], бабочка хлопковой совки [187]) развита теоретическая модель, позволяющая определять оптимальный размер капель, при

котором расход препарата достигает минимума. Оценки показали, что этот размер зависит от вида насекомого, метеорологических условий, режима обработки (ширины эффективного действия, высоты генерации частиц). Так, при нейтральной стратификации атмосферы для наземного генератора аэрозолей оптимальный диаметр каплей при борьбе с комарами уменьшается от 25 до 13 мкм, если ширина захвата увеличивается от 100 м до 6,5 км. Для тех же условий для мухи оптимальный размер изменяется от 45 до 19 мкм, а для саранчи - от 49 до 19 мкм. При умеренной токсичности ядохимиката (ЛД₅₀ = 10 мг/г - летальная доза) для защиты от комаров в пределах 100 м достаточен удельный расход всего 25 г/га (вместо 200 - 500 г/га на практике). В случае защиты территории в пределах 6,5 км удельный расход инсектицида снижается до 5 г/га. Эти оценки находятся в разумном согласии с широкомасштабными испытаниями МАГ [300], а также со всесторонними исследованиями, выполненными в США в конце 60-х и начале 70-х гг. при разработке оптимальной технологии ультрамалообъемного опрыскивания для уничтожения комаров и мух в природе [310 - 324].

Теоретический анализ в рамках предложенной модели показывает, что при конвекции оптимальный размер каплей увеличивается примерно в 1,5 - 2 раза по сравнению с инверсионными условиями [235]. Удельный расход возрастает для конвективного состояния атмосферы примерно в 5 - 7 раз. При увеличении полидисперсности - в 2 раза. На малых удалениях от генератора влияет высота источника.

Необходимо отметить, что в рамках предложенной теоретической модели показано, что оптимальный размер не зависит от токсичности препарата. На этот результат необходимо обратить особое внимание, так как очень часто оптимальными рассматриваются частицы, содержащие летальное количество пестицида. Детально этот вопрос анализируется в монографии [300, § 5, глава 5].

Переходя теперь к анализу вопроса об оптимальном размере аэрозолей для уничтожения вредных насекомых, находящихся на растительности, мы сразу сталкиваемся с новыми принципиальными трудностями. Здесь, как видно из рис. 2.1, мы должны, во-первых, знать, с какой эффективностью (скоростью) частицы оседают на насекомых, во-вторых, - с какой скоростью загрязняется поверхность растительности, с которой контактирует насекомое, в-третьих, мы должны описать скорость переноса препарата с растительности на насекомое. Таким образом, задача существенно усложняется, и неудивительно, что ответ на нее был получен не сразу. Хотя мы уже указывали, что в середине 50-х гг. появились достаточно веские доказательства того, что и на ползающих насекомых существенно влияют аэрозольные частицы, которые оседают на насекомых из взвешенного состояния, это были единичные качественные опыты.

К такому же типу доказательств следует отнести и опыты по визуализации осадка монодисперсных каплей диаметром 20, 40 и 60 мкм на мумиях мухи-цеце [325]. В этих опытах впервые на качественном уровне было показано, что размер каплей существенно влияет на селективный осадка на неоднородной поверхности тела, помещенной в аэрозольный поток. Так, если частицы диаметром 20 мкм оседали на мумиях мухи-цеце в достаточном количестве, независимо от места нахождения на цилиндре

(спереди, сбоку, сзади по направлению к потоку, то для частиц диаметром 40 мкм заметные осадки на мумии наблюдались на лобовой части цилиндра. Плотность осадка была немного ниже в тех случаях, когда муха была сбоку цилиндра. Практически не было частиц на мумии мухи-цеце, находящейся на тыльной стороне цилиндра. В опытах с каплями диаметром 60 мкм осадок на мумии был только в случае, когда она укреплялась на лобовой части цилиндра. По мнению авторов, цилиндры с мумиями мухи-цеце моделировали ветви кустарников, на которых в природных условиях находятся мухи-цеце. В настоящее время ясно, что характер осадка определяется реальной структурой микрошероховатости поверхности, поэтому получить правильные количественные зависимости возможно только в опытах с реальными объектами (растительность и насекомые).

Приципиальным моментом в развитии наших знаний в этом смысле следует признать публикации конца 60 и 70-х гг. [326 - 332]. Важным этапом этой серии опытов явилось создание специальной люминесцентной методики, которая позволила определять размер капель диаметром крупнее 10 мкм, оседающих на поверхность насекомых [328]. С помощью этого метода было показано, что спектр капель, оседающих на насекомых, находящихся на различных растениях, существенно отличается от спектра размеров капель, образующихся с помощью различных типов форсунок, применяемых на практике [329]. Так, массовый медианный диаметр капель, образующихся при форсуночном распылении, составлял 180 мкм, а на насекомых в основном оседали капли менее 50 мкм. Практически на насекомых отсутствовали капли крупнее 100 мкм. Существенно, что наблюдаемое различие имело место независимо от вида насекомых, как для лесных вредителей таких, как гусеница еловой листовёртки-почкоеда, так и различных сельскохозяйственных вредителей (хлопковая и капустная совки, хлопковый долгоносик).

Вычислив массу препарата, осевшего на насекомых, С. М. Хаймел пришел к двум принципиальным выводам. Первый гласит, что для используемых на практике форсунок не более 1% ядохимикатов расходуется по назначению, остальные тратятся бесполезно, загрязняя окружающую среду [331, 332]. Второй вывод - оптимальный размер капель при борьбе с вредными насекомыми будет менее 50 мкм (вероятно около 10 - 20 мкм) [327 - 332].

Последний вывод исходит из сравнения летальной дозы препарата с тем количеством, которое оседает на насекомых в виде капель диаметром от 10 до 50 мкм. Так как рассчитанная величина была почти на порядок ниже летальной дозы, то С.М. Хаймел связал это с ограниченностью методики, которая не позволяла количественно оценить массу частиц диаметром менее 20 мкм, оседавших на насекомых.

Дальнейшим развитием этих исследований стали опубликованные к концу 70-х гг. результаты [333 - 335]. Совершенствование методики с использованием флуоресцентных частиц позволило анализировать капли диаметром до нескольких микрон. Кроме того, был разработан специальный распылитель, который создавал капли с массовым медианным диаметром 13 мкм. Результаты подсчета капель, осевших на гусеницах еловой листовёртки-почкоеда, от этой форсунки показывают, что на гусеницы плохо оседают капли диаметром менее 5 мкм [334]. На рис. 2.2 представлены

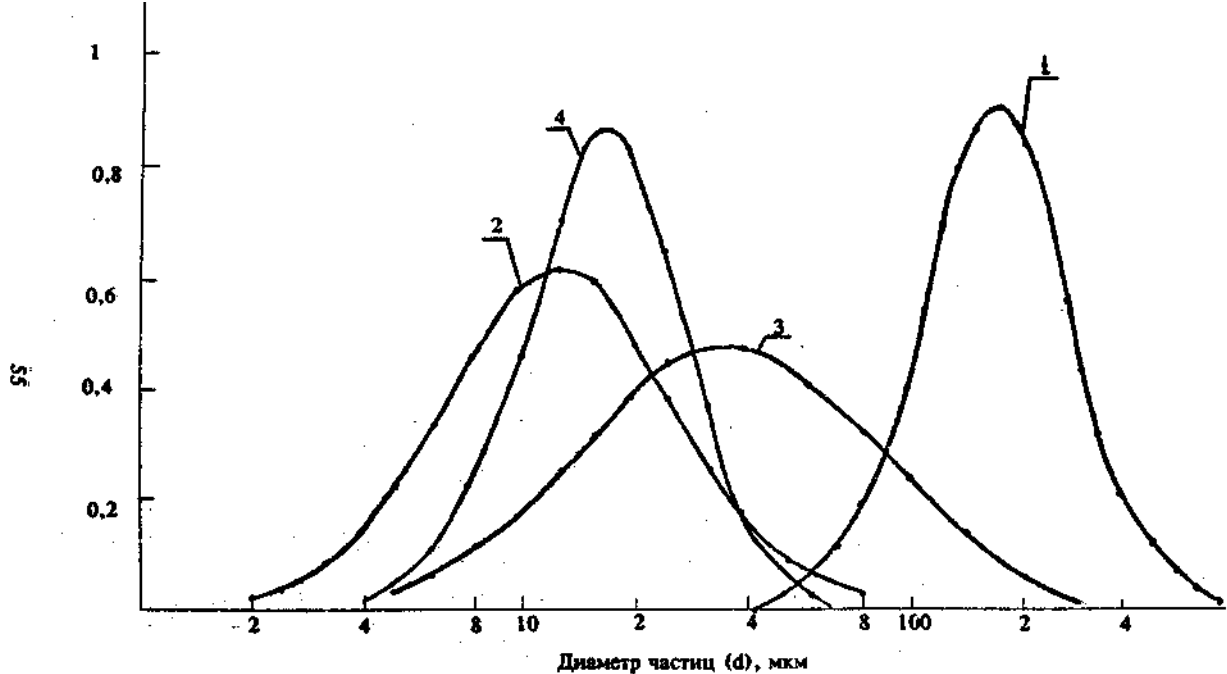


Рис. 2.2. Спектр капель, оседающих на гусеницах еловой листовертки-почкоеда
 Спектр капель форсунки: 1 - [331]; 2 - [336]. Спектр капель, осевших на гусеницах: 3 - [331], 4 - [336]

итоги исследований спектра размера капель, осевших на гусеницах еловой листовертки-почкоеда, которые были выполнены к концу 70-х гг.

Из приведенных графиков мы видим отчетливую картину селективности осаждения капель в реальных условиях. Так, в серии опытов С.М. Хаймела спектр размеров капель, образуемых форсункой, имел среднемассовый медианный диаметр (dm) 180 мкм. Массовый медианный диаметр капель, осевших на гусеницах еловой листовертки-почкоеда, равен 32 мкм. Для опытов Д.Н. Бари соответственно для форсунки $dm = 13$ мкм, а для осадка на гусеницах $dm = 17$ мкм. Вторым существенным выводом - возможность оценки оптимального размера капель и для ползающих насекомых (от 5 до 50 мкм).

Таким образом эксперимент показывает, что, если изменить критерий оценки эффективности (определять количество препарата на насекомом, а не плотность осадка на растениях), то оптимальными будут частицы диаметром 10 - 20 мкм, а не 100 мкм и более, как это принято. Подтверждением этого вывода служит и теоретический анализ итогов испытаний мощного аэрозольного генератора [300, 336].

Необходимо заметить, что, несмотря на убедительные факты о неадекватном подходе к созданию рациональной технологии применения пестицидов, которые были накоплены уже к концу 70-х гг., продолжает господствовать точка зрения о важности осадка на растительности.

В то же время в конце 70 - начале 80-х гг. публикуется серия экспериментальных и теоретических работ, в которых сформулированы новые подходы к определению оптимального размера аэрозольных частиц как для летающих, так и ползающих насекомых [337 - 340].

На примере гусениц непарного шелкопряда исследуются закономерности оседания капель диаметром от 1 до 70 мкм в зависимости от скорости набегающего потока и концентрации частиц [337]. Скорость оседания пропорциональна концентрации частиц и сильно зависит от размера и скорости потока. Полученные экспериментальные данные позволили оценить эффективность МАГ. Основная масса ядохимиката (80 - 90%), оседающая на гусениц непарного шелкопряда на расстояниях от 1 до 6 км, определяется частицами диаметром от 5 до 30 мкм. В то же время массовая концентрация таких частиц в аэрозольном облаке, создаваемом МАГ, составляет 10 - 15%. Основная же масса ядохимиката в аэрозольном облаке (83 - 84%) приходится на частицы диаметром менее 5 мкм, которые вносят в осадок на гусениц около 10%. Поэтому создание аэрозольного генератора, образующего аэрозоли диаметром 5 - 10 мкм, по оценкам автора, должно уменьшить расход пестицидов еще в несколько раз. В дальнейшем этот вывод был подтвержден при создании нового аэрозольного генератора регулируемой дисперсности [134, 188].

Кроме изучения закономерностей оседания частиц на гусеницы непарного шелкопряда из аэрозольного облака, были проведены специальные опыты по определению скорости сбора ядохимиката с загрязненной поверхности [338]. Экспериментально исследовали влияние размера капель, плотности осадка и типа поверхности, на которой создавался осадок. Показано, что скорость сбора ядохимиката загрязненной каплями диамет

ром от 1 до 70 мкм поверхности не зависит от их размера, и пропорциональна плотности осадка.

Скорость накопления препарата на гусеницах непарного шелкопряда, ползающего по загрязненной поверхности листьев, в 30 - 70 раз ниже, чем при контакте с осадком, на стеклянной поверхности. Оценка роли осадка в сборе летальной дозы показала, что необходимо учитывать возможность сбора заметного количества ядохимиката, когда насекомое контактирует с осадками пестицида, образуемыми при обычном и ультрамалосъемном опрыскивании. В этих методах образуются капли диаметром свыше 100 мкм, которые создают очень большие остаточные количества ядохимикатов в растительности. При использовании аэрозолей остаточные количества в растительности в десятки раз меньше. Поэтому их влияние на получение летальной дозы исчезающе мало.

Отличительной особенностью указанной серии экспериментов была комплексность исследования. Здесь одновременно определялись и характеристики аэрозолей (размер, концентрация), и уровни осадков, и количество ядохимиката, осаждаемое или переносимое на насекомое, и смертность насекомых. В результате было показано, что гибель насекомых определяется только количеством инсектицида, попадающего на гусениц, и не зависит от способа получения летальной дозы.

В работе [339] приведены результаты аналогичных исследований для гусениц непарного шелкопряда старших возрастов. Были подтверждены основные выводы, полученные на гусеницах 1-го (младшего) возраста, а также показано, что при уничтожении более крупных гусениц увеличивается расход ядохимиката, даже при одинаковом значении летальной дозы. В этих же экспериментах исследовано влияние экранирующего действия растительности. В реальной растительности экранирование уменьшает скорость оседания от 2 до 5 раз.

Обобщение результатов исследований по закономерностям оседания аэрозолей на насекомых приведено в [340]. В этой работе предложена теоретическая модель, позволяющая построить оптимальную аэрозольную технологию применения пестицидов и других физиологически активных веществ. В рамках предложенной теории с единой точки зрения удастся описать как результат воздействия на вредные организмы, так и воздействия различных технологий на уровни загрязнения окружающей среды, а также возможные отрицательные последствия на животный мир и здоровье людей. Для реализации этой теории необходимо также знать, как в зависимости от размера частиц, метеорологических условий и структуры растительного покрова изменяется концентрация в аэрозольном облаке и осадок в растительности и на почве.

В связи с огромной важностью определения антропогенной нагрузки на объекты окружающей среды не только при применении пестицидов в сельском и лесном хозяйстве, а также из-за разнообразных выбросов аэрозолей, образующихся в промышленности, на транспорте и коммунальном хозяйстве, в последние годы большое внимание уделяется вопросу изучения закономерностей распространения и оседания аэрозолей в приземном и пограничном слое атмосферы. Хотя число публикаций по этому вопросу

огромно, многие из важных моментов этих сложных закономерностей до конца не решены. Поэтому наряду с максимально детальным анализом публикаций, относящихся к технологиям применения пестицидов, дадим краткий обзор и работ в смежных областях.

В сельском и лесном хозяйстве вопросы влияния размера частиц на закономерности их рассеяния в приземном и пограничном слое атмосферы изучаются с конца 40-х гг. Одна из актуальных проблем, стимулирующая эти работы, связана с оценкой риска при сносе очень опасных препаратов за территорию, где необходимо уничтожить вредителя, она названа "проблема сноса".

На первом этапе (60 - 70-е гг.) основным методом были разнообразные исследования, когда по планшетам, выкладываемым на различных расстояниях от источника (наземных и авиационных опрыскивателей и аэрозольных генераторов), определялось количество препарата, оседающего на единицу площади [5, 188, 300]. Проанализированы результаты исследований, охватывающих период до середины 80-х гг., Не ставя задачи охватить все опубликованные работы, здесь укажем обзорные работы и публикации, связанные с теоретическими обобщениями [228, 341 - 345]. Такой подход прежде всего определяется точкой зрения и тенденциями развития исследований в данной области. Одновременно с разнообразными экспериментами в полевых условиях и лабораториях, развиваются различные теоретические модели, которые позволяют на основе обобщения полученных данных провести не только оценку ожидаемых последствий, но и оптимизировать как технологию применения аэрозолей в защите растений, так и саму методику дорогостоящих полевых опытов.

Результаты по созданию и применению методов математического моделирования при оптимизации аэрозольной технологии изложены в [187, 224 - 227]. Один из примеров использования разработанных математических моделей для расчета оптимального размера при борьбе с гусеницами хлопковой совки описан в [346]. В этой работе рассчитано изменение оптимального размера в случае различных технологий применения: наземного и авиационного опрыскивания, ультрамалообъемного опрыскивания (УМО), оптимальной аэрозольной технологии. Так, в случае авиаопрыскивания оптимальный диаметр капель около 100 - 200 мкм. При увеличении ширины захвата от 30 до 100 м, что достигается методом УМО, оптимальный размер изменяется от 60 до 30 мкм. При обработках участков полей с шириной захвата от 100 м до 1 км оптимальный диаметр изменяется от 50 до 20 мкм для приподнятого на высоту 7 м источника. Для наземного генератора при тех же условиях оптимальны капли диаметром от 2 до 10 мкм.

В зависимости от целей, решаемых при защите растений от вредных насекомых и болезней, можно подобрать размер аэрозольных частиц, при которых удельный расход будет минимальным. В первом приближении разнообразные классы биологически активных веществ (пестициды, биопрепараты, регуляторы роста и др.) можно разбить на две группы. К первой относятся соединения для борьбы с насекомыми - вещества контактного действия. Их необходимо осадить на поверхность насекомого. Как следует из приведенных выше данных, оседание таких частиц связано с инерционным

оседанием частиц на микрошероховатостях поверхности насекомых. В условиях устойчивой стратификации атмосферы для большинства реальных ситуаций оптимальны частицы диаметром от 3 - 5 до 20 - 30 мкм.

В случае, когда объектом воздействия являются растения (например, гербициды, регуляторы роста, микросудобрения) или пестициды кишечного действия (например, биопрепараты), то оптимальны более крупные капли диаметром от 15 - 20 до 50 - 70 мкм. Это связано с тем, что микрошероховатости растительности крупнее, чем толщина ворсинок на поверхности насекомого. Помимо механизма инерционного оседания на микро неоднородностях поверхности, существенным становится и гравитационное оседание на растительности. В несколько раз увеличивается также оптимальный размер, когда защитные мероприятия производятся в условиях конвективного перемешивания в атмосфере.

Важный момент оптимальной аэрозольной технологии - снижение удельного расхода пестицида, сопровождаемое также существенным уменьшением уровня загрязнения растительности и почвы. Остаточные количества в почве в режиме использования частиц оптимального размера снижаются в десятки и сотни раз. Столь резкое уменьшение уровня загрязнения почвы имеет особое значение, так как остатки пестицидов в почве сохраняются максимально длительное время. Например, остаточные количества хлорорганических пестицидов типа ДДТ и альдрин сохраняются в почве после применения высоко- или ультрамалозъемного опрыскивания в течение многих лет или десятилетия. Именно этим можно объяснить перенос таких веществ в глобальном масштабе. Правильный выбор размера аэрозольных частиц в настоящее время возможен уже в рамках некоторых математических моделей. Это во многих случаях сокращает очень длительные и дорогостоящие экспериментальные исследования. Кроме того, математическое моделирование позволяет также прогнозировать возможные санитарно-гигиенические и экологические последствия. В результате появляется возможность комплексной оценки различных аспектов безопасного применения самых различных биологически активных веществ.



2.2.1. Аэрозоли инсектицидов и нецелевые членистоногие

Неизбежное применение химических средств защиты растений, широко практикующееся во всем мире, инициировало исследования ученых по выяснению влияния пестицидных обработок на нецелевые организмы агроценозов [347 - 351]. Как и следовало ожидать, здесь обнаружились интересные перспективы. В частности, оказалось, что различные препараты, включая бактериальные, по-разному действуют на вредные и полезные виды экосистемы [119, 352 - 355]. Это позволяет при наличии некоторого избытка пестицидов в каждом конкретном случае использовать тот препарат, который наиболее мягко действует на полезную фауну [356].

Определенный резерв снижения негативных последствий для нецелевых объектов от пестицидных обработок имеется также в календарных сроках применения химических средств. В частности, американскими коллегами получены данные, показывающие, что весенние обработки дельтаметрином оказываются более щадящими по отношению к хищным напочвенным членистоногим, нежели аналогичные летние обработки [357].

Интересные данные получены также по чувствительности различных стадий трихограммы к наиболее широко применяющимся сейчас инсектицидам [358]. В отличие от весьма чувствительной к пестицидам взрослой фазы, преимагинальные стадии трихограммы, находящиеся внутри яиц хозяев, надежно защищены от токсикантов и этот энтомофаг таким образом довольно хорошо переносит инсектицидные обработки. Проблемы возникают позже в момент выхода имаго из яиц хозяина.

Энтомологами главным образом Биологического института СО РАН в составе Новосибирской комплексной экспедиции по разработке новой более экологичной технологии применения пестицидов изучалось влияние инсектицидных аэрозолей на почвообитающих коллембол и клещей, членистоногих напочвенного, травяного и древесного ярусов. Определялась численность панцирных клещей-орифатид после применения аэрозолей метафоса при термомеханическом и механическом режимах работы аэрозольного генератора [134, с. 32 - 43]. Обилие клещей в опыте практически не отличалось от контроля и следовало сезонному ходу численности данной группы.

Влияние метафоса на коллембол исследовалось после наземного и авиационного опрыскиваний и аэрозольных обработок [61, с. 5 - 37; 134, с. 52 - 62]. Существенное снижение численности коллембол наблюдалось после наземного опрыскивания. Спустя сутки население ногохвосток в этом эксперименте уменьшилось в 4 раза по сравнению с предыдущим учетом и в 12 раз в сравнении с контролем. Наземное опрыскивание с обычной нормой расхода (0,5 - 0,7 л/га) 40% метафоса сняло характерный для района исследований среднелетний подъем численности этих членистоногих.

Внесение метафоса методом авиационного опрыскивания оказало еще более выраженный угнетающий эффект. Отмечено не только снижение численности коллембол, но и изменение структуры сообщества, ее общее обеднение. Угнетающее действие авиаопрыскивания было особенно заметным через 20 и 40 дней после начала эксперимента. В связи с обильными дождями на контрольном поле в упомянутые сроки отмечено значительное увеличение как численности, так и видового разнообразия ногохвосток, не зарегистрированные в опыте. Ингибирующий эффект в отношении коллембол прослеживался и через год после самолетного и наземного опрыскиваний метафосом.

Последствия аэрозольного применения метафоса для ногохвосток испытаны при двух режимах работы аэрозольного генератора: термомеханическом и механическом. Как показали результаты предусмотренных экспериментом учетов, оба режима не нарушают естественный сезонный ход численности коллембол, а лишь частично "срезают" среднелетний максимум. Только вблизи хода генератора (50 - 100 м), независимо от режима работы,

наблюдался четко выраженный угнетающий эффект аэрозолей метафоса, сходный по силе воздействия с авиаопрыскиванием, что можно объяснить близкими по объему остатками инсектицида. По прошествии года с момента аэрозольной обработки ингибирующий эффект в отношении коллембол не отмечен.

Реакция герпетобионтных членистоногих на воздействие инсектицидных аэрозолей особенно показательна. В районе работы аэрозольной экспедиции герпетобий представлен широко распространенными и своеобразными группами членистоногих. В своем большинстве они хищники, играющие существенную роль в регуляции численности фитофагов.

Влияние инсектицидных аэрозолей в термомеханическом и пневмомеханическом режимах работы генератора на упомянутых беспозвоночных оценивалось в агроценозах Северного Казахстана, Западной Сибири, а также в лесных угодьях Марийской АССР, Алтайского края и Тюменской области [61, с. 37 - 75; 134, с. 32 - 43; 359, 360]. Собранные материалы не позволили зафиксировать ингибирующий эффект аэрозольных обработок по отношению к напочвенным членистоногим. Это объясняется не только небольшими остаточными количествами инсектицидов после аэрозольных обработок, но и биоэкологическими особенностями герпетобионтных членистоногих.

Кривая сезонной динамики численности взрослой фазы герпетобионтов обычно имеет двухвершинный вид. Первый пик обеспечивают перезимовавшие особи. Второй, как правило более высокий, отражает численность имаго нового поколения. Аэрозольные обработки по времени проведения обычно приходятся на стык двух генераций, из которых одна, выполнив репродуктивную функцию, уже сходит, а другая заступает на ее место.

Другая важная экологическая особенность напочвенных членистоногих, снижающая негативные последствия аэрозольных обработок, заключается в приуроченности всех фаз герпетобионтов к почве, что резко снижает вероятность их контакта с инсектицидными частицами, выседающими из аэрозольной волны. Как показали наши исследования, летальную дозу препарата могут набрать только те особи, которые в момент прохождения аэрозольной волны встречаются на открытой поверхности почвы. Чаще обычного мертвые экземпляры герпетобия отмечались вблизи хода генератора (до 100 - 200 м), где остатки инсектицида соизмеримы с авиаопрыскиванием.

Исследования последствий аэрозольных обработок для обитателей травяного яруса были выполнены в условиях леса и поля. При обработке лесных угодий, кроме оценки эффективности против вредителей леса, было также оценено воздействие аэрозольного облака из хлор- и фосфорорганических инсектицидов на обитателей травостоя [299, 361]. Зафиксировано сокращение как общей численности членистоногих травяного яруса, так и их отдельных таксонов (мухи, клопы, прямокрылые, равнокрылые, пауки) в несколько (2 - 10) раз. Исключение составляют такие хлороорганические инсектициды, как ДДТ и ГХЦГ в отношении перепончатокрылых и кокциnellид, представители которых пострадали незначительно. Восстановление общей численности хортобионтов зарегистрировано через 2 - 3 недели после обработки, а при возможности миграции с соседних

необработанных участков - через 3 - 9 дней. Даже после трехкратных аэрозольных обработок хлорорганическими инсектицидами, вызвавших 100% -ю гибель жуков майского хруща, восстановление хортобионтов до уровня в контроле произошло через 22 дня после последней обработки.

Действие инсектицидных аэрозолей на обитателей травостоя пахотных угодий Северного Казахстана оценивали применительно к выделенным тестовым группам [61, с. 75 - 96; 134, с. 74 - 86]: - это златоглазки, жуки-малашки, перепончатокрылые, хлебные клэпки, люцерновые клопы, божьи коровки. Аэрозоли фосфорорганических инсектицидов (метафос, метатион) снизили численность перечисленных выше хортобионтов на расстоянии 1 км от хода генератора на 92 - 95%, а на удалении до 2 км - на 10 - 15%. Сохранение значительной части популяций насекомых травяного яруса на удалении более 1 км от хода генератора позволяет оставшимся особям нормально развиваться и расселяться на другие в том числе более жестко обработанные участки агроценозов, что весьма экологично по отношению к видам, не являющимся вредителями. Как показали систематические наблюдения, восстановление химически депрессированных популяций хортобионтов протекает довольно активно. Уже на 30-й день после аэрозольной обработки различия в их численности на опытных и контрольных полигонах были недостоверны.

Работы по экологической оценке аэрозольной технологии применения пестицидов были затем продолжены в лесостепных районах Западной Сибири [214], где изучали последствия аэрозольных обработок для хортобионтов целинных участков с луговым разнотравьем, примыкающих к березово-осиновым колкам. Эти участки являются "осколками" целинной степи с довольно богатым и своеобразным энтомонаселением, включающим резерв энтомофагов и опылителей и играющим важную роль в обеспечении гомеостаза энтомоценоза агроландшафта упомянутого региона.

Для оценки долговременных последствий применения инсектицидных аэрозолей были подобраны контрольные и опытные полигоны, обработанные в учетный 1988 г., за год до этого в 1987 г. и за два года - в 1986 г. Это было сделано для определения, кроме непосредственного эффекта, еще и долговременных последствий аэрозольных обработок больших площадей порядка нескольких тысяч гектаров. Систематические учеты с декадным интервалом в течение всего лета 1988 г. позволили выявить сезонную динамику численности 28 крупных таксонов хортобионтов. Среди фитофагов доминировали цикады, клопы, саранчевые, мухи-хлоропиды, листоеды. Из зоофагов преобладали пауки, паразитические перепончатокрылые, хищные клопы, мухи-тахины.

Построены графики сезонной динамики численности фитофагов и энтомофагов на опытных полигонах текущего года, в контроле и на участках, обработанных год и два назад. В год применения (июнь) аэрозолей метафоса и метатиона численность хортобионтов на опытных полигонах резко падает, но уже в июле, через 20 - 30 дней, восстанавливается до 60 - 80% контроля, а в августе - до 100%, т.е. в данном случае мы имеем дело с непосредственным проявлением эффекта химического стрессирования обработкой.

Интересно, что численность фитофагов на полигонах, обработанных один и два года назад была заметно меньше в июне, но во второй половине лета не имела достоверных различий с контролем. Это, на наш взгляд, объясняется не долговременными последствиями аэрозольных обработок, а перевыпасом скота, концентрирующегося на немногочисленных в настоящее время целинных участках с естественным травостоем.

Динамика численности энтомофагов-хортобионтов приколочных целинных участков также демонстрирует непосредственный ингибирующий эффект в ответ на применение инсектицидных аэрозолей. На таких полигонах их численность падает примерно в 2 раза, но уже через 20 - 30 дней восстанавливается до контроля. На участках, обработанных в 1986 и 1987 гг., численность энтомофагов от контроля достоверно не отличалась, т.е. через 1 и 2 года после аэрозольного применения инсектицидов отрицательные последствия химобработки не проявляются.

Соотношение фитофагов и энтомофагов, как известно, играет ключевую роль в поддержании сбалансированного равновесия в биоценозах. Графики процентного соотношения фитофагов и энтомофагов показывают, что как в контроле, так и на трех опытных полигонах, обработанных соответственно в 1986, 1987 и 1988 гг., эти соотношения одинаковы: 75 - 85% хортобионтов приходится на фитофагов, а 15 - 25% - на зоофагов. В абсолютных цифрах соотношение фитофаги/энтомофаги показывает, что на одного энтомофага приходится от 3 до 10 фитофагов, причем данное соотношение примерно одинаково как в контроле, так и на опытных участках.

Таким образом, после применения инсектицидных аэрозолей в больших производственных масштабах каких-либо серьезных структурных перестроек в системе фитофаги/энтомофаги не происходит. Поэтому, как следует из математической модели "паразитоид-хозяин", согласно принципу оптимальности [78], такая система остается устойчивой как в детерминированной, так и случайной среде [215].

2.3. Оптимальные технологии применения пестицидов

Применение пестицидов предполагает их диспергирование и распространение на местности. Твердые пестициды предварительно измельчают и применяют в виде порошков и дустов способом опыливания, жидкие в виде эмульсий, суспензий, растворов способами опрыскивания наземными машинами и самолетами или в аэрозолях. Различия между способами диспергирования определяются размером частиц и нормой расхода препаратов. По известным классификациям [363, 364], дисперсные системы с размером частиц до 50 мкм относятся к аэрозолям, а крупные 50 мкм это способы опрыскивания, в том числе ультрамалообъемного, и опыливания. В настоящее время большая часть пестицидов расходуется способом опрыскивания. На опыливание и аэрозоли приходится не более 20% массы пестицидов. В гл. 2.2 данного обзора убедительно показано, что оптимальное применение пестицидов зависит главным образом от размера частиц.

Дисперсные системы с частицами в пределах от 1 до 50 мкм позволяют распространять пестициды и другие биологически активные вещества на местности наиболее экономно по сравнению с опрыскиванием и опыливанием, а именно с наименьшим расходом вещества и минимальным временем на их распространение. Поэтому подробнее остановимся на способах аэрозольного применения пестицидов.

Уже в 1970-х гг., еще до создания аэрозольного генератора регулируемой дисперсности как полевой машины, был сделан вывод о том, что в природных условиях наилучших результатов по минимальному удельному расходу инсектицидов и дальности их действия, а следовательно и минимальному времени на их распространение на местности можно ожидать при создании аэрозольного облака из капель диаметром 5 - 30 мкм [300]. В более поздних сборниках [134, 187] описываются конструктивные и режимные характеристики аэрозольного генератора регулируемой дисперсности. Перечисленные результаты - плоды многолетних исследований, проводимых коллективами 10 научно-исследовательских институтов в условиях полевых экспедиций на территории 11 областей на Урале, Верхней Волге, в Западной Сибири, Казахстане, Средней Азии и Якутии. Объем исследований по отработке аэрозольных технологий применения пестицидов и других БАВ только с применением аэрозольных генераторов регулируемой дисперсности охватывает площадь более 0,5 млн га (табл. 2.2). Для грамотного освоения аэрозольных технологий, специалистами упомянутых

Т а б л и ц а 2.2

Масштабы применения аэрозольных генераторов регулируемой дисперсности

Годы	Место	Культура	Обработанная площадь, тыс. га
1978-1987	Башкирия	Лес	26,0
1980-1982	Кокчетавская область	Пшеница	61,0
1983-1984	Таджикистан	Хлопчатник	9,1
1987-1988	Таджикистан	Хлопчатник Абрикосовые сады	6,0 2,0
1985-1988	Новосибирская область	Зерновые, пропашные, многолетние травы	109,0
1993-1994	Новосибирская область	Картофель	1,0
1988	Якутия	Многолетние травы, се- нокосы	14,2
1992-1993	Якутия	То же	41,0
1991-1993	Уфимский аэрозольный отряд в Башкирии, Оренбургской обл. и Краснодарском крае	Зерновые и пропашные Подсолнечник	234,0 8,0

НИИ издано шесть и подготовлено к изданию восемь методических указаний; рекомендаций и инструкций, регламентирующих эффективное и безвредное применение пестицидов в аэрозолях оптимальной дисперсности [144, 365 - 369]. Показатели возможностей аэрозольных технологий применения пестицидов по сравнению с традиционными способами опрыскивания приведены в табл. 2.3. Видно, что с переходом на аэрозольные технологии применения пестицидов удельный расход препаратов, горючесмазочных материалов и трудозатраты уменьшаются в 3 - 8 раз, а производительность увеличивается в 4 - 20 раз по сравнению с традиционным опрыскиванием.

Т а б л и ц а 2.3

Технологические показатели разных способов применения инсектицидов

Показатели	Аэрозольный ГРД	Авиаопрыскивание. АН-2	Наземное опрыскивание ОПШ-15
Размер частиц, мкм	1-20	100 - 300	200 - 300
Ширина захвата, или эффективная дальность действия, км	0,5-3	0,04	0,015
Производительность, га/смену	600-2000	до 550	до 100
Удельный расход ФОС по д.в., л/га	0,05-0,15	0,4-0,7	0,4-0,7
Удельный расход топлива, л/га	0,15-0,32	1,0-1,5	0,5-1,0
Удельные трудозатраты, чел-ч/га	0,024-0,045	0,3-0,4	0,1-0,2

Выделим ключевые и лимитирующие факторы, характерные для аэрозольных технологий. Применяются только жидкости в виде эмульсий, суспензий или истинных растворов, способных переноситься с ветром после диспергирования в каплях от 1 - 2 до 30 - 40 мкм с потоком воздуха на сотни метров и оседать на мишенях в виде поверхностных покровов насекомых или растений. наилучшее время распространения и оседания аэрозолей - почное, от захода до восхода солнца, когда устанавливаются условия инверсии: (температура воздуха у поверхности земли на 0,5 - 1 - 3 °С ниже, чем на высоте 1,5 - 2 м). Поскольку преобладает инерционный механизм оседания аэрозольных капель на мишенях, в аэрозольное облако перемещается на местности только по ветру с потоком воздуха ветра, то понятно, что вне инверсии и без ветра аэрозольные обработки не донесут действующее вещество до мишеней и будут мало эффективны. Статистический анализ метеоданных срочных наблюдений за каждые 3 часа суток по Новосибирской области показывает, что в летнее время инверсия устанавливается с июня по август от 23 ч до 8 ч утра в 80 - 90% всех

наблюдений. Другое необходимое условие успешных аэрозольных обработок - наличие ветра 1 - 3 - 4 м/с. Статистика из 1500 наблюдений показывает, что штиль охватывает 8% времени. Если слабый ветер до 1 м/с считать неблагоприятным в 50% случаев, то вместе со штилевой погодой или очень сильным ветром почти четверть календарного времени непригодна для аэрозольных обработок.

Ограничены обработки в ненастную погоду. Дождь смывает пестициды, делает полевые дороги непроезжими, ограничивает безопасную эксплуатацию аэрозольного генератора. В ненастье меняется поведение и физиологическое состояние насекомых и растений, места укрытий насекомых становятся малодоступными для аэрозольных частиц.

Таким образом, периоды штиля, ненастья и отсутствия инверсии достигают 20 - 30% календарного времени и непригодны для аэрозольных обработок, что необходимо учитывать при планировании их интенсивности.

Каковы главные характеристики аэрозольных технологий применения биологически активных веществ? При опрыскивании принято интенсивность обработок характеризовать удельным расходом в литрах на 1 га (л/га). При аэрозольных обработках удельный расход - расчетная величина, которая определяется линейным расходом препарата и дальностью эффективного действия аэрозольного облака. Поэтому решающей характеристикой аэрозольных обработок является линейный расход препаратов в миллилитрах на 1 м пути генератора. Он, в свою очередь, зависит от производительности насоса, подающего рабочую жидкость на диспергирование, и скорости хода аэрозольного генератора и рассчитывается по формуле:

$$Л.Р. = П.Н. \cdot 60 / С.Х.,$$

где Л.Р. - линейный расход, мл/м;

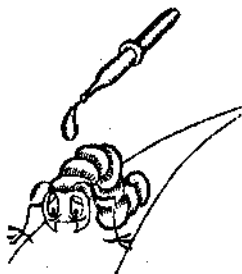
П.Н. - производительность насоса, л/мин;

С.Х. - скорость хода аэрозольного генератора, м/ч.

Этим соотношением просто пользоваться. Например, при скорости хода аэрозольного генератора с дымом 15 км/ч и производительности насоса, подающего рабочую жидкость к пневмофорсунке, 10 л/мин линейный расход составит $10 \times 4 = 40$ мл/м. При дальности действия 1 км удельный расход на 1 га составит: $10000 \text{ м}^2 : 1000 \text{ м} = 10 \text{ м}$, $40 \text{ мл/м} \times 10 \text{ м} = 400 \text{ мл/га}$, или 0,4 л/га.

Таким образом, аэрозольные технологии применения разнообразных биологически активных веществ - это технологии энерго-, трудо-, время- и ресурсосберегающие. Вместе со свойством капель оптимального размера избирательно оседать на заданные мишени (поверхность насекомых или растений), аэрозольные технологии наиболее предпочтительны по экологическим и санитарно-гигиеническим показателям. Все эти качества становятся решающими показателями для наиболее эффективного и безуберного применения пестицидов.

2.3.1. Минимизация применения пестицидов



Если применение пестицидов все-таки необходимо, то уменьшение их удельного расхода - один из важных резервов снижения их побочного отрицательного воздействия. Это объясняется следующей закономерностью: независимо от технологии применения пестицидов, глобальное загрязнение окружающей среды этими токсикантами определяется их валовым расходом, благодаря неизбежному перераспределению в системе суша -

атмосфера в результате водной и ветровой эрозии, сноса, испарения и т.п. [292]. Исходя из этого феномена, любая технология или ее модификация, уменьшающая суммарный и удельный расход пестицидов, будет способствовать улучшению экологической обстановки. Среди известных технологий применения пестицидов - наземное и авиационное опрыскивания (капли 100 - 150 микрон), ультрамалообъемное опрыскивание (капли 50 - 100 микрон) и аэрозольное диспергирование (капли 1 - 50 микрон), именно аэрозольная технология позволяет уменьшить расход инсектицидов в 2 - 10 раз по сравнению с традиционным опрыскиванием, и, с этой точки зрения, бесспорно, предпочтительнее [134].

Другой важный способ уменьшения негативных эффектов от пестицидов - это применение препаратов нового поколения, позволяющих получить нужный эффект при расходе нескольких граммов действующего вещества на гектар. Из инсектицидов сюда относятся пиретроиды, которые к 1990 г. по общей стоимости (1,9 млрд дол.) превысили производство фосфорорганических препаратов. Благодаря высокой эффективности против насекомых и малой токсичности для наземных позвоночных, а также отсутствию способности накапливаться в живых организмах, наблюдается все более широкое применение пиретроидов, особенно моноизомерных форм [370, 371]. Последние позволяют существенно снизить нормы расхода препарата (до 5 - 20 г/га по д.в.) и тем самым существенно уменьшить экологическую нагрузку на биосферу [210, 372]. Примером может служить факт минимального применения перметрина при наземном и авиационном опрыскиваниях методом УМО против павлиноглазки с использованием ветра при дальности действия 200 м. При расходе 3 - 6 г/га д.в. смертность гусениц через 1 - 2 дня достигала 92 - 99%, а через 5 дней - 100%. Рекордный минимальный показатель удельного расхода, равного 0,18 г/га д.в. получен при смертности 88% через 10 дней, причем преобладали гусеницы 5-го возраста [373]. Другой пример минимизации расхода пестицидов - применение фосфорорганических и пиретроидных инсектицидов в виде аэрозолей [134].

В Башкирии применены аэрозоли перметрина против гусениц непарного шелкопряда с расходом 2 г/га по д.в., а также аэрозоли дециса против гусениц монашенки с расходом 1 - 2 г/га по д.в. с высокой эффективностью (сообщения П.М. Трифонова и Р.А. Турьянова).

В Куйбышевской области против гусениц непарного шелкопряда применены микродозы пиретроидов методом опрыскивания по схеме (доза по д.в., г/га):

Карате	10	0,5	0,3	0,1
Суми-альфа	10	1	0,5	0,2

Отмечен хороший защитный эффект, иногда наблюдалось обедание на 10-15%, но численность кладок снизилась в 2 - 3 раза или осталась на том же уровне (сообщение на Всесоюзной конференции Л.И. Ляшенко, ВНИИЛМ, 1990).



2.4. Интегрированная защита растений

Человек пришел в противоречие с беспозвоночными-фитофагами еще на заре своего становления в период стихийного собирательства пригодных в пищу растений. С того времени эта незримая конкуренция продолжается уже сотни тысяч лет. Особенно острой она стала тогда, когда человек начал возделывать землю и засеивать ее ограниченным набором наиболее ценных культур. С тех пор прошли уже многие тысячелетия и все это время между человеком и беспозвоночными, тоже потребляющими в пищу растения, идет настоящая война. Для человека вероятно разумней искать компромиссные решения в возникающих проблемах с вредителями, мирясь с некоторыми потерями урожая.

Принуденное со временем понимание бесперспективности курса на всеобщее уничтожение вредителей заставило специалистов искать обходные пути. В результате этого родилась концепция интегрированной защиты растений, стратегической задачей которой является использование в целях сохранения урожая всех известных методов и наличных средств борьбы с вредителями [374]. При этом преследуются две дополняющие друг друга цели. Во-первых, применять такие системы земледелия и способы выращивания сельхозкультур, которые были бы неблагоприятны для вредителей. Во-вторых, во избежание всевозможных экологических нарушений химобработки проводить только в случаях крайней необходимости.

Обобщение опыта борьбы с вредителями и объединение конструктивных тенденций в защите растений началось еще в 60-е гг. Концептуально же интегрированная защита растений оформилась в 70-е годы. Например, в США концепция интегрированного управления вредителями стала частью национальной политики в аграрном секторе экономики в конце 70-х гг. [375].

Одним из основополагающих моментов, обусловившим появление концепции интегрированной защиты растений, является биосферная роль беспозвоночных и понимание необходимости сдвигшего отношения к ним. Человек живет в мире, заселенном в основном беспозвоночными, которые осуществляют круговорот веществ и энергии на нашей планете [376]. Абсолютно правы те специалисты, которые считают, что основой современной концепции защиты растений должно быть биологическое мышление [377].

Появление интегрированных систем защиты растений было вызвано растущей необходимостью защиты урожая. К этому побуждали также негативные санитарно-гигиенические и экосистемные последствия применения пестицидов, особенно усилившиеся в последние десятилетия. Кроме того, угрожающие масштабы приобрела проблема резистентности вредителей, возникающая в связи с массовым применением химикатов.

Говоря о глобальных негативных последствиях применения пестицидов, следует прежде всего иметь в виду отрицательное действие главным образом инсектицидных препаратов на нецелевых беспозвоночных агроценозов. Однако при этом следует учитывать, что, например в Германии, таким обработкам ежегодно подвергается менее 1/5 пахотных земель и, следовательно, каждое поле подвергается химическому воздействию только через несколько лет, что не может причинить большого вреда его животному населению. Правда, при этом следует учитывать побочные действия пестицидов, в частности, гербицидов на фитофагов, питающихся сорняками [378].

К сожалению, в недалеком прошлом на пестициды возлагались необоснованно большие надежды без учета их отрицательного действия на нецелевые объекты агроценозов, не говоря уже о том, что от химобработок нередко страдали даже люди [379]. И лишь широкое внедрение интегрированной защиты позволило уменьшить опасность уничтожения полезной фауны агроценозов, причем не только в результате существенного снижения объемов вносимых пестицидов, но и более грамотного ведения аграрного производства в целом [380 - 382].

Вероятно исходным и едва ли не основополагающим моментом интегрированной защиты растений должна быть ее научная и правовая обеспеченность. Необходимы широкие исследования, способствующие сокращению применения пестицидов, замены химического метода на альтернативные [383 - 387], причем очень важно международное сотрудничество и кооперация, особенно по вопросам контроля использования пестицидов и внедрения унифицированных систем интегрированного управления популяциями вредителей [386, 388, 389]. Требуется не только принятие государственных законов, направленных на охрану окружающей среды и сокращение применения пестицидов [390], но и оценка рентабельности интегрированной защиты [391]. Важно также изучить препятствия, стоящие на пути ее широкого внедрения в сельскохозяйственную практику. Показано, что часто это связано с психологией земледельцев, которые, как известно, отличаются большим консерватизмом мышления [392].

При множестве методов и способов воздействия на агроценоз в системе интегрированной защиты растений первейшим является комплекс агротехнических мероприятий, направленных на обеспечение нормальных условий для успешного развития возделываемых культур, включая безопасность со стороны вредителей. В общем виде задача агротехнического метода заключается в том, чтобы сделать окружающую среду как можно менее подходящей для развития вредителей и, наоборот, максимально пригодной для выживания и процветания их естественных врагов [393].

Для этого прежде всего необходима критическая оценка и совершенствование существующих способов обработки почвы с возможно более

широким использованием безотвальной вспашки [394]. Хорошие результаты дает также полосное возделывание культур. Например, при ширине буферных полос 21 - 38 м на озимой пшенице отмечено снижение в 1,5 - 2 раза численности вредной черепашки, злаковых тлей, имаго хлебных пилильщиков [395]. Кроме того, по сведениям этих авторов, на предпочитаемой культуре в буферной зоне могут концентрироваться такие вредители, как хлопковая совка, подгрызающие и листогрызущие совки, кукурузный мотылек, сверчки.

Как ленточные ловушки из живых сорняков данный агротехнический прием известен и за рубежом, в частности, в Канале [396]. Положительные результаты получены и в случае прекращения обработок гербицидами междурядий на полях зерновых культур [397]. В частности, показано, что это благоприятным образом сказывается на развитии нецелевых членистоногих. Аналогичные результаты получены также при изучении влияния живых изгородей из естественных насаждений деревьев и кустарников на фауну членистоногих и урожай прилегающих пахотных земель [398, 399].

Важным и весьма популярным, особенно среди неспециалистов, является биологический метод борьбы с вредителями. Кроме микробиометода, предусматривающего применение всевозможных бактериальных и грибных препаратов [400], различают еще и макробиометод, сущностью которого является использование в целях борьбы с вредителями их естественных врагов [401, 402]. Последнее чаще всего понимается как сохранение и содействие процветанию популяций природных энтомофагов, всегда имеющихся в любом агроценозе. Больших материальных затрат это не требует и на практике обычно сводится к соблюдению ряда несложных агротехнических приемов.

Однако только этим макробиометод не исчерпывается. Все более широкое распространение особенно в последние годы получает размножение на биофабриках, а затем наводняющие сезонные выпуски естественных врагов вредителей. Хорошие результаты порой дает и так называемый классический биометод, предусматривающий интродукции ранее отсутствовавших энтомофагов. Вместе с тем, всегда следует помнить о возможных отрицательных последствиях применения, в частности, классического биометода. Так, известно, что иногда это приводит к уничтожению не видов-мишеней, а других нецелевых объектов. Чаще всего это наблюдалось при завозе чужеземных энтомофагов на острова. В некоторых случаях агенты биометода после их интродукции сами становились вредителями [403].

Как совершенно справедливо подчеркивают многие специалисты, один лишь биометод не в состоянии решить все проблемы защиты растений [399, 401]. Даже его постоянное совершенствование и безусловные успехи в обозримой перспективе не предполагают полной замены им других методов, включая химический.

Серьезным недостатком большинства энтомофагов является их слабая пищевая специализация и, как правило, недостаточно высокая эффективность [404]. Правда, причиной последнего нередко служат инсектициды, применяющиеся человеком, включая бактериальные, которые, к сожалению, обычно характеризуются довольно широким спектром действия на членистоно-

гих [405, 406]. Не случайно перед современной наукой поставлена задача получения резистентных к пестицидам рас полезных членистоногих [407, 408].

При безусловных приоритетах агротехнического и биологического методов контроля численности вредителей основная нагрузка при решении задачи защиты урожая, тем не менее, обычно падает на химический метод. Обладая целым рядом бесспорных достоинств, главными из которых являются высокая эффективность, экономичность и технологичность, данный метод, вместе с тем, выступает одним из основных факторов негативного воздействия на агробиоценозы. Поэтому стратегической задачей химического метода является его всемерная экологизация прежде всего путем рационализации и оптимизации применения пестицидов с учетом нормирования химических нагрузок для конкретных территорий [375, 409 - 412].

Из множества вопросов, встающих при организации и проведении химической защиты растений, первоочередными являются изучение и оценка потребностей в пестицидах [413, 414], а также широкая разъяснительная работа и показательные опыты по рациональному применению химических средств [415, 416]. Как совершенно справедливо отмечает ряд отечественных специалистов, развитие интегрированных систем защиты растений в России главным образом идет за счет усовершенствования химического метода с учетом экономических порогов вредителей и особенностей функционирования агроценозов [206, 417, 418].

К сожалению, пока же объемы вносимых в природу пестицидов довольно велики и существенно отличаются применительно к разным странам. Например, в США в среднем применяется около 1,5, а в Японии почти 11 кг/га этих препаратов [419, 420]. Поэтому одной из главных тенденций в защите растений на современном этапе является устойчивое снижение кратности пестицидных обработок и удельного расхода препаратов. За последние полтора десятка лет дозы вносимых пестицидов снизились в 100 - 750 раз. Теоретически же возможно их снижение до нескольких миллиграммов на 1 га посевов [421]. Правда, следует помнить, что возможности снижения удельного расхода препаратов все же не беспредельны. Так, данные [422], показывают, что обработка, например, гусениц 1У возраста капустной совки заниженными дозами амбуша и карбофоса, вызывающими гибель лишь 20% особей, в целом стимулирует развитие данного вредителя, причем повторная обработка в том же режиме усугубляла первоначальный эффект.

Здесь мы подходим к рассмотрению одной из самых сложных и растущих проблем, возникшей в связи с широким применением пестицидов - о явлении резистентности членистоногих к химическим препаратам, т.е. появлении устойчивых рас вредителей, невосприимчивых к рентабельным дозировкам пестицидов [423 - 426].

Оценивая пути развития химического метода контроля вредителей, специалисты считают, что из инсектицидов наиболее перспективными являются пиретроиды. Высокая эффективность пиретроидов против членистоногих наряду с относительной безопасностью для теплокровных, а также их удовлетворительная персистентность в полевых условиях позволяют считать, что данный класс соединений будет и в будущем доминировать среди

инсектицидов, применяющихся в сельскохозяйственной практике [386, 427 - 429]. К сожалению, и пиретроиды не лишены недостатков. Одним из них, в частности, является резистентность вредителей [430, 431]. Чтобы воспрепятствовать быстрому появлению устойчивости к упомянутым соединениям специалисты рекомендуют чередовать их с препаратами других классов или применять, например, совместно с фосфорорганическими инсектицидами [428, 431 - 433].

Большие успехи в будущем сулят также достижения генной инженерии. В частности, весьма полезными могут оказаться работы по "вшиванию" в геном полезных видов гена, ответственного за резистентность к инсектицидам. Это позволит энтомофагам сохраниться и успешно размножаться на обработанных посевах [434, 435].

Одним из современных направлений экологизации защиты растений, кроме того, является получение сортов сельскохозяйственных культур, вырабатывающих энтомотоксины, опасные для питающихся на них вредителей, но безопасные для человека и нецелевых членистоногих и теплокровных животных [436 - 439]. Это достигается путем введения в генетический код растений гена бактерий и других микроорганизмов, ответственного за синтез веществ, токсичных для вредителей. Уже получены трансгенные растения хлопчатника, несущие ген энтомотоксина из кристаллообразующей бактерии и демонстрирующие устойчивость к чешуекрылым вредителям [440]. У этого безусловно перспективного направления имеются и слабые места, главным образом связанные с непредсказуемостью результатов свободного скрещивания полученных человеком трансгенных растений с их дикими сородичами в природе, что может привести к загрязнению окружающей среды токсинами и повлечь за собой ускорение выработки вредителями устойчивости к этим токсикантам [439].

Хотя в последние десятилетия и возникли известные проблемы с применением пестицидов, химический метод защиты растений себя далеко не исчерпал. Во многих странах мира ведутся активные и не безуспешные исследования, направленные главным образом на улучшение его экологических характеристик [436]. Задача прежде всего заключается в том, чтобы существенно повысить селективность традиционных пестицидов к целевым объектам [386, 441]. В будущем предстоит синтезировать новые препараты с улучшенными свойствами и повышенной водорастворимостью [442].

Наряду с наработкой уже зарекомендовавших себя препаратов, ведутся широкие исследования с целью поиска инсектицидов будущего. Уже найдены соединения, нарушающие процесс развития вредных организмов [443]. Сделаны первые попытки синтеза аналогов нейронептидов, обладающих многообразной активностью и контролирующими многие важные стороны жизни насекомых [444]. Все более интенсивные исследования ведутся по использованию в целях борьбы с вредителями физиологически активных веществ, содержащихся в некоторых растениях [445]. Особое внимание при этом обращается на так называемые триптерпеноиды, которые оказывают влияние на питание насекомых и откладку ими яиц. В качестве ингибитора питания чешуекрылых-вредителей предлагается применять азтоллизат 2-месячной культуры морской зеленой водоросли [446].

Большие резервы в экологизации химического метода имеются также в совершенствовании препаративных форм и технологических характеристик пестицидов. В развитых странах мира уже сейчас более 70% всех пестицидов применяются в микрокапсулированном виде. Такие препараты отличаются большей эффективностью и персистентностью, меньшей летучестью и токсичностью для нецелевых объектов, а также удобством хранения и обращения [447].

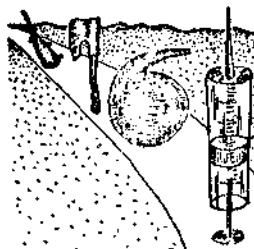
В качестве эмульгатора весьма перспективен соевый лецитин [448]. Проведенные исследования позволили сделать общий вывод о ценности этого естественного продукта как нефитоцидного и безвредного для окружающей среды, а также дешевого компонента для приготовления эмульсии пестицидов.

Важным моментом интегрированной защиты растений является оптимизация технологий и способов применения пестицидов [449]. Это прежде всего соблюдение экономических порогов вредоносности, проведение обработок в момент прохождения кормовым растением наиболее уязвимых фаз развития, применение локальных обработок, совмещение в одном технологическом процессе борьбы против комплекса вредителей и т.д. При планировании обработок весьма полезно также учитывать сроки массовых выпусков энгомфагов [450].

Существенное повышение эффективности химобработок может быть достигнуто в результате совершенствования машин и механизмов, используемых для применения пестицидов. Например, использование фенигтроциона с вертолета против летящей стаи саранчи позволило достигнуть эффективности не менее 80 - 90% в то время как при наземной обработке она была ниже 50% [451]. Как показали исследования, существенные улучшения экологических показателей химического метода могут быть достигнуты в результате снижения удельного расхода препаратов, т.е. уменьшения общей массы вносимых в природу пестицидов [292]. Большие возможности здесь имеет новая аэрозольная технология, разработанная новосибирскими специалистами. Она позволяет применять пестициды в виде аэрозолей оптимальной дисперсности [300, 187, 452].

Таким образом, важной особенностью насекомых-фитофагов является их способность к периодическим вспышкам массового размножения, которые человек во имя спасения урожая вынужден жестко подавлять. Однако общие законы жизни природы ограничивают масштабы его вмешательства в экосистемы и, в частности, возможности применения химических средств контроля численности вредителей. В результате, теория и практика находятся в известном противоречии, которое может быть снижено до приемлемого уровня только лишь на основе концепции интегрированной защиты растений, предусматривающей в том числе управление агроэкосистемами и биоценозами [116, 453, 454].

2.4.1. Замена инсектицидов гормоноподобными соединениями и биопрепаратами



Современные синтетические инсектициды: хлор-, фосфорорганические, карбаматные, пиретроидные - это контактные нервнопаралитические препараты. Токсичные против всех животных, они избирательно высокотоксичны против членистоногих. Примером наибольшей избирательности могут служить пиретроиды, которые в 200 - 5000 раз токсичнее против членистоногих по сравнению с

позвоночными животными [371, 455]. Тотальная токсичность инсектицидов против животных - вот главный фактор дестабилизации биосферозов при избыточном применении препаратов. Поэтому использование вместо таких препаратов специфических регуляторов роста и развития членистоногих, нетоксичных для позвоночных животных, гораздо выигрывает.

Развитием идеи о том, что регуляторы роста и развития насекомых можно использовать в качестве инсектицидов, было открытие в 70-х гг. текущего столетия синтетических ингибиторов биосинтеза хитина из группы бензоилмочевин [456]. При их применении насекомые погибают не сразу, а при очередной линьке. Практическое использование из этих соединений нашел дифлубензурон, или димилин, эффективный против многих видов бабочек в дозе 100 - 300 г/га. Димилин эффективен также против яиц. При обработке взрослых насекомых сокращается их плодовитость, а вышедшие личинки гибнут при линьке. Другой представитель бензоилмочевин - хлорфлуазурон - еще более эффективен, чем димилин. При норме 10 - 100 г/га он весьма токсичен против гусениц, клопов, жуков, а в дозе 12 г/га уничтожает колорадского жука. Синтезирована также арилбензоилмочевина, обладающая акарицидными свойствами.

Основное преимущество бензоилмочевин перед синтетическими инсектицидами заключается в принципиально другом механизме действия. Благодаря этому они эффективны против устойчивых к ФОС и пиретроидам популяций членистоногих и незаменимы в системе ротации для предотвращения привыкания к инсектицидам. Другое их преимущество заключается в том, что бензоилмочевин малотоксичны для позвоночных животных. Однако агрессивны против членистоногих, они также нарушают равновесие популяций членистоногих со всеми вытекающими из этого отрицательными последствиями.

Биопрепараты вирусной, бактериальной и грибной природы интенсивно разрабатываются во многих странах мира и широко применяются в практике защиты растений [457, 458]. Их преимущество по сравнению с ингибиторами биосинтеза хитина заключается не только в абсолютной инертности к позвоночным животным, но, главным образом, в наибольшей избирательности действия по отношению к членистоногим.

Проведены специальные исследования, доказывающие избирательность действия биопрепаратов [459]. Их расширенное применение оправдано гарантированностью от нежелательных побочных последствий для позвоночных животных. Гарантией выступает миллионлетняя притертость

биологических агентов к определенным видам и группам членистоногих, полная безопасность для позвоночных из-за принципиальных различий этих животных, обусловленных разными уровнями жизни. Кроме того, в этих опытах доказана видовая избирательность вирусов. Например, вирус хлопковой совки отрицательно не действует на имаго трихограмм и златоглазок. В опытах не отмечена гибель от вируса ХС вредных видов, обитавших в одном биоценозе с хлопковой совкой: кукурузного мотылька, совки-гаммы. При наличии у вредителей скрытой вирусной инфекции обработки могут активизировать этот вирус, что и наблюдали у капустной совки [459].

В будущем возможны экологически чистые способы ограничения численности вредных насекомых с применением методов генной инженерии. Например, использовано 2 гена, ответственных за выработку белковых инсектицидных агентов. В геноме табака и томата включен ген бактерии, токсичной для гусениц табачного бражника. Защитный эффект аналогичен бактериальному препарату при опрыскивании [460].

Другое направление замены инсектицидов, кроме использования вирусных, бактериальных, грибных и гормоноподобных препаратов, - это применение синтетических феромонов для сигнализации сроков лета имаго и дезориентации их полового поведения, приводящего к стерильности самок [461]. Известны примеры эффективной дезориентации для хлопкового долгоносика и моли, яблонной плодовой гусеницы, шелкопряда-монашенки, непарного шелкопряда, волнянки. Добавление к феромону пиретроинов позволяет уменьшить расход инсектицидов в десятки раз. Кроме снижения удельного расхода препаратов, совместное применение феромонов и инсектицидов может вызывать эффект избирательного действия из-за преимущественного привлечения и гибели целевого объекта, поскольку вероятность контакта нецелевых членистоногих с отравленными приманками мала.

Можно рекомендовать аэрозольный способ совместного применения феромонов и инсектицидов против половозрелых стадий вредных насекомых в расчете на снижение расхода препаратов и избирательность действия таких смесей из-за малых дозировок, ниже летальных доз большинства нецелевых членистоногих. Видимо, весьма эффективным будет аэрозольный способ распространения феромонов для достижения эффекта дезориентации самцов вредных видов. Опыт дезориентации насекомых в системах интегрированной защиты растений накоплен в США, Канаде, Японии, Австрии и успешно применяется в этих странах уже более 10 лет.

2.4.2. Повышение иммунитета растений

Повышение иммунитета растений обеспечивает минимальную численность вредителей и развитие болезней и исключает или уменьшает применение пестицидов. Это направление в защите растений, определено трудами Н.И. Вавилова [462] и развивается во Всероссийском институте защиты растений [463]. Можно выделить несколько направлений, позволяющих



повысить иммунитет растений. Селекционно-генетический путь повышения устойчивости растений к членистоногим и болезням, видимо, один из самых эффективных. Кроме того, повышение иммунитета растений достигается за счет стимуляции их роста и развития благодаря гормонам роста и удобрениям, особенно в виде микроэлементов [464, 465]. Наконец, устойчивость растений к повреждениям повышается за счет размещения культур в зонах их наилучшего произрастания.

Только долгосрочные программы повышения устойчивости растений способны решить проблему их защиты с учетом требований экологии. Эффективность такого направления растениеводства хорошо подтверждается на практике (табл. 2.4). Внедрение устойчивых сортов голько против упомянутых 12 вредителей и парши на плодовых позволяет экономить сотни миллиардов рублей ежегодно и предотвращает загрязнение среды пестицидами.

В США и России рентабельность работ по выведению устойчивых сортов очень высока, выгоды в сотни раз превышают затраты. Важно свойство долговременной устойчивости сортов к вредителям, прослеживаемое на протяжении 20 - 30 лет.

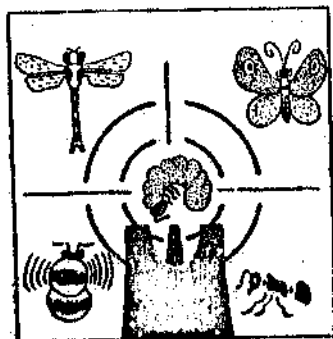
Повышение устойчивости растений к вредным насекомым и болезням путем применения микроудобрений особенно эффективно, а, с учетом требований экологической чистоты, предпочтительно. Перспективы применения микроэлементов объясняются тем обстоятельством, что большая часть пахотных земель бывшего СССР (50 - 90%) имеет недостаток каких-то микроэлементов [464]. Между тем это приводит к нарушению важнейших биохимических процессов в организме растений, отрицательно влияет на фотосинтез, азотный обмен, замедляет развитие растений, вызывает многочисленные болезни возделываемых культур. Внесение микроэлементов повышает устойчивость растений к грибным и бактериальным болезням и к вредным насекомым [464, 465]. Огромные площади, на которых необходимо применение микроэлементов, требуют высокопроизводительной технологии их внесения. Поэтому на очереди стоит задача разработки аэрозольной технологии внесения микроэлементов путем внекорневой подкормки через листовую поверхность.

К этой же проблеме относится применение гормонов роста и других регуляторов роста и развития растений типа препаратов "Гибберсиб", "Силк", "Краснодар-1" и др. Поэтому стоит задача разработки аэрозольной технологии внесения регуляторов роста и микроэлементов путем внекорневой подкормки через листовую поверхность. Здесь используются преимущества аэрозольных технологий: огромная производительность, рекордно малый удельный расход препаратов, независимость от фазы развития и высоты растений, в частности возможность эффективной обработки в любое время вегетации без боязни уничтожения части урожая от колес обрабатывающей техники.

Эффективность культивирования устойчивых сортов культурных растений [463]

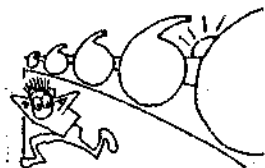
Вредители	Культура	Эффект
1	2	3
Подсолнечниковая огневка и заразики	Подсолнечник, устойчивые панцирные сорта	Полная потеря вредоносности на суммарной площади 100 млн га за 38 лет без применения пестицидов
Филлоксеры винограда	Устойчивые формы винограда в подвое	Полный отказ от пестицидов
Гессенская муха	Устойчивые сорта пшеницы	Снижают заселенность в сотни и даже 3000 раз в бывшем СССР и США
Стеблевой хлебный пилильщик	Устойчивые сорта пшеницы	Численность вредителя уменьшается в 30 - 44 раза и резко снижается плодовитость самого пилильщика. После 2 - 3 генераций численность пилильщиков снижается в 120 - 300 раз. Недобор пшеницы неустойчивых сортов на площади 8 - 10 млн га составляет 1,5 млн т ежегодно. На устойчивых сортах в бывшем СССР дополнительно получали 1 млн т пшеницы
Шведская муха	Устойчивый двурядный сорт ячменя	Повреждается в 30 раз меньше, чем неустойчивый многорядный
Серая зерновка	Пшеница Саратовская-29	Численность гусениц была в 5 - 23 раза меньше, чем на неустойчивом сорте Парка; на устойчивом сорте Пиротрикс-28 личинок не было вовсе
Клоп вредная черепашка	Неустойчивые сорта пшеницы (Безостая-1 и др.)	Численность личинок была в 2 - 6 раз выше, чем на устойчивых. Плодовитость самок клопа при питании на устойчивых сортах Украинка, Редкарнед снизилась в 2 - 2,5 раза по сравнению с особями, питавшимися на неустойчивых сортах Мироновская-808, Безостая-1. Выживаемость личинок вредной черепашки на неустойчивых сортах Безостая-1, Эритросперум была в 4 - 8 раз выше, чем на устойчивом сорте Украинка
Стеблевой мотылек	Устойчивые сорта	Коэффициент размножения мотылька был в 33 раза ниже и численность была ниже 1, а именно 0,39, что, по данным американских энтомологов, может искоренить это насекомое. В США 95% площадей кукурузы засеваются устойчивыми к мотыльку гибридами. Потери зерна сократились с 350 млн дол. в 1949 г. до 59 млн дол. в 1955 г. без применения пестицидов. На устойчивых сортах высоко ли-

1	2	3
		зрелой кукурузы расход инсектицидов уменьшается в 5 - 6 раз по сравнению с неустойчивыми
Полосатый клубеньковый долгоносик	Устойчивые сорта гороха	Выживаемость личинок уменьшается в 19 раз, резко уменьшается вес личинок, плодовитость имаго уменьшается в 1,8 раза
Гороховая зерновка	Устойчивые сорта гороха	Численность личинок зерновки в 10 раз меньше, чем на рядовых сортах
Паутиный клещ	Устойчивые сорта хлопчатника	Плодовитость клеща уменьшается до 31 раза (3,2 яйца и 98,6 яиц на неустойчивом сорте)
Хлопковая совка	Устойчивые сорта хлопчатника	Имеющие опушенные листья и выделяющие мало нектара, позволяют снизить расход инсектицидов в 3 - 4 раза
Хлопковая совка	Устойчивые сорта сахарной кукурузы	Расходуется инсектицидов в 14 раз меньше, чем обычно используется на неустойчивых сортах
Парша яблони	Устойчивые сорта	Выявлены в США, что позволило отказаться от 10 - 15-кратных фунгицидных опрыскиваний садов
Калифорнийская щитовка	Устойчивые сорта яблони, груши, персика, айвы, абрикоса	Повреждаются намного меньше неустойчивых, которым только в Молдавии причиняется ущерб в размере 3 млн руб. в год. Численность личинок на устойчивых сортах яблони уменьшается вдвое. Подвой оказывает решающее влияние на устойчивость. Антоновка на подвое дикой яблони была абсолютно устойчива, а привитая на полукарликовом подвое находилась в стадии гибели. Количество химобработок на устойчивых сортах уменьшается, и они проводятся не ежегодно



Глава 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕСТИЦИДОВ И АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ

3.1. Масштабы применения пестицидов в сельском хозяйстве



В данном разделе мы не будем подробно обсуждать целесообразность химических средств защиты растений в аграрном производстве. Мы будем исходить из факта их современного широкого применения и из наиболее вероятной

перспективы их использования в будущем. Основные сведения о роли пестицидов в агропроизводстве будут относиться к США, Западной Европе и Японии. Это связано с тем, что в этих странах вышеупомянутые сведения наиболее систематизированы и доступны. Кроме того, масштабы применения пестицидов в них многократно выше, чем в других странах, в том числе в России и в других странах бывшего СССР (табл. 3.1). Поэтому негативные экологические, медицинские и социальные последствия от их применения здесь могли быть потенциально выше. В то же время известно, что в реальности эти проблемы удалось свести к допустимому минимуму. Последнее показывает, в какой мере применение пестицидов содержит в себе неустранимо опасные факторы и что может быть предотвращено различными организационными, законодательными и научно-технологическими мероприятиями.

Объемы производства и применения пестицидов обычно выражаются в весовых показателях (суммарный вес пестицидных препаратов или "чистый" вес действующих пестицидных компонентов в препаратах), через их суммарную стоимость (например, в долларах) либо через

Таблица 3.1

Потребление пестицидов в
различных странах (без Китая),
% от общего количества, использо-
ванного в 1985 - 1986 гг. (210, 466)

Страны	1985 г.	1986 г.
США	30.1	24.5
Япония	10.1	11.1
Франция	7.1	8.1
Бразилия	5.1	4.7
Италия	2.9	3.4
Великобритания	2.9	3.1
ФРГ	2.5	2.8
Индия	2.5	3.1
Канада	2.3	2.3
Южная Корея	2.0	2.0
Остальные страны	32.4	34.9

(в том числе в бывшем СССР 6-7%)

суммарные площади обрабатываемых пестицидами агрокультур. Использование суммарной стоимости неплохо отражает основные тенденции в производстве пестицидов, их сбыте, структуре их потребления, соотношении различных химических классов, направлении научных исследований в области пестицидов. Однако применительно к экологическим проблемам стоимостные характеристики не слишком информативны.

Весовые характеристики в большей степени отражают потенциальные экологические проблемы использования пестицидов, так как уровни глобального или локального загрязнения окружающей среды пестицидами фактически пропорциональны масштабам их применения. В то же время весовые показатели также в неполной степени раскрывают экологические опасности применения конкретных пестицидов. Известно, что экотоксикологические характеристики различных пестицидов могут различаться в десятки раз. Следовательно, применение большего или меньшего количества какого-либо пестицида само по себе еще не свидетельствует о его большей или меньшей опасности для природы.

3.1.1. Производство и применение пестицидов в США

Производством пестицидов в США занимаются более 400 компаний, однако 90% общего количества пестицидов приходится на 20 крупнейших из них. Концентрация производства пестицидов в крупных химических фирмах, причем не только в США, позволяет им выделять большие средства на научные, медицинские и экологические исследования. Мелкие фирмы обычно выпускают крайне ограниченный ассортимент препаратов или отдельных их компонентов.

Общее производство пестицидов в США, начиная с 1960 г. представлено в табл. 3.2.

Видно, что до середины 70-х гг. наблюдался быстрый рост производства пестицидов. В 1975 г. в США достигнут рекордный весовой объем выпуска пестицидов, что равнялось почти половине мирового производства. Со второй половины 70-х гг. производство энергоемких, но не слишком эффективных классов химических средств защиты растений стало сокращаться. Последующие годы для этой отрасли стали еще более неблагоприятными: требования, предъявляемые к пестицидам контролирующими организациями, стали выше, и понадобился выпуск новых, более безопасных для человека и окружающей среды химических средств. Это сразу обусловило значительный рост их стоимости и, соответственно, уменьшение сбыта. Такая ситуация привела к созданию и выпуску новых высокоэффективных пестицидов. Удельные нормы расходов для некоторых пестицидов нового поколения стали в несколько раз ниже, чем для их предшествующих аналогов. Наряду с тем, что экотоксические свойства новых пестицидов были также снижены (по крайней мере, в отношении к теплокровным), это позволило химическим компаниям стабилизировать объемы производства и сбыта. Следует учесть, что стоимости новых поколений пестицидов существенно превышают стоимости их предшественников, поэтому расходы потребителей на проведение химических обра-

Производство пестицидов в США в 1960 - 1986 гг., тыс. т д.в.

Годы	Всего	В том числе			Литература
		Гербициды	Инсектициды	Фунгициды	
1960	293,5	46,3	166,0	81,2	467
1965	397,8	119,3	222,3	56,2	467
1970	459,0	183,2	222,3	63,5	467
1975	727,1	357,4	299,4	70,3	467
1976	619	298	257	64	466
1977	630	306	259	65	466
1978	642	301	274	67	466
1979	648	298	280	70	466
1980	665,9	365,6	229,5	70,8	467
	666	366	230	70	466
1981	648,7	380,6	203,2	64,9	467
	649	381	203	65	466
1982	505	283	172	50	466
1983	494	274	172	48	466
1984	355,6(?)	254	78 (?)	23,6	467
	539	325	159	55	466
1985	560	343	168	49	466
1986	535	329	155	51	466

Примечание. (?) демонстрируют большое противоречие между [466] и [467] и необъяснимо большой спад производства инсектицидов по данным [467].

боток своих полей отнюдь не уменьшились, несмотря на сокращение норм расхода.

Привлекает внимание увеличение доли гербицидов в суммарном производстве и, особенно, в применении пестицидов в США, начиная с конца 70-х гг. (см. табл. 3.2). В 50 - 60-е гг. на большинстве земель фермеры использовали агротехнологии с осенними и весенними вспашками почвы; для борьбы с сорняками в период вегетации агрокультур широко применяли междурядные обработки и прочие агротехнические приемы, в том числе севообороты с большим набором агрокультур. Химическая промышленность в большей степени выпускала средства борьбы с вредными насекомыми (инсектициды и инсектоакарициды), болезнями растений (фунгициды), но не гербициды. С внедрением почвозащитных технологий земледелия, предусматривающих нулевую или минимальную вспашку земли (их площади к 1982 г. увеличились до 43 млн га, т.е. составили треть площади полевых культур США)[42, 467], резко возрос спрос на гербицидные препараты для

активной борьбы с сорняками. Концентрация приоритетных агрокультур в лучших для них природно-климатических зонах привела к появлению монокультурных регионов. В сочетании с повышением доз химических удобрений это вызвало интенсивное зарастание полей сорняками и необходимость постоянной борьбы с ними, т.е. возрастание доли гербицидов в производстве пестицидов.

Из-за особенностей природных условий в США болезни растений относительно менее распространены, чем в Западной Европе или Японии. Естественно, доля фунгицидных пестицидов в производстве и, главное, в применении в США невелика. Доля инсектицидов, хотя и сократилась по сравнению с 60-ми гг., остается весомой. Стоит отметить, что именно в создании новых поколений высокоэффективных инсектицидов получены отличные результаты. Выпуск, например, синтетических пиретроидов 3-го и 4-го поколений позволил снизить нормы расходов этих веществ до 10 - 100 г/га по д.в. (по сравнению с 200 - 1000 г/га для фосфорорганических инсектицидов).

Важнейшая особенность использования пестицидов в США - увеличение интенсивности и объемов применения пестицидов в тех зонах, где выращиваются важнейшие продовольственные, в значительной степени экспортные культуры. Так, в 1980 г. из общемировых ресурсов гербицидов фермеры США приобрели для обработки кукурузных полей 15 % (по стоимости), инсектицидов и фунгицидов - 6% (всего - на 1 млрд дол.). Для второй ведущей агрокультуры - сои - было закуплено гербицидов почти на 750 млн дол. В целом из общей суммы мировых продаж пестицидов растениеводство США получило: гербицидов - 44%, инсектицидов - 23, фунгицидов - 10% [468].

Структура и объемы производства пестицидов в США, приведенные в табл. 3.2, не вполне отражают ассортимент применяемых пестицидов внутри страны. Это связано со значительным экспортом пестицидов из США в различные страны, причем как в развивающиеся, так и в развитые. Ужесточение требований федеральных органов США, контролирующих качество пестицидов, вынуждало крупнейшие химические компании направлять часть своей продукции (в том числе запасы сравнительно устаревших препаратов) в те страны, где требования по охране окружающей среды не столь строги. Это приводило к тому, что доля экспорта пестицидов в весовом выражении, была заметно выше этой доли в стоимостном выражении (так как устаревшие пестициды относительно дешевы, что привлекательно для развивающихся стран). Наблюдается и устойчивая тенденция по увеличению доли внутреннего использования относительно их общего производства. Если в 1971 г. лишь 40% произведенных пестицидов была реализована на внутреннем рынке, то в 1976 г. доля достигала 48%, а в 1980 г. - 58% (табл. 3.3).

3.1.2. Производство и применение пестицидов в Японии

Одной из ведущих стран в области производства пестицидов стала Япония. Более того, она занимает первое место по применению пестицидов

Использование пестицидов в сельском хозяйстве США,
тыс. т д.в., [466, 467]

Годы	Произведено	Использовано	Внутреннее потребление, %
1971	560	224	40
1976	619	300	48
1980	666	384	58

в расчете на единицу посевной площади. Этот критерий сам по себе не является абсолютным, так как зависит от климатических условий, способствующих или препятствующих распространению болезней или вредных насекомых, преобладания тех или иных агрокультур, связанных с традициями в сельском хозяйстве, а также целенаправленной государственной политики в этой области. Однако известно, что даже интенсивное использование пестицидов на густонаселенных территориях Японии не привело к серьезному разрушению среды обитания. Точнее говоря, удалось вовремя их предупредить. Этому благоприятствовало то, что интенсивная химизация аграрного хозяйства Японии протекала с заметным оставлением от Западной Европы и США. Учитывая особенности государственной политики Японии, это позволило избежать многих ошибок, связанных с применением пестицидов.

Ниже приведены данные по поставкам пестицидов в сельское хозяйство Японии в 1986 - 1988 гг. (табл. 3.4).

Отметим еще раз, что пестицидный тоннаж в табл. 3.4 показан по препаративным формам, поэтому количество "чистого" пестицидного вещества в 2 - 5 раза ниже (исходя из типичных концентраций пестицидов в препаратах в пределах 20 - 50%). Известно, что в Японии основное агропроизводство сосредоточено на выращивании риса и овощей. Этому полностью соответствует структура производства и потребления пестицидов. Большинство химических фирм в Японии производят препараты для химической защиты риса, причем доля их внутреннего потребления исключительно высока (до 85%). Это обстоятельство ставит фирмы в уязвимое положение, сильно зависящее от колеблющейся ситуации с выращиванием риса (метео- и фитосанитарная обстановка на рисовых полях, невысокая экономичность внутреннего производства риса по сравнению с возможным его импортом). Поэтому многие фирмы прилагают большие усилия по выходу на мировой рынок, прежде всего с уникальными препаратами, превосходящими по свойствам препараты других фирм. В этом отношении наиболее известна фирма "Сумитомо", доля экспортных пестицидов в ее валовом производстве превышает 60%. Среди ее продукции популярные в прошлом фосфорорганический инсектицид сумитион, оригинальный пиретроидный препарат сумицидин (фенвалерат). В настоящее время ставка делается на высокоэффективный препарат суми-альфа (активный изомер фенвалерата) и на перспективный пиретроидный инсектоакарицид данитол. Валовое производство пестицидов в Японии оценивается

Использование пестицидов в Японии (1986 - 1988 гг.), тыс. т [466]

Вид пестицида	1986	1987	1988
Рис			
(а) Инсектициды	121,3	118,1	99,3
(б) Фунгициды	70,2	55,1	49,1
(в) Инсектофунгицидные смеси	72,7	66,4	61,1
(г) Гербициды	122,6	116,4	110,1
Всего	386,8	356,0	319,6
Плодовые			
(а) - " -	19,4	18,7	17,5
(б) - " -	17,4	17,9	17,8
(в) - " -	0,0	0,0	0,4
(г) - " -	4,6	4,2	4,6
Всего	41,4	40,8	40,3
Овощные			
(а) - " -	49,2	49,7	52,1
(б) - " -	23,1	22,6	23,5
(в) - " -	1,6	2,5	2,6
(г) - " -	19,5	21,5	23,5
Всего	93,4	96,3	101,7
Другие культуры	10,6	16,5	19,5
Всего пестицидов	532,2	509,6	481,1

в 120 - 150 тыс. т по д.в. При этом надо иметь в виду, что развитие пестицидной промышленности в Японии шло таким образом, что она производила, как правило, весьма современные препараты с относительно низкими удельными расходами. Поэтому роль пестицидов японского производства существенно выше, чем их формальная доля в валовом мировом выпуске.

3.1.3. Производство и использование пестицидов в Западной Европе

Ведущая страна по потреблению пестицидов в Западной Европе - Франция (см. табл. 3.1), однако крупнейшими производителями и экспортерами пестицидов являются Германия и Швейцария (табл. 3.5).

Объемы производства пестицидов в Великобритании можно оценить исходя из объемов их сбыта в 1987 г. (фирма ICI - 1,48 млрд дол. (фирма Shell - 0,75 млрд дол.). Они приближаются к 100 тыс.т по д. в. (объем потребления внутри страны в 1986 г. составил 27 тыс.т по д.в. [466]). Благодаря

Таблица 3.5

Производство и потребление (в скобках) действующих веществ пестицидов в ФРГ, тыс. т [466]

Виды	1982 г.	1983 г.	1984 г.	1985 г.	1986 г.
Гербициды	52,6 (17,8)	57,7 (19,3)	58,2 (18,8)	58,6 (17,4)	46,1 (17,4)
Фунгициды	28,0 (7,2)	29,4 (7,6)	38,3 (8,6)	37,8 (8,5)	35,1 (8,0)
Инсектициды	29,9 (2,0)	34,2 (2,2)	45,0 (2,7)	40,5 (2,6)	33,5 (2,7)
Другие	23,9 (2,4)	27,5 (2,3)	25,3 (2,7)	24,4 (2,6)	30,2 (2,7)
Всего	134,4 (29,4)	148,8 (31,4)	166,8 (32,8)	161,3 (31,1)	144,9 (30,8)

интенсивному применению пестицидов (особенно, фунгицидных препаратов) и минеральных удобрений средняя урожайность пшеницы в Великобритании (77 ц/га в 1984 г.) является едва ли не наивысшей в мире (78 ц/га в 1984 г. в Голландии). Для сравнения укажем, что в лучших климатических условиях в Италии урожайность составила 30 ц/га. По мнению специалистов, одна из главных причин этого - невысокий уровень использования фунгицидов (3% площадей по сравнению с 80% в Англии) [469].

Оценки производства пестицидов для Франции также дают величину, близкую в 100 тыс. т по д.в., для Швейцарии - 100 - 120 тыс. т (швейцарские фирмы "Сиб-Гейги" и "Сандоз" - одни из крупнейших производителей пестицидов в мире).

Общее количество производимых в мире пестицидов в 80-е гг. оценивается в 1,7 - 2 млн т по д.в. ежегодно [470], с небольшим трендом в сторону снижения валового производства из-за появления новых поколений пестицидов с уменьшенными удельными расходами. Кроме того, в европейских странах, в США и в Японии (т.е. там, где в основном применяются пестициды) спрос на пестициды практически достиг своего предела. Широкое применение пестицидов в развивающихся странах ограничено экономическими трудностями. Аналогичные проблемы стоят перед Россией и другими странами бывшего СССР.

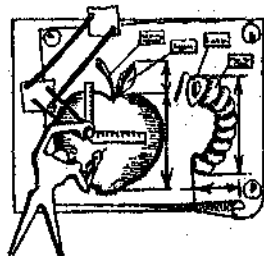
Пестициды в мировом сельском хозяйстве, прежде всего в экономически развитых странах, обеспечивают настолько большую прибавку в урожайности и в экономичности агропроизводства, что их применение в обозримом будущем представляется неизбежным. Альтернативные, так называемые беспестицидные технологии агропроизводства, экономически менее эффективны. Следовательно, себестоимость продукции намного выше. Сведения о якобы невысокой себестоимости сельхозпродукции при беспестицидных технологиях приводятся исключительно в средствах массовой информации

и, следовательно, малодостоверны. Во-вторых, высокая интенсивность механизированного труда в беспестицидных технологиях экологически также не безвредна (загрязнения биосферы при производстве и использовании горючесмазочных материалов, эрозия и уплотнение почв и т.п.). В-третьих, в технологиях выращивания, например, зерновых без фунгицидов высока вероятность заражения зерна высокотоксичными микотоксинами, что представляет серьезную практическую проблему. В-четвертых, о возможном применении специфических биопестицидов, как о безопасной альтернативе химическим пестицидам, говорится длительное время, но заметных успехов до сих пор нет. Частично это связано с недостаточными усилиями в этой области, особенно по сравнению с затратами химических компаний на разработку, рекламу и сбыт своей продукции. Тем не менее известны и принципиальные трудности в этой области, которые вряд ли приведут к широкому использованию биопестицидов в будущем.

Рациональное применение пестицидов позволяет в высокой степени минимизировать неизбежные экологические проблемы их применения. Однако подобная рационализация потребовала многолетних исследований, больших финансовых и материальных затрат, что могли позволить только экономически процветающие страны.

Воздействие пестицидных обработок на природу не ограничивается только теми территориями, где они проводятся. В момент применения пестицидов они попадают в значительной степени на конкретные объекты - на защищаемые растения, на почву в пределах обрабатываемых полей и т.д. Однако вследствие естественных процессов массообмена между различными компонентами окружающей среды (почва-атмосфера, почва-вода и т.п.), пестицидные загрязнения через атмосферу распространяются по всему земному шару (точнее, в пределах того полушария, где они были применены). Поэтому негативные медицинские и другие экологические последствия применения пестицидов могут испытывать все страны, независимо от собственного уровня производства или применения пестицидов. Однако это особая проблема и она будет частично рассмотрена в других разделах данного обзора.

В заключение отметим, что в январском номере за 1994 г. журнала "Защита растений" опубликована статья В.А. Захаренко и В.И. Мартыненко [471], в которой приводятся систематические современные сведения о структуре производства и применения различных фирменных пестицидных препаратов.



3.2. Концепция экологической инженерии: от управления к дизайну

В дополнение к известным концепциям, определяющим современную практику защиты растений, в нашей стране был предложен оригинальный подход к проблеме управления, названный его

автором А.А. Шаровым, концепцией экологической инженерии. В чем существо данной концепции, каков ее генезис, проблемы и перспективы - на эти вопросы постараемся дать ответы.

3.2.1. Истоки интегрированной защиты растений и концепция экологической инженерии

Известно, что теоретической основой интегрированной защиты растений является концепция искусственного управления популяциями, предложенная Георгием Александровичем Викторовым [472]. Разработка данной концепции явилась ответом на кризис в практике защиты растений, существо которого состояло в несоответствии уровня мощи средств подавления численности вредителей (прежде всего инсектицидов) и уровня интеллектуальной проработки вопроса необходимости, места и времени их применения. В результате, химические обработки без учета закономерностей популяционных процессов приводили к непредвиденным и нежелательным изменениям численности как вредных, так и полезных организмов. Разработанная Г.А. Викторовым синтетическая теория динамики численности [472 - 474] позволила поставить антропогенное управление рядом с естественными регуляторами численности управляемой популяции. Сформулируем кратко основные положения синтетической теории динамики численности в аспекте исследуемой проблемы [475].

1. Для каждой популяции имеется оптимальный уровень плотности.

2. Независимые от плотности факторы, называемые модифицирующими, случайным образом воздействуют на популяцию, отклоняя ее плотность от оптимальной.

3. В процессе естественного отбора вырабатываются механизмы, активно возвращающие плотность к оптимальному уровню (смертность, плодовитость, миграции и т.д.). Они действуют по принципу отрицательной обратной связи. Г.А. Виктор называл их регулируемыми. Для реализации функции отрицательной обратной связи фактор, естественно, должен зависеть от плотности популяции.

4. Структура комплекса факторов динамики численности определяется двумя моментами: а) положением популяции в структуре биоценоза, б) текущим значением плотности популяции (при низкой плотности эффективными являются одни факторы, при высокой - другие). Таким образом, механизмы не рассматриваются, как это было до Г.А. Викторова, в аспекте безусловного приоритета, а являются функциями состояния управляемой популяции, прежде всего ее плотности.

5. Факторы образуют единую систему, где процессы модификации и регуляции тесно связаны. Для прогноза вспышки массового размножения требуется учет модифицирующих факторов, а вопрос стабильности системы разрешается посредством анализа комплекса регулирующих факторов.

В связи с вышесказанным, интегрированная защита растений рассматривается как совокупность мероприятий, обеспечивающая гарантированную стабильность управляемому ценозу (агроценозу). По отношению к популяции вредителя это означает, что прежде всего анализируется комплекс

естественных регуляторов вида и, при необходимости, для увеличения стабильности системы, комплекс естественных регуляторов дополняется антропогенным регулятором, который удовлетворяет определенным ограничениям.

В интегрированной защите растений антропогенными регуляторами являются конкретные методы борьбы с насекомыми вредителями: применение инсектицидов, интродукция в систему паразитов, хищников или патогенных организмов, стерилизация самцов, использование половых аттрактантов и репеллентов, наконец, изменение условий среды.

Наличие, с одной стороны, общей методологии управления экосистемой, позволяющей дополнять комплекс естественных регуляторов антропогенным регулятором, а с другой стороны, широкого арсенала методов борьбы, позволили разработать достаточное количество концепций управления экосистемами. В этом смысле концепция интегрированной защиты растений может рассматриваться как метаконцепция, или класс концепций управления. Внутри данного класса своеобразие каждой конкретной концепции определяется характеристиками управляемой системы и выбранным методом борьбы, т.е. типом и системными свойствами регулятора. Сравнительный анализ методов борьбы с насекомыми вредителями можно найти, например, у К. Уатта [476].

Замена метода борьбы, обычно, приводит и к замене концепции. Так, знаменитая концепция экономического порога вредоносности (ЭПВ), рассматриваемая до сих пор как краеугольный камень современной практики защиты растений, возникла в период широкого применения химических методов борьбы и ориентирована именно на них. Совокупность ограничений, налагаемых на данный тип антропогенного регулятора, сводилась к формализации понятия порога плотности вредителя, при достижении которого необходимо было проводить обработку. Введение понятия порога позволило в большинстве случаев избежать катастрофически сильных химических обработок и вместе с этим дать экономическое (но не экологическое) обоснование мероприятиям по защите растений [477].

Характерной чертой концепций управления из рассматриваемого класса является направленность на контроль численности. В зависимости от типа управляемой системы в рамках концепции генерируется последовательность пар вида: цель-интенсивность, где интенсивность (S) может измеряться, например, отрицательным логарифмом выживаемости особей в результате принятых мер. С учетом пространственной и возрастной структуры цель уточняется посредством указания места (R) (например, координаты компартмента) и времени (Φ) (стадии развития) проведения обработок. Множество обработок $\{R, \Phi, S\}$ - обеспечивает контроль численности популяции и реализуется после превышения некоторой пороговой плотности (N), которая выбирается из определенных экономических и экологических соображений. Однако ни одна из концепций данного класса не ориентирована на изменение самой структуры управляемой популяции, а точнее говоря ее жизненной системы. На это обстоятельство и обратил внимание А.А. Шаров [477 - 480].

Отправной точкой изучения динамики численности вида является, обычно, анализ таблиц выживания. Данный анализ строится исходя из той или иной теоретической схемы, интерпретирующей данные таблиц выживания, и поэтому понятно, что окончательные выводы зависят от степени адекватности выбранной схемы. До последнего момента в качестве таковой использовались развитый факториальный подход, который искусственно разъединял популяцию и среду [479], изучали ответные реакции популяции как системы на изменение среды, которую задавали как набор действующих факторов. Более того, каждому фактору взаимно однозначно соответствовала причина гибели. В работе [481] А.А. Шаров на конкретных примерах показал необоснованность жесткого требования о взаимно-однозначности факторов и причин гибели, а в работах [477 - 480, 482] предложил перейти к принципиально иной теоретической схеме - концепции жизненной системы. Данный подход был предложен в 1964 г. австралийскими энтомологами Л.Р. Кларком и П.В. Гейером [483 - 485] с целью преодоления противоставления популяции и среды. Был введен фундаментальный термин - жизненная система, для обозначения системы, включающей и рассматриваемую популяцию и ее эффективную среду.

Возникновение и разработка новой теоретической схемы вызвали новые определения: компоненты и структура жизненной системы, иерархия субкомпонентов, среда для компонента жизненной системы, входные и собственные факторы, экологическое событие, элементарный экологический процесс и его скорость [479, 480]. В центре внимания оказались не факторы, а основные экологические процессы (принцип процессуальности), взаимодействия которых (принцип системности) и определяют динамику выделенной популяции (принцип популяционцентризма).

Рассмотрим процесс синтеза жизненной системы. На первом этапе выявляется структура основных компонентов жизненной системы, их изменение обуславливает процесс жизнедеятельности выбранной популяции. Абиотические и биотические компоненты характеризуются текущим состоянием. Состояние абиотических компонентов есть значение температуры, влажности, освещенности ..., для биотических компонентов состояние задается посредством иерархической структуры субкомпонентов и их состоянием, т.е. указанием численности конкретного вида, находящегося в соответствующей стадии развития, определенного пола и т.д. Состояние жизненной системы описывается как композиция состояний ее компонентов. Элементарное изменение состояния жизненной системы назовем экологическим событием.

На втором этапе фиксируется множество элементарных экологических процессов. Под элементарным экологическим процессом понимается поток однотипных экологических событий, например: рождение, переход в другую стадию, миграция, гибель или изменение температуры, влажности и т.д. Естественно далее, отнести число однотипных экологических событий к единице времени и характеризовать экологический процесс его интенсивностью или скоростью. Уровень детализации экологических процессов опре-

делит с одной стороны, характер описания самой популяции (описание на уровне полного внутривидового агрегирования, описание с использованием внутривидовых структур), с другой - конкретное множество связей, функционирующих в системе: популяция - эффективная среда.

На третьем этапе конкретизируется понятие эффективной среды. Каждый элементарный экологический процесс имеет характерные масштабы во времени, пространстве, протекает в определенном диапазоне скоростей. Фиксация характерных масштабов элементарных экологических процессов позволит во множестве связей определить границы эффективной среды, соответственно, жизненной системы.

Средой для компонента жизненной системы является любой из предшествующих ему в иерархии компонентов. Характеристики среды будем называть факторами (плотность популяции, температура, влажность...). Скорость экологических процессов есть функция значений факторов среды. Факторы среды можно разделить на входные и собственные. Динамика первых не может быть объяснена исходя из экологических процессов в самой системе, в отличие от собственных факторов, значение которых меняется в зависимости от скоростей процессов. Так как элементарные экологические процессы взаимодействуют, соответственно накладываются, интерферируют связи-факторы, определяющие каждый из процессов, в общем случае, мы не получим взаимно однозначного соответствия между факторами и причинами гибели [481]. Таким образом на четвертом этапе определяется конкретный тип зависимостей интенсивностей экологических процессов от действующих факторов.

На заключительном пятом этапе необходимо регламентировать изменения входных факторов. Если динамика численности рассматривается как случайный процесс, изменения входных факторов описываются статистическими характеристиками, т.е. задаются соответствующие средние значения, дисперсии, спектры, корреляции.

Итак, отталкиваясь от принципа популяционноцентризма, и взяв за основу принцип процессуальности, в соответствии с принципом системности мы синтезировали жизненную систему конкретной популяции. Образованная системная целостность замкнута в том смысле, что вместе с любым следствием - тем или иным феноменом динамики численности, она содержит и все причины его вызывающие. Кроме того в нашем распоряжении находится система определений, а следовательно, и множество существенных переменных, что позволяет разрешить любую задачу динамики численности в рамках выбранного математического аппарата для конкретной популяции.

3.2.3. Основные положения концепции

Развитие концепции жизненной системы позволяет не только объяснять закономерности популяционной динамики, но и перейти к проблеме искусственного конструирования жизненных систем. Управление теперь осуществляется на качественно новом уровне - вместо постоянных коррекций отдельных характеристик управляемой системы, проектируется эко-

логическая система с заданными динамическими свойствами. Такой подход к управлению естественно назвать экологической инженерией [477 - 480].

В рамках концепции экологической инженерии рассматривается не множество возможных состояний системы (допустимых и недопустимых), а множество возможных систем с удовлетворительными и неудовлетворительными свойствами. Среди множества возможных систем выбирается жизненная система с оптимальной структурой, требующая минимум затрат. А управление складывается из двух последовательных этапов - на первом этапе осуществляется модификация структуры исходной жизненной системы к оптимальной, на втором этапе, поддерживается устойчивость полученной оптимальной структуры.

Итак в рамках экологической инженерии объектом управления является структура жизненной системы. Под структурой жизненной системы будем понимать совокупность инвариантных во времени свойств жизненной системы, предопределяющих закономерности ее динамики. Структура определяется: 1) множеством состояний компонентов, 2) множеством экологических процессов, 3) зависимостями интенсивностей процессов от факторов и 4) характеристиками изменения входных факторов [479, 480]. Структура жизненной системы обычно описывается с помощью имитационной математической модели, в основе которой лежит дифференциальная или разностная форма записи закона сохранения особей выделенной популяции. Здесь факторы интерпретируются как переменные, а интенсивности (скорости) - как производные (или приращения в дискретном случае).

При описании динамики численности как стохастического процесса, изменение структуры жизненной системы может быть осуществлено посредством изменения средней величины или дисперсии входного фактора или состава экологических процессов. Поддержание устойчивости оптимальной структуры жизненной системы по отношению к изменению входных факторов требует рассмотрения свойств буферности и гомеостаза [482, 486 - 489]. Под буферностью понимается устойчивость средних значений собственных факторов, например логарифма плотности популяции. Гомеостаз характеризует устойчивость соответствующих дисперсий.

В основе концепции экологической инженерии лежат три принципа: системности, надежности и оптимальности [477, 479, 480]. В соответствии с принципом системности, как уже отмечалось выше, объектом управления является не численность популяции вида, а его жизненная система. Такой подход позволяет избежать разграничения на управляющую и управляемую подсистемы и согласовать управляющие воздействия с естественными регуляторами численности популяции.

Реализация принципа надежности эквивалентна обеспечению устойчивости оптимальной структуры модифицированной жизненной системы. Рассмотрим систему культурное растение - вредитель. Требование гарантированного урожая с вероятностью $P = 0,95$ эквивалентно тому, что плотность популяции вредителя не превышает ЭПВ с заданной вероятностью. Если $M_{\ln N}$ - есть средний уровень $\ln N$ логарифма плотности вредителя, а LCL и UCL - соответственно, нижняя и верхняя доверительные границы, тогда логарифмированная плотность популяции должна на-

ходиться в интервале [LCL, UCL] с вероятностью P и выходить за его пределы с вероятностью 1 - P. Отсюда можно записать принцип надежности в виде неравенства

$$UCL \leq I_n \text{ ЭПВ}, \quad (1)$$

здесь

$$UCL = M_{\ln N} + t^{5\ln N}, \quad (2)$$

где $t^{5\ln N}$ - критерий Стьюдента, $\sigma_{\ln N}$ - среднее квадратичное отклонение логарифмированной плотности.

Задача состоит в том, чтобы спроектировать жизненную систему популяции вредителя, удовлетворяющую данному неравенству.

Принцип оптимальности состоит в минимизации затрат на управление жизненной системой при некотором наборе ограничений: прежде всего это выполнение неравенства принципа надежности, ограничения токсикологического характера и т.д.

Рассмотрим два конкретных примера применения положений экологической инженерии при управлении популяцией американской белой бабочки и популяцией лугового мотылька. В первом случае, в соответствии с принципом системности изучается жизненная система популяции и создается соответствующая имитационная модель [482]. С помощью модели имитируется динамика численности вредителя при различных тактиках борьбы: T, S, здесь T - пороговая численность паутинных гнезд гусениц на дерево, S - интенсивность борьбы. Состояние популяции вредителя характеризуется индексом плотности D - процентом повреждения деревьев. Варьируя величины T и S, для каждой тактики путем имитации рассчитывается средний уровень $M_{\ln D}$ и квадратичное отклонение $\sigma_{\ln D}$. Из соотношения (2) мы можем вычислить верхнюю доверительную границу UCL и построить зависимость UCL от T и S. Неравенство принципа надежности определит подобласть в множестве вариантов: T x S [477]. Теперь в данной подобласти необходимо в соответствии с принципом оптимальности отыскать тактику, удовлетворяющую, например, условию

$$C = mS/n \rightarrow \min. \quad (3)$$

Здесь мы исходим из того, что средние затраты на борьбу C можно считать пропорциональными средней интенсивности борьбы mS/n , m - число случаев проведения борьбы за n - лет.

Как легко заметить данный подход к управлению в равной степени применим к любому методу борьбы. И если химический случай, в конкретном случае [477], соответствует концепции экономического порога вредоносности, то биологический ей уже не отвечает. Таким образом концепция экологической инженерии позволяет с единых позиций рассматривать не только истребительную (концепция ЭПВ), но и профилактическую борьбу с вредителем. Это оказывается возможным, так как влияние борьбы рассматривается не на настоящий, а на средний многолетний урожай.

В первом примере мы рассмотрели использование принципов экологической инженерии в рамках точечной модели популяции американской белой бабочки, т.е. могли пренебречь ее пространственной структурой. Теперь рассмотрим управление популяцией лугового мотылька, здесь эффект миграций - главная особенность жизненной системы данного вида, и мы обязаны рассмотреть приложении принципов экологической инженерии к пространственно распределенной экосистеме.

Для данного вредителя в соответствии с принципом системности была разработана имитационная математическая модель, описывающая динамику локальных популяций, связанных миграционными потоками, в пределах популяционного комплекса [490]. Индукция массового размножения возникает в системе ресурс - потребитель, когда, благодаря успешному дополнительному питанию имаго, резко возрастает плодовитость самок. Следующее за этим переуплотнение на гусеничной стадии приводит к образованию через генерацию бабочек-мигрантов [491], которые, используя струйные течения, распространяются в соседние компартменты [489]. В жизненной системе индуцируются положительные обратные связи, благодаря чему вид выходит из депрессии и вместо системы изолированных резерваций формируется сложная структура популяционного комплекса. Подобный механизм возникновения в системе положительных обратных связей подробно рассмотрен в работе [492] для популяции большого хвойного усача.

Если в случае управления популяцией американской белой бабочки осуществлялось изменение средней величины и дисперсии входного фактора, то для управления популяцией лугового мотылька необходимо изменить состав основных экологических процессов, а именно - блокировать миграции в системе. Следовательно, для обеспечения гарантированного урожая с заданной вероятностью P в определенном компартменте, необходимо поддерживать плотность вредителя в резервациях в интервале $[LCL, UCL]$ с заданной вероятностью. При этом верхняя доверительная граница должна удовлетворять неравенству

$$UCL < \ln N^*, \quad (4)$$

где N^* - пороговая плотность популяции, при которой возникают особи мигранты. И здесь концепция экологической инженерии позволяет сместить центр тяжести от истребительных стратегий управления, к профилактическим, причем влияние борьбы теперь рассматривается не на настоящий урожай в конкретном компартменте (концепция ЭПВ), а на средний, но средний как по времени (многолетний), так и по пространству (в рамках системы компартментов популяционного комплекса). Не стоит и говорить, что превентивное управление данным видом в его резервациях, которые часто даже не относятся к хозяйственно значимым территориям, лишено всякого смысла в рамках концепции экономического порога вредоносности.

3.2.4. Проблемы и перспективы

Очевидно, что достоинства любой концепции могут обратиться в недостатки, если не осознать границы ее применимости [477]. Беда, однако,

состоит в том, что в отличие от достоинств конкретной концепции, границы ее применимости осознаются в полной мере, лишь после создания нового, более развитого подхода. Так получилось и с классом концепций управления, ориентированных на контроль численности популяции, их принципиальная ограниченность была осознана лишь параллельно с разработкой принципов экологической инженерии. Что же, в таком случае, можно сказать о проблемах и перспективах самой экологической инженерии?

Прежде всего необходимо осознать тот факт, что экологическая инженерия представляет собой очень мощное оружие, а всякое оружие обоюдо остро. Так, рассматривая множество возможных систем, и, выбирая из них оптимальную жизненную систему, мы оставляем в стороне очень важный вопрос - насколько выбранная структура при этом оптимальна для самого вида? Ведь устойчивость оптимальной с точки зрения человека структуры популяции, обеспеченная средствами экологической инженерии, может стать причиной полного исчезновения данной популяции, а при определенных условиях и вида в целом. В примере управления популяцией лугового мотылька из жизненной системы данного вида исключаются миграции, но именно благодаря им в популяционном комплексе осуществляется процесс перераспределения и циркуляции половой продукции. Стоит увеличить отрезок времени применения экологической инженерии и мы неминуемо выйдем на ограничения, например, генетического характера. Мы далеки от противопоставления "полезных" и "вредных" видов, поэтому данное замечание сделали для того, чтобы совершенная концепция управления не превратилась в средство сокращения биологического разнообразия.

Чтобы оценить перспективы обратимся к анализу основных тенденций развития стратегий управления. Здесь можно выделить два взаимосвязанных процесса. С одной стороны, постоянно увеличивалось разнообразие методов борьбы, причем в основном за счет превентивных, профилактических. С другой стороны, стало ясно, что совершенство управления прямо пропорционально степени изученности управляемой системы.

Первые стратегии управления характеризовались чрезмерной жесткостью и бессистемностью. Теперь понятно, что это было следствием отсутствия глубокого причинно-следственного анализа системы, являющейся объектом управления. Примагт модифицирующих факторов в теории динамики численности приводил к тому, что управление вынуждено было выполнять роль пожарной команды и обработки проводилась уже после фиксации массового размножения вредителя. При таком подходе причина искалась слишком "близко", а близорукая концепция управления всякий раз оборачивалась чрезмерной жесткостью и неэкологичностью.

На следующем этапе, в значительной степени благодаря работам Г.А. Викторова, в теории динамики численности была осознана роль комплекса регулирующих факторов в проблеме увеличения стабильности управляемой системы, что позволило в практике защиты растений разработать ряд более адекватных концепций управления.

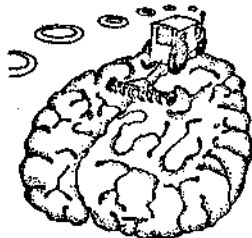
Наконец, дальнейшее расширение области "поиска причин", увенчавшееся разработкой концепции жизненной системы популяции, закономер-

но привело к созданию экологической инженерии. На математическом языке это означало, что в области управления экосистемами реализовался переход от постановки и решения прямых задач к постановке и разрешению обратных: генерации экологических систем с заданными динамическими характеристиками. Что же дальше? Можно отнести к перспективам экологической инженерии ряд следующих положений.

1. Концепция жизненной системы все же не столь прозрачна, здесь необходима дальнейшая строгая и последовательная формализация, которая, кстати, позволит разработать четкие формальные критерии сравнения различных методов борьбы и их эффективности [488].

2. Для каждой стратегии управления необходимо фиксировать объем используемой информации (предыстории системы) и соотносить его с характеристиками системы типа: инерционности, жесткости, естественной памяти и т.д.

3. При анализе разнообразия виртуальных структур жизненной системы управляемой популяции необходимо учитывать также принципы сохранения биологического разнообразия (например, посредством контроля численности, возрастной и прочих эндогенных структур оставшейся части популяции), что повлечет за собой изменение вида неравенства принципа надежности.



3.3. Анализ стратегий альтернативного природопользования

Проблема взаимоотношений человека с окружающей его средой очевидно древнее самого человека. Взаимовлиянием и взаимным формированием животного и среды занимаются экология, эволюционная теория, зоогеография и ряд других биологических дисциплин. Антропогенез

и история человечества также неразрывно связаны и взаимообусловлены с основной основой - экосистемой, куда "встроены" государства и города, поля и заводы, свалки и кладбища.

История знает множество примеров, когда человек превращал благополучные и процветающие экосистемы в пустыни и (к сожалению, таких примеров меньше) наоборот. В различные эпохи отношение человека к природе тоже претерпевало существенные изменения: от полного или почти полного невмешательства в природу (некоторые религиозные касты Индии) до полного упоения своей властью над природой. Впрочем, по всем вышеозначенным проблемам опубликовано множество литературы и, не следует в который раз писать о том, что Сахара в свое время была цветущим краем, а "освоение" целины нанесло ущерб степным экосистемам Казахстана и, стало быть, экономике страны.

К сожалению, безграмотность, некомпетентность и безнаказанность в разрушении природных экосистем имеет яркие примеры во все эпохи и при любых социально-экономических формациях, и в любых (в том числе

“благополучных” и “процветающих”) странах. Считается, что отлаженные государственные природоохранные службы, следящие за должным использованием земель, ресурсов, энергии и т.д., а также продуманная законодательная и финансовая системы (цены, налоги, штрафы, дотации и т.д.) способны в современных цивилизованных странах Запада решить проблемы природопользования. В значительной мере это так, и усилия в этой сфере не ослабевают. Однако углубленный анализ стратегических перспектив всех сторон природопользования (энергетика, добывающая промышленность, сельское хозяйство, градостроительство, транспорт) даже (и в первую очередь!) в процветающих странах приводит к весьма тревожным выводам. Доклады Римского Клуба и другие футурологические прогнозы звучат так: глобальное перенаселение, исчерпание невозобновимых ресурсов, загрязнение среды приводят к прямым и опосредованным (через экономику, политику, демографические и другие “рычаги”) катастрофическим последствиям для человека. При этом существенно подчеркнуть, что внешне благополучные технологии (в широком смысле) имеют отдаленные во времени и/или пространстве (а подчас и не очень отдаленные!) последствия весьма разрушительного характера.

Суть главной и пока неразрешимой проблемы поступательного развития человеческого общества заключается в том, что биосфера, строго говоря, не рассчитана на такое количество людей и на такой уровень потребления (т.е. исчерпания ресурсов и загрязнения). При этом попытки решения проблемы “в лоб” по типу: “на каждую трубу надо сделать фильтр” разбиваются о необходимость построить еще несколько заводов по производству этих фильтров. (Естественно, пример носит чисто иллюстративный характер). Попытка избавиться от вредных производств путем выноса их на далекие расстояния от поселений человека (или в страны третьего мира) лишь отодвигает, но не решает проблему.

Надо сказать, что большинство популярной литературы по вопросам охраны и рационального использования природы пронизано либо обоснованным пессимизмом, либо фальшивым (оплаченным?) оптимизмом. Первые волны алармистской экологической литературы сыграли свою роль в привлечении широких слоев населения, общественности и специалистов к решению задач охраны среды.

Глубокий подход в поиске выхода из создавшегося кризиса^{*} после первой шоковой стадии осознания ситуации дал свои плоды в виде многообразных альтернативных (современному индустриальному и постиндустриальному обществу) систем в области экологии, экономики, культуры и политики. Вот как раз эта “вторая волна” инициатив и усилий в поисках выхода оказалась во многом успешной, а, главное, своей позитивной позицией и созидательным пафосом показала, что выход может и должен быть найден, что есть не только надежда, но и уверенность, что можно не только и не столько надеяться на кого бы то ни было, а реально “все сделать самому”.

* Точнее было бы сказать не кризиса, а совокупности кризисов - экологического, политического, экономического, культурного. Или же кризиса Цивилизации на современном этапе существования человечества.

что многое осуществимо уже сейчас, уже здесь и малыми силами.

Системы взглядов, религиозные убеждения, профессиональная подготовка тех, кто включился в эту конструктивную "вторую волну" весьма различны. Отсюда и различные предлагаемых решений, начиная от призывов индивидуального самосовершенствования на основе различных религиозно-философских учений до предложений реконструкции биосферы, создания индустрии сохранения среды.

Вместе с тем, среди этой пестроты рецептов и рекомендаций есть, на мой взгляд, устойчивое "ядро" концепций, которое не только декларирует и рекомендует, но пытается (и во многих случаях весьма успешно!) на практике осуществить свои взгляды. Самым последним интегрирующим и устойчиво развивающимся течением из ныне существующих является пермакультура. Привлекательность пермакультуры заключается еще и в том, что наряду с эмпирическими и практическими рецептами впервые в области агрокультуры, она последовательно и небезуспешно применяет свою философию (теорию, методологию) и в условиях городской среды, а также для других смежных областей - строительства, энергетики, водоснабжения, транспорта, при этом твердо заявляя, что в дальнейшем распространит свое влияние и на область культуры, просвещения, искусства, чем оздоровит современное общество.

Последовательность, реализм, конструктивность - черты, которые не могут не привлекать в ситуации кризиса и пессимизма. Этими позитивными качествами в полной мере обладает пермакультура - новое агроэкологическое направление в природопользовании. Подробное изложение, анализ и перспективы этой концепции (ранее даже не упоминавшейся в отечественной литературе) изложены в этой публикации.

3.3.1. Экологический кризис и химизация сельского хозяйства

Экологические проблемы, возникающие в результате деятельности человека, убеждают все большее количество исследователей в том, что будущее за так называемым биологическим земледелием. Данная концепция легла в основу не только многочисленных публикаций [493], но и многих тысяч сельскохозяйственных ферм в США, ФРГ, Франции и других странах. В России также есть хозяйства, которые производят экологически чистую (без применения минеральных удобрений и пестицидов) сельскохозяйственную продукцию. В основе такого подхода - понимание законов эволюции всего живого Земли, пришедшего в состояние устойчивого равновесия.

* Концепции эти имеют различные названия - биодинамика, экодинамика, органическое сельское хозяйство и т.д. Однако реально они очень близки по сути и различия касаются лишь деталей. Кроме того, как оказалось, что многие сегодняшние "открытия" - это хорошо забытые "старые методы". Из этого следует, что "альтернативная" мысль присутствовала всегда в виде параллельного ручья наряду с основным руслом так называемого "прогресса", о чем речь пойдет ниже.

** Здесь я подразумеваю не религиозные течения, и не сугубо инженерные технократические решения (доведение ПДК до нормы, очистка промышленных газов и стоков и т.д.).

С точки зрения далекого будущего, получить гарантированное долгосрочное решение мировой продовольственной проблемы, опираясь на невозобновляемые ресурсы - нефть, газ, полезные ископаемые, - невозможно [494]. Будущее - за экологически сбалансированным сельским хозяйством, за биологическим восстановлением гумуса и сохранением здоровья почвы. Сельское хозяйство, допускающее ежегодный вынос в океан 2 - 4 млрд т почвы (и это только в США), совершенно неприемлемо. Веку эксплуатации экосистем должен прийти конец. Если для нас вообще существует сносное будущее, то сменит его век спасения экосистем. Если разлад с природой начался с сельского хозяйства, то с него же начнется приближение к гармонии [494].

Тем не менее констатируется, что современный человек существует в химическом поле, которое по отношению к живому всепроникающе и действует постоянно [495]. Прогнозируется, что химические средства защиты растений будут развиваться главным образом по линии создания видоспецифических препаратов (феромоны, гормоны роста и развития и т.д.). Химические средства защиты растений должны уступить место биологическим средствам (биопрепараты, энтомофаги и др.) на общем фоне повышения устойчивости растений, сокращения площадей монокультур с заменой на естественные биоценозы и парниковые хозяйства.

Биологизация сельскохозяйственного производства необходима из-за отрицательных последствий применения пестицидов, которые могут многократно перекрыть приносимую ими пользу. Утверждается, что все пестициды отрицательно воздействуют на живую природу и человека. Например, даже разовые контакты с инсектицидами ведут к изменению биотоков головного мозга, которое сохраняется в течение полугода; 90% всех фунгицидов, 60% гербицидов, 30% инсектицидов, применявшихся в США в 1986 г., способствуют возникновению рака. Высказывается предположение, что пестициды, как и радиация, не имеют нижнего порога действия, так как при любой нагрузке нарушают иммунные системы, в результате чего человек становится беззащитным перед обычными заболеваниями. Чрезмерное применение пестицидов вызывает их проникновение в грунтовые и подземные воды. Ухудшается пищевая ценность продуктов, происходит изменение содержания микролементов, вырождение высокоурожайных сортов от быстрого накопления мутаций.

В качестве альтернативы чрезмерной химизации сельского хозяйства уже повсеместно внедряется интегрированная защита растений. Но нужна не поверхностная, а глубокая экологизация сельского хозяйства. Сюда можно отнести отход от монокультур, внедрение поликультур и сортосмесей, которые урожайнее, исключают массовое размножение сорняков, вредителей и болезней, а также утомление почвы. Последнее предполагает развитие нового направления агрономической науки - биотехнологии гумуса, лежащего в основе биокосного природного тела, по В.И. Вернадскому - почвы как источника благополучия всего живого. Поэтому в задачи экологизации сельского хозяйства должно входить углубление исследований по растениеводству, энтомо- и фитопатологии, токсикологии, почвоведению, растениеводству, экономике природопользования и др.

Чрезмерное применение пестицидов без учета закона экологии неизбежно приводит к деградации экосистем. Подобная практика 50 - 60-х гг. вызвала появление нашумевшей книги Карсон "Безмолвная весна", всколыхнувшей мировую общественность и вызвавшей движение "зеленых". Однако получение высоких урожаев, например, зерновых 40 - 50 ц/га и более без применения удобрений и пестицидов невозможно. Ограниченность пахотных земель и уменьшение их площадей в расчете на одного человека с ростом народонаселения побуждает получение все более высоких урожаев с той же или меньшей площади. Поэтому задача состоит в том, чтобы при применении удобрений, пестицидов, регуляторов роста польза нейтрализовала бы вредные побочные последствия. Тактика современных способов применения пестицидов и рассчитана на минимизацию риска [180]. Об этом же свидетельствуют публикации американского химического общества, гласящие о том, что безмолвная весна, к счастью, не состоялась в результате "экологизации" применения пестицидов в системах интегрированной защиты растений с учетом требований экосистем и с минимальным использованием пестицидов новых поколений [496].

В конце концов, перед Миром встанет дилемма: продолжать и далее совершенствовать индустриализированное сельское хозяйство и впредь наращивать процесс "выжимания" рекордов из экосистем, либо незамедлительно начать поиск более адекватных стратегий природопользования. В данном случае подразумевается не удачный выбор тактических решений, а долгосрочная перспектива стратегического характера, которая бы охватила все стороны жизнедеятельности человека.

Последовательный и непредвзятый взгляд специалистов в области экологии, экономики, политики, этики, культуры, медицины на проблему долгосрочной перспективы природопользования выделяет много рационального в опыте традиционных ("архаичных") обществ и культур. Насыщая народный опыт современными достижениями науки и технологии, разумно дозируя отказ от стереотипов "общества потребления", человечество постепенно приходит к иным системам взглядов. Эти системы фигурируют под разными названиями, но по сути своей весьма близки. В области промышленности и экономики - это понятие протребления (производство + потребление) [497], в области сельскохозяйственного растениеводства это биологическое земледелие [493], а в области сельского хозяйства в целом - биодинамика, экологическое сельское хозяйство, пермакультура (перманентная агрокультура) [498 - 500], в области политики - движение "зеленых", в области охотоведения и заповедного дела - биотехния и т.д.

Все эти течения и теории быстро переходят от пафоса запретительства к широкомасштабному экспериментальному поиску, а затем - к отлаженным промышленным технологиям "альтернативного" характера (ресурсо-, энергосбережение, создание замкнутых и безотходных технологий). Есть серьезные основания полагать, что кардинальное решение кризиса природопользования лежит не столько на чисто технологических и технических путях использования достижений НТР, сколько на путях всесторонней "оптимизации" жизни человечества. Такая интегральная оптимизация должна включать в себя достижения современных технологий, но лишь при условии

всесторонней проработки возможных последствий. Только при условии серьезных постепенных и поэтапных организационных изменений в жизни всего общества можно ожидать существенного изменения характера природопользования.

Сейчас, начавшись в постиндустриальных обществах Запада как негативизм к сверхиндустриализированному образу жизни, все эти "экологизированные" способы природопользования успешно внедряются в странах третьего мира, где зачастую еще не утрачена память о "языческом" гармоничном и экологичном отношении человека к природе.

Рассмотрим подробнее одну из этих альтернативных систем природопользования на примере пермакультуры. Следует подчеркнуть, что речь идет не о какой-то отдельной удачной сельскохозяйственной технологии, а о целостной системе взглядов, которая включает в себя экологию, философию, этику, демографию, социологию, политику, экономику, культуру и т.д.

3.3.2. Философия новой агркультуры

Большинство альтернативных систем природопользования имеют солидно обоснованную теоретическую базу, которая состоит не только из экологической компоненты, но и подкреплена развернутыми этическими, философскими и религиозными аргументами. Случается даже, что подчас эта теоретическая часть перевешивает практику и все внимание и усилия adeptов альтернативных взглядов не выходят за границы умозрительных моделей. Пермакультура отличается тем, что ее теоретическая и практическая стороны неразделимы и соразмерны.

Современная цивилизация давно отвергла языческую культуру, которая была значительно экологичнее других более поздних воззрений. Вместе с ней ушли в прошлое многие табу и их мифологические обоснования. Языческое сознание эмпирически установило, что природа весьма адекватно реагирует на действия человека, пытаясь восстановить равновесие. Это явление было зафиксировано (как мнемоническая, педагогическая, сакральная составляющие) в структуре традиционного мифа. Эта структура, как правило, выглядит следующим образом:

- 1) волевой акт (произвол) какого-либо лица или группы лиц;
- 2) превращение виновника (-ов) в мертвых (или в камень, животное, растение) - как предупреждение о каре;
- 3) в случае упорствования в совершенном, происходит вызывание стихийного бедствия (пожар, буря, наводнение, голод, мор и т.д.);
- 4) в качестве расплаты (искупления) - страдания, изоляция, изгнание или смерть.

Дети, воспитанные на подобных легендах, в жизни будут более осмотрительны по отношению к природе. Фольклор, воспитывающий и утверждающий вдумчивое отношение к среде обитания подкреплялся, разумеется и повседневной практикой в этой среде. Современный человек, оторванный от экологических процессов, лишенный интуитивного понимания природных основ своего благополучия, не способен (не может, не хочет, не умеет, и не задумывается) предвидеть результаты своих действий. Сове-

менная философия и этика заостряют внимание на человеке, а природа (среда) остаются на заднем плане. Архаичное и, как современный человек с высоты XX в. полагает, "наивное" представление языческих религий об одухотворенности природы (т.е. все - живое и "разумное", все - вплоть до предметов домашнего обихода) на самом деле неизбежно вызывает уважительное, бережное и рачительное отношение к среде обитания и окружающим людям. И не поэтому ли именно сейчас возрождаются отголоски и фрагменты этих архаичных верований, например, популярные ныне магия и астрология. Быть может, причиной тому - оторванность человека от мира и его "исключительность", порождающие чувство одиночества и заброшенности? Идеология борьбы и покорения природы серьезно деформировала и самого человека, а не только природную среду обитания, причем особенно ярко такие формы поведения заметны в городской среде. Кто не видел школьничков (реже дворничков, дорожных рабочих), "пропальвающих" пустыри, и прочие участки земли в городе?! Попытки узнать цель этого действия в лучшем случае получают ответ, что "так полагается", что удаляемая трава - это сорняк. Чаще всего, ответы еще более невразумительны, либо откровенно агрессивны. Вместе с тем, даже не специалисту очевидно, что само понятие "сорняк" имеет смысл в поле, огороде, саду и означает растение, конкурирующее с хозяйственно значимой культурой. Любая же растительность, сумевшая выжить в крайне неблагоприятной городской среде должна всемерно сохраняться, так как сдерживает эрозию почвы (а попросту говоря, задерживает пыль и не дает возможности распространяться грязи во время дождя, таяния снега и т.д.), совершается масса бесполезной и/или вредной работы, которая в другое время и в другом месте имела смысл, а сейчас сохраняется как социально-психологический рудимент.

Многочисленные примеры бездумного и самоуверенного обращения с природными процессами - следствие антропоцентристских взглядов в сочетании с возможностью неквалифицированного действия. Преодоление сложившегося состояния возможно на путях отказа от антропоцентризма, широкого образования и просвещения, а также всесторонней оптимизации стратегии развития.

3.3.3. Краткое изложение концепции пермакультуры

Поскольку в отечественной литературе не удалось отыскать упоминание о пермакультуре, то необходимо изложить основные теоретические положения и практические примеры этой концепции по капитальной сводке Б. Моллисона [500], где на 576 с. изложены и всесторонне обоснованы его взгляды.

По определению Моллисона (которое, как мы увидим позже, он, в процессе развития своей теории, сам же и расширяет на смежные области), "пермакультура" (перманентная + агрокультура) - это сознательное конструирование и поддержание сельскохозяйственно продуктивных экосистем, которые обладают разнообразием, стабильностью и эластичностью естественных экосистем. Это - гармоничная интеграция ландшафта

и людей, производящих питание, энергию, укрытия и другие материальные и нематериальные продукты самоподдерживающимся способом. Без пермакультуры не существует стабильного социального порядка.

Проектирование пермакультуры - это система, включающая концептуальные материальные и стратегические компоненты таким образом, что это благоприятствует жизни во всех ее формах".

Иными словами, предлагается конструирование экосистем, подобных естественным и, значит, не требующих таких затрат (труда, энергии и материалов), какие необходимы для содержания и поддержания современных агроэкосистем. Вместе с тем, отличие пермакультурной экосистемы от естественной будет заключаться в том, что она насыщена "человеко-полезными" или "человеко-значимыми" элементами и, кроме того, количество элементов и/или ниш, а также связей между ними гораздо больше в сравнении с аборигенной экосистемой. В качестве пояснения можно привести иллюстрированный пример (рис. 3.1), как выглядят естественный ландшафт, агроландшафт, а также агроэкосистема на основе пермакультуры.

Сравняя современное фермерское (заметим - благополучное, рентабельное, высокоэффективное!) хозяйство и пермакультурную ферму, Моллисон приводит следующую диаграмму (см. рис. 3.1).

Красноречивая картина снижения затрат и производительности компенсируется качеством продукта, улучшением санитарной обстановки, прекращением эрозийных процессов и т.д. Насколько эквивалентна и приемлема такого рода компенсация, мы вернемся к этому вопросу ниже.

Каковы же теоретические, методологические, идеологические, философские основы пермакультуры?

Приверженцы этой концепции перечисляют следующие принципы:

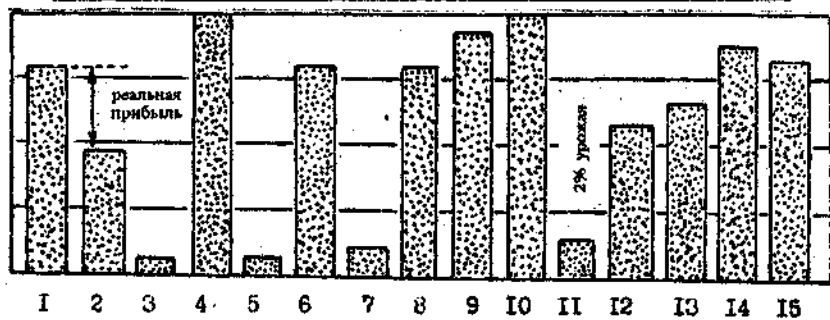
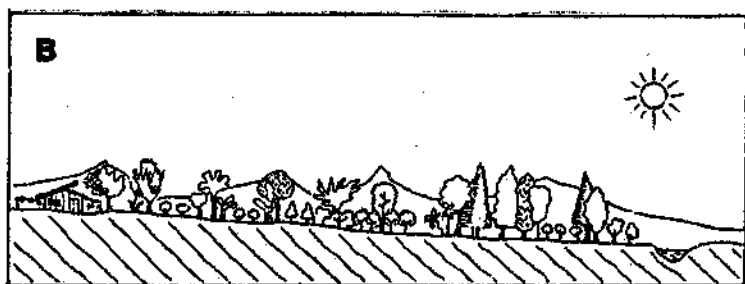
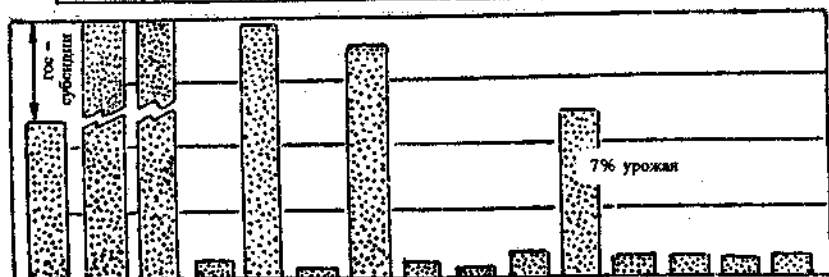
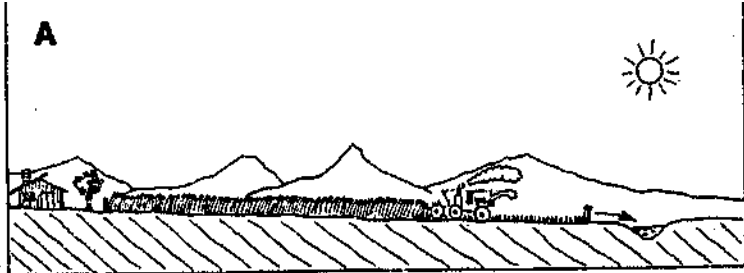
1. Работать не против, не вопреки, а совместно с природой.
2. В основу практики кладется проникательное наблюдение, а не бездумное действие (по типу "а так все и всегда делают").

Рис. 3.1. Основные характеристики интенсивного и альтернативного фермерского хозяйства (по Моллисону [500] с изменениями)

А - современная/"Западная" агрикультура; В - пермакультура; 70% площади пахотной земли отведено под собирательство.

Основные отличия состоят в том, что кормовые и зерновые культуры заменены на древесные и кустарниковые; из-за отсутствия впадины почвы сохраняется от эрозии; жилище переоборудовано для энергосбережения, значительное количество топлива производится на ферме.

Гистограммы: Денежный баланс: 1 - Доход от всей продукции на ферме; 2 - стоимость продукции в реальных затратах (любые сельскохозяйственные "доходы" достигаются за счет субсидий, денежные затраты не будут сбалансированы до тех пор, пока не будет создано хозяйство на основе пермакультуры). Энергетический баланс: 3 - ГСМ (или калории) для машин, удобрения, биоциды, на традиционной ферме (А) может иметь характер расхода (10:1), а в пермакультурном хозяйстве (В) может давать доход (до 1:120), учитывая дрова и другие виды топлива; 4 - энергии, произведенная на ферме: топливные масла, дрова калории в пищевой продукции (солнечная энергия считается постоянной, но она используется наиболее эффективно в условиях В). Баланс окружающей среды: 5 - потери почвы, включая потери гумуса и минеральных питательных веществ; 6 - эффективность использования воды и запасаания воды почвой; 7 - загрязнение от ГСМ, биоцидов и удобрений. Почвы восстанавливаются в условиях пермакультуры (В), вода запасается, загрязнители убираются. Баланс сохранения среды и богатство форм жизни: 8 - генетическое разнообразие культур и пород; 9 - биомасса предобитков; 10 - биомасса леса; 11 - потери от вредителей; Баланс социальной жизни: 12 - трудоустройство на ферме; 13 - качество производимой пищи; 14 - здоровье людей и среды; 15 - совокупное качество жизни как "подлинная жизневажность".



3. Принимать систему во всех ее проявлениях, а не пытаться требовать лишь одно какое-либо качество.

4. Позволять системам демонстрировать и проявлять свои собственные потенции и развитие.

Весьма глубоким мне видится мысль автора, что "люди - это главный ресурс, необходимый людям, который может организовать и все другие ресурсы". Вместе с тем, у него встречается и не менее очевидная мысль, что основное препятствие, с которым человек может столкнуться в своей позитивной практике - это тоже люди.

Постоянно подчеркивается, что глубокое и всестороннее обдумывание принимаемых решений ни в коем случае не должно приводить к силовым решениям (по отношению к природе, а также другим людям). Особая роль отведена личной ответственности. "Единственно этичное решение - это взять ответственность за собственное существование и существование наших детей на себя. И сделать это не мешкая, сейчас же ("make it now").

Основные заповеди:

1. Забота о земле.

2. Забота о людях.

3. Ограничение размножения людей и потребления. Иными словами, мы должны ориентировать свою этику на стратегическое выживание (а не на сиюминутный успех). При этом весьма важно не "использовать" землю, ресурсы и людей для достижения каких-либо целей, а кооперироваться с ними, т.е. работать не вопреки, а благодаря окружению.

В повседневной практике следует:

- уменьшать потери (а, следовательно, загрязнение);

- тщательно и аккуратно обращаться с почвой, не предпринимая без крайней необходимости перемещений грунта;

- беречь энергию;

- учитывать отдаленные отрицательные воздействия на биологические и социальные стороны общества.

Автор полагает, что коллективное владение земельными ресурсами более эффективно, чем частное. Логика рассуждений такова, что взаимный контроль и общая заинтересованность не позволят вести расточительное, небрежное или неквалифицированное использование ресурсов. По убеждению Моллисона, это - не архаичная община из эпохи "каменного века", а нечто принципиально новое - на основе современных постиндустриальных технологий (чисто техническое обоснование составляет большую часть книг этого автора).

Пермакультура - это самообеспечение себя всем необходимым на персональном, локальном и региональном уровнях. При этом грабеж, торговля и обмен, с точки зрения автора, оказываются весьма близкими понятиями и экологически весьма нежелательны.

Последующие рассуждения касаются пермакультуры в ландшафте (экосистеме) и обществе.

Удобнее и естественнее всего пермакультура разворачивается в сельском хозяйстве (включая рыбное, лесное и другие смежные сферы), но может быть приложима во всякую производственную деятельность, а также

быт, культуру и т.д. Разница между пермакультурной и естественной экосистемой в том, что пермакультура дает человеку больше, сохраняя (в идеальном случае) все остальные свойства естественной. Основываясь на принципе личного участия (и личной ответственности!) следует провести в "пермакультурный" вид ближайшее окружение - жилище, сад, двор, прилегающую местность, постепенно расширяя это влияние дальше. По мнению Моллисона, призывать сохранить леса и получать ежедневную газету - это лицемерие.

Последователи "альтернативных" взглядов очень часто подчеркивают, что они ничего принципиально нового не предлагают! Очень многие рецепты имеют многовековую историю. Позитивный и конструктивный пафос пермакультуры основан на комбинации и оптимизации уже существующих технических решений и обогащении разнообразия и богатства системы путем четких и многочисленных процедур, о чем речь пойдет ниже.

Практические принципы проектирования экосистем включают в себя следующие рекомендации:

- Жизнь созидательна. Созидательность привлекательнее хаоса. Поэтому не следует препятствовать любым проявлениям жизни без крайней нужды.

- Все, что взято в экосистеме, должно быть "возвращено" и/или компенсировано. За все надо платить. Общество, как условие своего существования, должно компенсировать трату ресурсов или приумножать их. Если нам нравится жизнь, мы должны ее сохранять вокруг себя. Поскольку общее количество энергии в мире постоянно, а энтропия растет, то мы должны помнить: рассеянная энергия бесполезна для любой системы и не может быть эффективно использована. Жизнь же (как явление) работает против энтропии. Поэтому поддержание и содействие жизни - это отодвигание тепловой смерти Вселенной.

Из всего сказанного следуют практические выводы для тех, кто решится конструировать искусственные экосистемы:

- конструируемые системы должны жить как можно дольше и требовать минимум ухода;

- эти системы (с Солнцем в качестве источника энергии) должны кроме самообеспечения обеспечивать определенной энергией и/или продукцией и человека;

- энергия, производимая системой, должна быть больше затрат на ее создание.

Практика пермакультуры дала возможность выкристаллизовать и следующие принципы:

1. Работай совместно с природой, а не против нее.

2. Проблема - это и есть решение. Все является благоприятным ресурсом.

* Мне довелось видеть в Англии стандартные таблички, которые хозяева наклеивают на свои почтовые ящики: "Пожалуйста, никаких бесплатных газет и рекламных листовок. Мы любим леса. Спасибо."

** Не это ли подразумевал и Н.К. Рерих, говоря: "Научился ли ты радоваться препятствиям?"

3. Совершая минимальные изменения для достижения возможно наибольшего эффекта.

4. Продуктивность системы теоретически неограничена. Единственное ограничение - нехватка знаний или фантазии у проектировщика.

5. Сады из всего. Или: все создаст свой сад, т.е. все создает вокруг себя среду. Следовательно, мы всегда можем найти в экосистеме себе союзника.

Пермакультура, как мы видим, охватывает (или должна, по замыслу Б. Моллисона, охватывать) все стороны жизни человека и общества. Однако центральным звеном этой системы, естественно, является производство, причем аграрное. Многочисленные примеры для разных природно-климатических зон приводимые автором, убеждают, что большинство проблем могут быть успешно решены, что позволит людям не только выжить, но и процветать.

Интересно, что степень "пермакультурности" может сильно варьировать, начиная с отказа от средств химизации сельского хозяйства, до создания типичной пермакультурной фермы, где все или большая часть однолетних растений изменены на многолетние древесные и кустарниковые формы, а в животноводстве преобладает свободный выпас на огороженных территориях и существует оборот пастбищ, сенокосов и т.д. широко используются пруды для птице- и рыбоводства, практикуется и разведение съедобных или кормовых беспозвоночных, разведение диких животных, присущих данной природной зоне.

По классификации Гюнтера Канта [493] современное земледелие имеет следующие направления (расположены по степени интенсификации):

- биолого-динамическое; биолого-органическое, органо-биологическое, органическое, натуральное, экологическое, альтернативное; экстенсивно-традиционное, интенсивно-традиционное, экстенсивно-индустриальное, интенсивно-индустриальное;

- химико-синтетическое производство продуктов питания.

Разумеется, границы между перечисленными способами ведения земледелия имеют весьма условный характер, что подчеркивает и сам Г. Кант.

В нетрадиционных системах сельского хозяйства непременным элементом является всемерное и разнообразное использование "альтернативных" (чистых) источников энергии - ветра, солнце, тепла и/или метана, получаемого из навоза и органических отходов с фермы и дома. Будучи по отдельности малоэффективными, такие источники резко увеличивают свой КПД при их комбинации или при сочетании с традиционными источниками энергии. В последнем случае мы получаем существенную экономию топлива (например, предварительный нагрев воды на ТЭЦ с помощью солнечных или иных нагревателей). Кроме того, не следует опасаться малой эффективности новых направлений энергетики, так как она находится на этапе своего становления.

Говоря о растениеводстве, следует подчеркнуть, что мы должны заботиться не о максимальной продуктивности с 1 га угодий, а о том, как наиболее рационально использовать энергию и землю для стабильного существования самообеспечивающегося общества.

Близки к естественным и обладают большим потенциалом устойчивости к различным неблагоприятным факторам разнообразие поликультуры зерновые, фуражные, овощные и т.д. Каждый вид, занимая в искусственной поликультуре свою нишу, использует свою часть ресурсов, которая малодоступна (неоптимальна для использования) другим видам. Поэтому, когда нишевое "пространство" заполнено плотно, сообщество в целом значительно повышает резистентность по отношению к внедрению сорняков и различных вредителей. Зачастую такие поликультуры становятся многолетними. В этом случае - налицо экономия средств на ежегодную вспашку и сев. Кроме того, прекращается неизбежная эрозия и деградация почвы при ее обработке. Поражают воображение системы прополки сорняков и контроля за вредителями. Такие мероприятия осуществляются при помощи "дозированного" (по времени и количеству на единицу площади) выпаса разных животных (цыплят, гусей, уток, кроликов и т.д.). Животные, кормясь на таком участке, осуществляют требующуюся операцию (прополка, слабое рыхление почвы) контроля за беспозвоночными вредителями.

Многообещающие опыты по комбинированному использованию теплиц (выращивание овощей, запасание тепла, устройство в той же теплице рыбоводных прудов, совмещение с теплицами животноводческих помещений и /или дома и т.д.).

Что касается зоны степей (саванн, лугов, и других травянистых экосистем), то здесь рекомендуется постепенный отказ от повсеместно практикуемого зернового хозяйства и замена его на животноводство с аборигенной фауной. Преимущества этого пути очевидны: в саванне антилопы используют 92% кормового ресурса, а европейские породы скота всего 52%, мясо диких млекопитающих содержит около 60% белка, европейского скота - в среднем 35%. Кроме того, антилопы подолгу могут обходиться без воды, а скот отходит от водопоя обычно не далее 3 - 7 км. Далее, если отрешиться от культурных барьеров и предрассудков, что является одним из существенных моментов пермакультуры, то нельзя пройти мимо того факта, что африканцы, например, употребляют в пищу ящериц, змей, личинок насекомых, саранчу, причем, саранча по питательности в 4 раза превосходит ценность зерновых, собранных с той же площади.

Сторонники новых тенденций в землепользовании подчеркивают, что вдумчивое, непредвзятое, творческое и совестливое ведение хозяйства способно полностью решить проблемы самообеспечения всех регионов. Известно, что большинство так называемых "экологических проблем" где-то уже решено. Дело обычно заключается в том, чтобы, преодолев инерцию мышления и административно-бюрократические барьеры, внедрить существующие рецепты в практику. Главный ресурс, который требуется человеку и который способен организовать все остальные ресурсы - это сам человек. Вместе с тем, главный барьер и трудность на пути решения проблем - это тоже человек. То есть, мы имеем типичную ситуацию "свободы воли": человек свободен и волею сознательно "подыгрывает" добру и злу. Правда, вслед за этим возникает вопрос что есть "зло" и "добро" для человека и что - для природы или агросистемы? Вероятно, путеводным принципом в поисках ответа на этот вопрос может стать отказ

от узко-эгоистических антропоцентристских взглядов, которые дают быстрый сиюминутный эффект, но в отдаленной перспективе ведут в тупик. Подчас разумнее пойти на определенный ущерб от вредителей, отказавшись от применения химических средств, но взамен этому иметь экологически чистый урожай.

Бесспорно, усложненный многоотраслевой облик пермакультурных ферм требует высокого уровня образования, производственной культуры, глубокого понимания основ функционирования сложных живых систем.

В ряде случаев, новые агроэкологические технологии уже шагнули далеко за рамки сугубо теоретических исследований. Б.Моллисон [500], например, подробно рассматривает экономические, финансовые, административно-организационные, демографические и социальные последствия пермакультуры, приводя и всесторонний анализ различных по структуре, направленности и размеру кооперативов, коммун, поселений в различных частях света. По его оценкам, возникающие социальные структуры, подкрепленные новейшими технологиями постиндустриального общества, оказываются весьма эффективными.

Вместе с тем, не следует скрывать проблем, которые возникают на пути пермакультуры, которая на данном этапе предлагает не исчерпывающие решения, а лишь стартовые позиции. В самом деле, на современной стадии своего развития пермакультура, а вместе с ней и другие подобные направления, может показаться весьма несовершенной, кустарной, неуклюжей. Однако, если мы вспомним облик и технические характеристики первых самолетов, автомобилей, локомотивов, то окажется, что выглядели они не менее курьезно по сравнению, скажем, с образцами современного транспорта.

Поиск способов "мягкого регулирования" и контроля численности нежелательных для человека организмов ведется очень широко и в разных направлениях. Практически каждая биологическая дисциплина предоставляет в арсенал аграриев средства избавления от вредителей. Вирусология позволяет с помощью видоспецифичных вирусов вызывать катастрофические эпизоотии среди энтомовредителей, совершенно не затрагивая полезную фауну. Широкий набор среди беспозвоночных паразитов и хищников тоже позволяет сдерживать численность фитофагов. Ряд таких насекомых с этой целью разводят в лабораториях. Среди них наиболее известна трихограмма. Геоботаники предлагают систему оталекающих посевов, когда в районе возделывания какой-либо культуры произрастает "бесполезное" для человека, но более привлекательное для вредителя растение. Этология и физиология предлагают системы использования положительных и отрицательных сверхстимулов (оптических, акустических, химических и т.д.). Использование различных ловушек с аттрактантами или "антиловушек" с репеллентами достигает впечатляющих результатов. При этом продукция получается экологически чистой, а пойманные вредители могут использоваться на корм в рыбо- или птицеводстве.

Большой резерв содержит в себе и чисто организационные меры. Например, точно рассчитанное минимальное воздействие на популяцию вредителя в период его наибольшей уязвимости (выход или уход на зимовку, депрессия численности, период поиска полового партнера и стравливания и т.д.) может серьезно и надолго подорвать жизнеспособность популяции.

Кроме того, следует признать, что значительная часть проблемы борьбы с нежелательными животными - синантропами (тараканами, мухами, круглогодично размножающимися комарами в подвалах домов, крысами, воронами и т.д.) это просто показатель санитарно-гигиенического состояния нашего жилища и прилегающей территории. Опыт показывает, что при наведении элементарного порядка, "проблема" решается сама собой.

В заключении можно сказать, что переход на рельсы альтернативных технологий должен происходить постепенно и по "оптимальным" траекториям. В этой ситуации возникает серьезнейшая проблема выбора критериев, а среди них - приоритетов в оценке как будущих стратегий, так и ретроспективного осмысления полученных результатов. Сфера оптимизации тесно связана с проблемой выбора.

3.3.4. Стратегический шанс

Согласно второму закону термодинамики общий характер развития процессов в нашей Вселенной направлен в сторону увеличения энтропии, т.е. увеличения дезинтеграции, неупорядоченности, распада. Экстраполяция этой тенденции указывает на тепловую смерть Вселенной как конечную точку этой траектории. Лишь немногие процессы в ходе главного потока событий имеют противоположную направленность (например, рост кристаллов). Одним из таких феноменов следует считать Жизнь как явление. Используя несложные (или лучше сказать - "менее сложные") вещества и энергию, живые организмы создают сложнейшие организменные, надорганизменные и неорганизменные системы, способные к воспроизводству, росту, развитию, адаптации, эволюционированию и, самое главное усложнению и усовершенствованию. Оставляя за рамками обсуждения причины и цели возникновения такого процесса как Жизнь, трудно все же удержаться от чувства изумления и восхищения тем, что на протяжении миллиардов лет в бескрайнем хаосе существует и успешно противостоит росту энтропии тонкая пленка биосферы на нашей планете.

Но и в процессе развития жизни наступает такая фаза (скорее всего, что она наступала не раз), когда круговорот вещества и энергии начинает затухать и из него выводятся значительные количества вещества. Так происходило в каменноугольный период, когда шло депонирование колоссальных количеств древесных остатков. Сейчас такие депо известны как месторождения каменного и бурого углей. К депонированным массивам вещества недавнего времени следует отнести залежи торфа, илов, накопления чериозема. Органогенные месторождения известняков и нефти тоже свидетельствуют о связывании и выведении из активного круговорота огромных количеств вещества.

И только с появлением человека и человечества (опять же оставим проблему причины и цели этого явления, а также правомерность ее постановки), все отложенные запасы постепенно вовлекаются в круговорот благодаря его деятельности. Масштабы и возможности антиэнтропийной деятельности получают новый импульс и шанс, как это уже однажды было после возникновения Жизни.

Вместе с тем, темпы и траектория развития систем, созданных человеком, происходили и происходят тоже весьма противоречиво. Деструктивность сплошь и рядом превалирует в деятельности человека, способствующей росту энтропии. Кроме того, все материальные продукты деятельности человека - дороги, каналы, здания, храмы, машины - тоже не избегают участи любого материального (и в особенности, неживого) объекта: распада и дезинтеграции.

Однако следует задаться вопросом, может ли человек замедлить процесс роста энтропии, или может быть создан некий циклический процесс, способный удерживать ситуацию в стабилизированном состоянии? Или же создать наиболее оптимальную "траекторию распада", когда вещество и энергия в процессе использования проходят много стадий, совершая максимум "пользы"? На эти вопросы пермакультура дает не только положительные ответы, но и предлагает уже наработанные "рецепты".

Не следует забывать и о другом пути выхода из создавшегося тупика. (Строго говоря, любая, даже самая оптимальная система, которая противостоит росту энтропии, обречена на разрушение; другое дело, что эта система может бесконечно долго продлевать и отодвигать наступление дезинтеграции, как, например, низкотемпературные системы Дайсона.) Этот другой путь не менее необычен и даже загадочен, чем все, что касается основ мироздания. Ключ к решению задачи поиска "бессмертия" следует искать, попытавшись ответить на вопрос; что не подвержено разрушению?

Ответом, очевидно, будет - мысль, идея, информация. Это единственно, что неразрушаемо. Древние Рим, Греция дошли до нас в виде руин и керамических черепков, а идеи философов тех времен живут, воспроизводятся, находят своих горячих сторонников (и не менее горячих оппонентов), и даже будучи категорически "опрровергнуты", вновь возникают подчас под другим названием, но по сути неизменно те же. Как писал И.А.Бунин на смерть своего брата, "теперь ты - вечен", подразумевая "жизнь" образа брата в памяти тех, кто его знал, а главное, в его произведениях, стихах, прозе.

Иными словами, путь "обхода" энтропии может строиться на сохранении информации. Человек нашего века резонно потребует объяснить "технологии" этого пути, указав на факт износа носителей информации и накоплении ошибок при переписывании с одного носителя на другой по мере износа первого. Здесь мне нечего ответить кроме того, что до сих пор во всех "критических" (для противостояния росту энтропии) точках "решения" находились без суетливого вмешательства человека.

Другое дело, что каждый из нас в силах осознанно способствовать или препятствовать нарастанию хаоса, т.е. человеку дана свобода выбора, и этой возможностью он может воспользоваться.

И вот на этом пути, а точнее на этом перепутье, использование альтернативных способов природопользования может оказаться спасительным. Да, пермакультура едва ли победит рост энтропии, но она бесспорно,

* Деструктивность понимается мною здесь и как 1) умышленная, и как 2) неосознаваемая (непреднамеренная), и 3) неизбежная даже при созидательной деятельности.

продлит срок Жизни как явления на нашей планете, сохранит и адаптирует к биосфере Цивилизацию и, главное, выиграет время которое даст человечеству "обойти" рост энтропии на "информационных" путях.

3.3.5. Пермакультура выход или новый тупик?

Теперь, познакомившись вкратце с наиболее типичной альтернативной системой - пермакультурой, - можно подытожить и сравнить основные особенности интенсивного природопользования с пермакультурой:

Традиционное интенсивное природопользование	Пермакультура
Аграрная сфера	
Монокультура	Поликультуры
Специализация	Генерализация
Высокая производительность труда	Низкая производительность труда
Высокая энергонасыщенность производ- ства	Низкая энергонасыщенность производ- ства
Значительное количество отходов	Отсутствие отходов
Гарантированный результат труда	Негарантированный результат труда
Расходование природных ресурсов	Восполнение и/или приумножение рас- ходуемых ресурсов
Финансово-экономическая сфера	
Высокая концентрация капитала	Низкая концентрация капитала
Преимущественно денежное обращение	Преимущественно бартер и местные купоны
Прочие сферы деятельности человека	
Широкое развитие транспорта	Транспорт развит слабо за ненадобно- стью
Интенсивное и массивное перемещение людей, товаров, сырья и энергии	Слабое перемещение людей, товаров, сырья и энергии, т.к. производство и потребление происходят в каждом кон- кретном месте
Энергетика строится на основе индус- триальных централизованных способов (крупные ТЭС, ГЭС, АЭС)	Энергетика строится на основе мелких локальных в том числе альтернативных способах (получение биогаза, ветро- энергетика и т.д.)
Культура и искусство узко специали- зированы по жанрам, стилям и сущест- вуют как отдельная область жизни	Культура и искусство имеют интегри- рованный и интегрирующий характер, являясь неотъемлемой частью любого процесса
Узкое образование	Широкое образование

Архитектура, градостроительная планировка и строительство существуют как результат умозрительной деятельности или в лучшем случае имеют экономическую подоплеку

Возникновение мегаполисов с высокой плотностью населения

Анонимность сообщества, преступность, безработица, слабая управляемость социальными процессами

Человек не в состоянии контролировать использование результатов своего труда

Проектирование и создание жилищ полностью подчинено энергетическому обоснованию и функциональному удобству

Возникновение небольших человеческих поселений с низкой плотностью населения

Полностью персонализированные отношения в поселениях, контролируемость социальных процессов

Человек полностью контролирует, ответствен и, следовательно, заинтересован в разумном использовании результатов своего труда

Вполне очевидно, что таблица имеет местами утрированный характер, однако речь идет о наиболее показательных тенденциях и поэтому "черно-белый" ее облик, на мой взгляд, оправдан. Кроме того, сравнения можно было бы распространять и на другие области, детализируя все процессы и явления. Однако, суть сравнимых стратегий уже должна быть ясна: пермакультура менее энергоемка, менее интенсивна, менее специализирована по сравнению с существующими в современных индустриальных и постиндустриальных обществах системами.

После всего вышесказанного неизбежно возникает вопрос: а какой же, собственно, смысл пытаться пропагандировать и "внедрять" новые системы типа пермакультуры? Такие качества, как снижение производительности труда, более простые (подчас - примитивные) процессы, инструменты, машины и т.д. не могут выгодно выглядеть по сравнению с последними достижениями технологий. Однако, этого и не скрывают основатели альтернативных методов.

Ответом на эту парадоксальную ситуацию, наверное может быть следующее рассуждение. Да, быть может магистральный путь "прогресса цивилизации" будет оставаться (а может быть, и останется) в прежнем русле и впредь. Да, эффективность экономики будет и впредь оставаться основным мериллом успеха. Однако, альтернативные методы хозяйствования всегда будут присутствовать и, надо думать, набирать силу вместе с "традиционными" экономическими, индустриальными и аграрными структурами. Что же касается "проигрышных" особенностей пермакультуры, то здесь, очевидно, будет уместна аналогия такого рода.

На роскошном, элегантном, быстроходном мощном теплоходе всегда бережно хранятся подчас неуклюжие, совсем не изящные, безусловно тихоходные и маломощные спасательные надувные плоты, жилеты, шлюпки. Все эти спасательные средства занимают на корабле много места, снижают ряд показателей судна, отнимают время и средства на уход и профилактику, однако никому не придет в голову избавляться от этих вещей: их задача - спасти людям жизнь. Так и с пермакультурой: ее задача - спасение людей

(от перенаселения, низкого качества среды, безработицы, голода и т.д.) в условиях, когда шаткое благополучие современной цивилизации легко может обернуться (и уже часто оборачивается) серьезными проблемами в области экологии, экономики, демографии, социальной сфере и др. Особенно приятным кажется то обстоятельство, что пермакультурой уже наработаны конкретные "рецепты" ведения стабильного хозяйства и "способы выживания".

Пока современное постиндустриальное экономическое производство озабочено, по словам одного из крупных японских менеджеров, как "выжать из сухой салфетки еще несколько капель воды", пермакультура напряженно работает над тем, как бы сделать эту салфетку постоянно мокрой и непересыхающей. Это бесспорно требует иного стиля мышления и, к счастью, в человеческой популяции всегда была стабильная доля людей, которая не только стремилась к отшельничеству, но и старалась превратить его в конструктивный созидательный процесс. Яркий пример такого позитивного и практического подхода - Генри Торо, еще в XIX в. заложивший основы взглядов, которые сейчас углубляются и кристаллизуются сторонниками пермакультуры.

Во-вторых, не следует обрывать со счетов и саму разнородность человеческого общества в смысле врожденных склонностей: любое общество на протяжении всей истории имело религиозные и нерелигиозные коммуны и различные более или менее автономные поселения тех, кого сейчас принято называть эскапистами. Не исчезла, а во многом окрепла, эта тенденция и сейчас. Именно для локальных немногочисленных поселений (а это могут и производственные нужды: отдаленные метеостанции, маяки, месторождения и т.д.) идеи и разработки пермакультуры могут сослужить значительную пользу, сделав жизнь, быт, питание, досуг полноценными, содержательными и достойными. В-третьих, несложность и подчеркнутая безогходность, акцентирование того, что "все есть ресурс" оказывается очень привлекательными для беднейших стран третьего мира именно как средство спасения от голода, болезней, безработицы, неразумного расходования всевозможных ресурсов.

Таким образом, пермакультура может выполнять и уже выполняет очень важную не только (а подчас и не столько!) экономическую роль, но и роли социальную, профилактическую, "спасательную" и экспериментальную. Причем эксперимент идет как в направлении создания природопользовательских технологий, так и в области экономики, к которой тесно примыкают юридическая, политическая и культурная сферы.

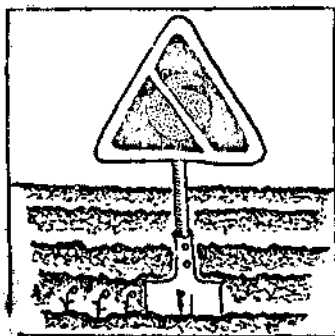
Так что же такое - пермакультура, альтернативные виды энергетики, строительства и архитектуры, новые формы труда, социальных отношений - диковинная игрушка и чудачество, игра ума и разовые достижения технологии - или это прообраз завтрашних форм?

Известно, что в Древнем Риме Герон демонстрировал в аристократических кругах забавную игрушку - маленькую паровую турбину. Надо ли говорить, что в современной энергетике паровая турбина один из наиболее эффективных силовых агрегатов.

Еще более впечатляющий пример. Древние инки не использовали колеса, хотя у них была прекрасная сеть мощеных дорог. Иными словами,

они не знали колеса? - Нет, знали. Но использовали только для того, чтобы снабдить колесиками игрушечные фигурки животных своих детей. Вопрос о том, почему же инки не захотели, не догадались, не смогли или не сумели применить колесо для создания повозок остается сам по себе интересным. Однако приведенные два примера ярко показывают, что отношение к "игрушкам" должно быть куда как серьезнее. Уверенно набирающая популярность альтернативная энергетика вселяет оптимизм в отношении того, что и остальные направления альтернативного характера окажутся конкурентноспособными на рынке новых товаров, технологий услуг.

Пристальное внимание, благожелательная поддержка и непредрешенная всесторонняя оценка результатов развития альтернативных технологий смогут определить их место в жизни нашего разнообразного и разнообразного мира людей и природы.



"Мы знаем это. Не Земля принадлежит человеку, а человек принадлежит Земле. Мы знаем это. В мире все взаимосвязано. Не человек сплел паутину жизни, он лишь одна из ее нитей. Что бы он не делал с паутиной, он творит в ущерб себе"

Из мудрости индейского вождя Сизета

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги данного обзора, необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства. Проблема применения пестицидов - это очень сложная, комплексная задача, поэтому требуется тщательный и всесторонний анализ многих, иногда противоречащих друг другу факторов. Несмотря на то, что здесь мы затронули далеко не все аспекты данной проблемы, и лишь некоторых из них, главные стратегические моменты обозначены достаточно определенно. Безусловно, сейчас одной из центральных является задача оценки экологических последствий и поиска путей рационального использования биологически активных веществ (включая пестициды) на благо человеческого общества.

Независимо от того, кто касается этой проблемы: потребители или производители пестицидов, рьяные защитники природы или трезвомыслящие ученые, - все сходится в одном. Так, как использовались пестициды ранее, ни сейчас, ни когда либо в будущем их применение недопустимо, если руководствоваться принципом "не навреди". С другой стороны, большинство специалистов из разных стран единодушны в понимании того, что без применения пестицидов нельзя обойтись. Ведь никто не ставит вопрос о прекращении использования лекарств. Более того, видимо без пестицидов не удастся обойтись никогда. Хотя это лишь точка зрения, основанная на наших знаниях, но отмахнуться от нее не очень просто. Ведь пестициды и другие (в ряде случаев очень токсичные и опасные для человека и животных) физиологически активные соединения уже давно и эффективно функционируют на земле (пиретроиды, змеиный яд, ядовитые растения и животные). Без этих веществ немыслимо функционирование столь сложного многообразия животного и растительного сообщества на протяжении многих миллионов лет. Именно поэтому наша задача понять, как все это функционирует в реальном мире, и построить свою деятельность в максимальной гармонии с живой природой. Это уже понятно. С начала 70-х гг. активно развивается интегрированная система защиты растений. Этим же духом проникнут и документ глобального масштаба, направленный на выживание человечества в будущем, - Повестка дня на XXI в., принятая на Всемирном форуме в Рио-де-Жанейро в 1992 г.

Будем надеяться, что человеческий разум будет направлен во благо людей и не приведет нас к глобальной катастрофе. Наша задача была

конечно намного скромнее, но мы надеемся, что наш труд - это одна из капель в огромном море знаний, которая еще раз напоминает нам, кто мы есть. Хотелось бы также верить, что в данном случае мы действительно оказались беспристрастными. Мы не старались ни устрашать глобальными последствиями, ни строить аргументы по принципу "это будет всегда, потому, что так всегда было". Нам хотелось понять в чем же, действительная сущность проблемы, и посмотреть, есть ли какие-либо пути решения стоящих перед нами задач.

Такой подход, по нашему мнению, наиболее рационален, и мы думаем, что разговор на эту тему не закончен и приглашаем его продолжить в будущем.



ЛИТЕРАТУРА

1. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де Жанейро, июнь 1992 г.): Информ. обзор / СО РАН. - Новосибирск, 1992. - 62 с.
2. Carson R.L. Silent Spring. - Greennick: C.T. Fewcell, 1962. - 368 p.
3. Метьюз Дж.А. Борьба с вредителями сельскохозяйственных культур. - М.: Агропромиздат, 1987. - 205 с.
4. Берриман А. Защита леса от насекомых вредителей. - М.: Агропромиздат, 1990. - 287 с.
5. Поведение пестицидов и химикатов в окружающей среде // Труды Советско-американского симпозиума, Айово-Сити, США октябрь 1987 г. - Л.: ГИМИЗ, 1991. - 432 с.
6. Юданова Л.А. Пестициды в окружающей среде: Аналит. обзор. - Новосибирск, 1989. - 140 с.
7. Экологическая оценка применения пестицидов: Аналит. обзор / Куценотий К.П., Киров Е.И., Чанкина О.В. и др. - Новосибирск, 1992. - 144 с.
8. Красилов В.В. Нерешенные проблемы эволюции. - Владивосток, 1986. - 140 с.
9. Жерихин В.В. Борьба за сосуществование // Знание - сила. - 1993. - N 7. - С. 28 - 37.
10. Разумовский С.М. Закономерности динамики биогеоценозов. - М.: Наука, 1981. - 232 с.
11. Красилов В.В. Филогения и систематика // Проблемы филогении и систематики. - Владивосток, 1969. - С. 12 - 30.
12. Беляев Д.К. Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при доместикации животных // Природа. - 1979. - N 2. - С. 36.
13. Шапошников Г.Х. Морфологическая дивергенция и конвергенция в эксперименте с тлями (Homoptera, Aphidinea) // Энтомол. обозрение. - 1965. - N 1. - С. 3 - 25.
14. Сапунов В.Б. Адаптация к перемене экологических условий и фенотипическая изменчивость тлей // Журн. общ. биологии. - 1983. - N 4. - С. 557 - 566.
15. Козлов М.В. Ответные реакции популяций членистоногих на антропогенные воздействия: Препринт / ИЛИД СО АН СССР. - Красноярск, 1987. - 60 с.
16. Козлов М.В. Влияние антропогенных факторов на популяции наземных насекомых // Итоги науки и техники: Энтомология. - М., 1990. - Т. 13. - 192 с.
17. Распицин А.П. Проблема глобального кризиса наземных биоценозов в середине мелового периода // Меловой биоценозический кризис и эволюция насекомых. - М., 1988. - С. 191 - 207.
18. Рославцева С.А. Распространение резистентных к инсектоакарицидам популяций членистоногих в мире // Агробиохимия. - 1988. - N 2. - С. 121 - 136.
19. Hung Ch.-F., Sun Ch.-N. Microsomal mono-oxygenases in Diamondback Moth larvae resistant to fenvalerate and piperonil butoxide // Pest. Biochem. Physiol. - 1989. - Vol. 33. - P. 168 - 175.
20. Риппер В.Э. Действие ядохимикатов на равновесие популяций членистоногих // Современные проблемы энтомологии. - М., 1959. - С. 372 - 411.
21. Keith I.A. Reproduction in a population of Herring gulls (*Larus argentatus*) contaminated by DDT // J. Appl. Ecol. - 1966. - Vol. 3 (Suppl.). - P. 57 - 70.
22. Ratcliffe D.A. Decrease in eggshell weight in certain birds of prey // Nature. - 1967. - Vol. 215. - P. 208 - 210.
23. Moore N.W. Pesticides and wildlife // Council of Europe Publ. Resolution (70). - Strasbourg, 1971. - Vol. 24.
24. Богдановичене З.П. Изменение численности отдельных групп микроор-

ганизмов в процессе разложения лесной подстилки, обработанной различными дозами инсектицидов // Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур. - Вильнюс, 1978. - С. 32 - 34.

25. Влияние пестицидов на педобийонтов и биологическую активность почвы. - Вильнюс: Моклас, 1982. - С. 2 - 116.

26. Загуральская Л.М. Влияние арборицида 2,4-Д на почвенную микрофлору // Воздействие 2,4-Д на биогеоценозы лиственно-сосновых молодняков. - Петроаводск, 1976. - С. 123 - 131.

27. Магомедова К.И., Абуджалалова М.У. Влияние совместного внесения удобрений с инсектицидами на микрофлору луговых почв // Науч. тр. Ташкент. СХИ. - 1975. - Вып. 56. - С. 67 - 70.

28. Меренюк Г.В., Гарков В.И., Тимченко Л.А. Антибактериальное действие некоторых комбинаций пестицидов на чистые культуры микроорганизмов // Изв. АН СССР. Сер. биол. - 1978. - N 5. - С. 794 - 796.

29. Моложанова Е.Г., Ремезова Я.Б. Детоксикация хлорофоса почвенными микроорганизмами // Химия в сел. хоз-ве. - 1973. - N 10. - С. 41 - 42.

30. Экологические последствия применения агрохимикатов (пестициды). - Пушкино, 1982. - С. 28 - 129.

31. Богдановичене Э.П. Динамика численности микроорганизмов в лесной почве в период разложения травяного покрова, обработанного хлорофосом и бензофосфатом // Сезонная динамика почвенных процессов. - Таллин, 1979. - С. 168 - 170.

32. Гурбань Н.С., Михайловская Я.В. Использование бактериями сеина в качестве источника питания // Экспериментальная водная токсикология. - Рига, 1976. - Вып. 6. - С. 42 - 47.

33. Дунский В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. Пестицидные аэрозоли. - М.: Наука, 1982. - С. 287.

34. Никитин Д.И., Никитина Э.С. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты бактерий. - М.: Наука, 1978. - С. 19 - 21.

35. Финкельштейн З.И. Микробная деградация гербицидов алвисона-8 и ордрама: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Пушкино, 1981. - 17 с.

36. Hill I.R., Wright S.T. Pesticide microbiology. - N.Y.; L.: Acad. Press, 1978. - P. 79 - 122.

37. Pemberton I.M. Pesticide degrading plasmids. A biological answer to environmental pollution by phenoxyherbicides // Ambio. - 1979. - Vol. 8, N 5. - P. 202 - 205.

38. Проблемы почвенной зоологии: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. - Киев, 1981. - С. 22 - 94.

39. Бызова Ю.Б. Влияние авиахимической обработки на фауну почвенных беспозвоночных темнохвойных лесов // Зоол. журн. - 1964. - Т. 43, вып. 4. - С. 488-502.

40. Заславский В.А., Сугоняев Е.С. Биологическое подавление вредителей как проблема современной экологии // Там же. - 1967. - Вып. 10. - С. 1536 - 1551.

41. Защита пчел от химических токсикозов // Пчеларство. - 1987. - Т. 85, N 4. - С. 1 - 2.

42. Захаренко В.А. Экономика химизации растениеводства // Журн. Всесоюз. хим. о-ва - 1988. - N 6. - С. 18 - 24.

43. От редакции // Защита растений. - 1989. - N 12. - С. 3 - 6.

44. Прасе И., Махулда Г., Гелмекс К. Влияние гербицидов на структуру комплекса почвообитающих микроартропод // Экология. - 1978. - N 3. - С. 36 - 46.

45. Зинченко В.А., Вяткина Н.И. Определение остаточных количеств диазинона в почве биологическим методом // Поведение, превращение и анализ пестицидов и их метаболитов в почве. - М., 1973. - С. 144 - 148.

46. Curry J.P. The effect of different methods of new sward establishment and the herbicides paraquat and dalapon on the soil fauna // Pedobiologia. - 1970. - Bd 10, N. 15. - P. 329 - 361.

47. Heungens B.A. The influence of DBCP on the soil fauna in azalea culture // *Pedobiologia*. - 1968. - Bd 8, H. 3. - P. 281 - 288.
48. Karg W. Milben als Indikatoren zur Optimierung von Pflanzenschutzmaßnahmen in Apfel Intensivanlagen // *Ibid.* - 1978. - Bd 18, H. 5/6. - P. 415 - 425.
49. Агладинице О.П. Влияние пестицидов на численность клещей и коллембол в процессе разложения органического вещества // *Новейшие достижения сельскохозяйственной энтомологии. - Вильнюс, 1981. - С. 11 - 13.*
50. Eijsackers H. Side effects of the herbicide 2,4,5-T affecting the carabid *Notophilus biguttatus* Fabr., a predator of sprig tails // *Z. Angew. Entom.* - 1978. - Bd 86. - S. 113 - 128.
51. Maxwell R.C., Harwood R.F. Increased production of pea aphids on broad beans treated with 2,4-D // *Annu. Entomol. Soc. Amer.* - 1960. - Vol. 53. - P. 199 - 205.
52. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберт. - М.: Мир, 1988. - 348 с.
53. Barrett G.W. The effects of an acute insecticide stress on a semi-enclosed grassland ecosystem // *Ecology*. - 1968. - Vol. 49, N 6. - P. 1019 - 1035.
54. Margalef R. Information theory in ecology // *Gen. Syst.* - 1968. - Vol. 3. - P. 36 - 71.
55. Lloyd M., Ghelardi R.J. A table for calculating the "equitability" component of species diversity // *J. Anim. Ecol.* - 1964. - Vol. 33. - P. 217 - 225.
56. Whittaker R.H. Evolution and measurement of species diversity // *Taxon*. - 1972. - Vol. 21. - P. 213 - 251.
57. Barrett G.W., Bulan C.A. The effects of two acute stresses on the arthropod component of an experimental grassland ecosystem // *Ecology*. - 1971. - Vol. 52. - P. 597 - 605.
58. Crossley D.A., Hoglund Jr. A litter-bag method for the study of microarthropods inhabiting leaf litter // *Ibid.* - 1962. - Vol. 43. - P. 571 - 573.
59. Crossley D.A., Witkamp M., Dobson G.J. Cross effects of arthropods and mikroflora on rates of leaf litter breakdown // *Physics Division, Annual Progress Report for period ending 30 June 1963.* - P. 98 - 99.
60. Bund van der. Changes in the soil fauna caused by the application of insecticides // *Boll. zool. agr. Bachic.* - 1965. - Ser. II. - Vol. 7. - P. 185 - 212.
61. Антропогенные воздействия на сообщества насекомых. - Новосибирск, 1985. - 107 с.
62. Simberloff D.S. Experimental zoogeography of islands: A model for insular colonization // *Ecology*. - 1969. - Vol. 50. - P. 396 - 314.
63. Simberloff D.S., Wilson E.O. Experimental zoogeography of islands: The colonization of empty islands // *Ibid.* - 1969. - Vol. 50. - P. 278 - 295.
64. Simberloff D.S., Wilson E.O. Experimental zoogeography of islands: A two-year record of colonization // *Ibid.* - 1970. - Vol. 51. - P. 934 - 937.
65. Heatwole H., Levins R. Trophic structure stability and faunal change during recolonization // *Ibid.* - 1972. - Vol. 53. - P. 531 - 534.
66. Risch S.I., Pimentel D., Grover H. Corn monoculture versus old field: effects of low levels of insecticides // *Ibid.* - 1986. - Vol. 67. - N 2. - P. 505 - 515.
67. Pimentel D., Edwards C.A. Pesticides and ecosystems // *BioScience*. - 1982. - Vol. 32. - P. 595 - 600.
68. Malone C.R. Effects of diazinon contamination on an old field ecosystem // *Amer. Midl. Natur.* - 1969. - Vol. 82. - P. 1 - 27.
69. Harrison H.L., Loucks O.L., Mitchell I.W., et al. Systems studies of DDT-transport // *Science*. - 1970. - Vol. 170. - P. 503 - 508.
70. Shure D.I. Insecticide effects on early succession in an old field ecosystem // *Ecology*. - 1971. - Vol. 52. - P. 271 - 279.
71. Suttman C.E., Barrett G.W. Effects of sevin on arthropods in an agricultural and old field plant community // *Ibid.* - 1979. - Vol. 60. - P. 628 - 641.

72. Завадский К.М. Вид и видообразование. - Л.: Наука, 1968. - 396 с.
73. Наумов Н.П. // Журн. общ. биологии. - 1967. - Т. 28, N 6. - С. 633.
74. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. - Л.: Гидрометеоиздат, 1985. - Т. 8. - С. 7 - 120.
75. Одум Ю.П. Экология. - М.: Мир, 1986. - Т. 1. - 328 с.
76. Байку Т. Избирательность действия пестицидов в зависимости от уровня организации живой материи // Информ. бюл. ВПС МОББ. - Л., 1981. - С. 6 - 15.
77. Дмитриев П.П., Лобачев В.С. Подходы к исследованию проблемы "адохимикаты и фауна" // Успехи соврем. биологии. - 1977. - Т. 83, - вып. 3. - С. 459 - 470.
78. Семевский Ф.Н., Семенов С.М. Математическое моделирование экологических процессов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - 280 с.
79. World Health Expert Committee on Insecticides. 7th Report. / WHO Technical Report Series. - 1957. - N 125.
80. Mallet J. The evolution of insecticide resistance: where the insects won? // Trends in Ecology and Evolution. - 1989. - Vol. 4, N 11. - P. 336 - 340.
81. Рославецова С.А. Инсектоакарициды и резистентность членистоногих к ним // Агрехимия. - 1991. - N 5. - С. 141 - 148.
82. Mechanism of insect resistance to the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis* / Van Rie J., McLaughley W.H., Jonson D.E. et al. // Science. - 1990. - Vol. 247. - P. 72-74.
83. Scott J.G. Cross-resistance to the biological insecticide Abamectin in pyrethroid-resistant house flies // Pest. Biochem. Physiol. - 1989. - Vol. 34. - P. 27 - 31.
84. Резистентность вредителей сельскохозяйственных культур к пестицидам и ее преодоление. - М.: Агропромиздат, 1991. - С. 7 - 165.
85. Федоренко А.П. Пестициды как фактор естественного отбора // Вестн. зоологии. - 1982. - N 5. - С. 3 - 9.
86. Яблоков А.В. Популяционная биология. - М.: Высш. шк., 1987. - 303 с.
87. Кохманюк Ф.С. Изменчивость фенетической структуры популяции колорадского жука (*Leptinotarsa decimlineata* Say.) в пределах ареала // Фенетика популяций / Под ред. А.В. Яблокова. - М.: Наука, 1982. - С. 233 - 243.
88. Naumann K. Synthetic pyrethroid insecticides: Structures and properties // Chemistry of plant protection. - Springer - Verlag, 1990. - Vol. 4. - 241 p.
89. Comprehensive of insect physiology, biochemistry and pharmacology / Eds Kerkut G.A. and Gilbert L.I. - N.Y.: Pergamen Press, 1985. - Vol. 12. - P. 9 - 773.
90. Chang C.P., Plapp F.W. DDT and pyrethroids: receptor binding in relation to knockdown resistance (kdr) in the house fly // Pest. Biochem. Physiol. - 1983. - Vol. 20. - P. 86 - 91.
91. Devonshire A.L., Moores G.D. Different forms of insensitive AchE in insecticide-resistant houseflies // Ibid. - 1984. - Vol. 21. - P. 336 - 340.
92. Wood R.J. Insecticide resistance: genes and mechanisms // Genetic consequences of man made change. - N.Y.; L., 1981. - P. 97 - 112.
93. De Vries D.H., Georghiou G.P. Decreased nerve sensitivity and decreased cuticular penetration as mechanisms of resistance to pyrethroids in a (1R)-trans-permethrin-selected strain of the housefly // Pest. Biochem. Physiol. - 1981. - Vol. 15, N 2. - P. 234 - 241.
94. Pest resistance to pesticides: Challenges and prospects / Eds G.P. Georghiou, T. Saito. - Plenum Press, 1983. - N 7. - P. 207 - 733.
95. Scott J.G., Georghiou G.P. The biochemical genetics of permethrin resistance in the Learn-PyR strain of house fly // Biochemical genetics. - 1986. - Vol. 24. - P. 25 - 37.
96. Rossignol D.P. Reduction in number of nerve membrane sodium channels in pyrethroid resistant house flies // Pest. Biochem. Physiol. - 1988. - Vol. 32. - P. 146 - 152.
97. Wilkinson C.F. The metabolism of xenobiotics: A study of biochemical evolution // The Scientific Basis of Toxicity Assessment. - Amsterdam, 1980. - P. 251 - 268.
98. Hodgson E. The significance of cytochrome P-450 in insect // Insect Biochem. - 1983. - Vol. 13, N 3. - P. 237 - 246.

99. Devonshire A.L., Sawicki R.M. Insecticide-resistant *Myzus persicae* as an example of evolution by gene duplication // *Nature*. - 1979. - Vol. 280, N 5718. - P. 140 - 141.
100. Oppennoorth F.J., van Asperen K. Allelic genes in the housefly producing modified enzymes that cause organophosphate resistance // *Science*. - 1960. - Vol. 132, N 3422. - P. 298 - 299.
101. Grant D.E., Matsumura F. Glutathion S-transferase 1 and 2 in susceptible and insecticide-resistant *Aedes aegypti* // *Pest. Biochem. Physiol.* - 1989. - Vol. 33. - P. 132-143.
102. Ya S.J. Purification and characterization of glutation transferases from five phytofagous lepidoptera // *Ibid.* - 1989. - Vol. 35. - P. 97 - 105.
103. Тыщенко В.П. Основы физиологии насекомых. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. - 303 с.
104. Plapp F.W. Biochemical genetics of insecticide resistance // *Ann. Rev. Entomol.* - 1976. - Vol. 21. - P. 179 - 197.
105. Soderland D.M. Pharmacokinetic behaviour of enantiomeric pyrethroid esters in the cockroach, *Periplaneta americana* L. // *Pest. Biochem. Physiol.* - 1979. - Vol. 12. - P. 28 - 48.
106. Gerolt P. Mode of entry of contact insecticides // *J. Insect Physiol.* - 1969. - Vol. 15. - P. 563 - 580.
107. Gevolt P. Mechanism of resistance to dichlorvos in adult houseflies // *Pest. Biochem. Physiol.* - 1974. - Vol. 4. - P. 275 - 288.
108. Brown T.M., Brown A.W.A. Accumulation and distribution of methoprene in resistant *Culex pipiens pipiens* larvae // *Ent. Exp. Appl.* - 1980. - Vol. 27. - P. 11 - 22.
109. Oppennoorth F.J., van der Pas L.J.T. Cross-resistance of diflubenzuron in resistant strains of house fly, *Musca domestica* // *Ibid.* - 1977. - Vol. 21. - P. 217 - 228.
110. Ifner D.C., Hall F.R., Sturm M.M. // *Pest. Sci.* - 1986. - P. 242 - 249.
111. Evidence for an enhanced metabolism of cypermethrin by a monooxygenase in a pyrethroid-resistant strain of the Tobacco Budworm (*Heliothis virescens* F.) / Little E.J., McCaffery A.R., Walker C.H., Parker T. // *Pest. Biochem. Physiol.* - 1989. - Vol. 34. - P. 58 - 68.
112. Mechanisms of resistance to pyrethroids and 1,1,1-trichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl) ethane in house fly, *Musca domestica* L. / Ahn Y.-J., Shono T., Hido O., Fukami J.-I. // *Ibid.* - 1988. - Vol. 31. - P. 46 - 53.
113. Bull D.L., Pryor N.W. Characteristics of resistance in house flies subjected to long-term concurrent selection with malathion and permethrin // *Ibid.* - 1990. - Vol. 37. - P. 101 - 115.
114. Рославцева С.А. Новые данные о резистентности членистоногих к пестицидам // *Агрохимия*. - 1991. - N 10. - С. 132 - 139.
115. Рославцева С.А. Резистентность вредных и полезных насекомых к инсектицидам // *Агрохимия*. - 1992. - N 8. - С. 146 - 156.
116. Риклефс Р. Основы общей экологии. - М.: Мир, 1979. - 424 с.
117. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - Т. 10. - С. 10 - 21.
118. Альберт Э. Избирательная токсичность. - М.: Мир, 1971. - 431 с.
119. Проблемы избирательности действия инсектицидов и акарицидов и ее значение в защите растений. - Л., 1986. - С. 5 - 80.
120. Сухорученко Г.И., Толстова Ю.С. Современные инсектоакарициды и ресурсы их избирательности для полезных членистоногих // *Энтомолог. обозрение*. - 1981. - Т. 60, N 4. - С. 745 - 753.
121. Заева И.П. Влияние химических обработок на биоценоз пшеничного поля // *Защита зерновых культур от вредных насекомых в районах освоения целинных степей: Тр. ВЭО*. - 1965. - Т. 50. - С. 228 - 239.
122. Знаменский В.С. Влияние инсектицидов на фауну насекомых дубрав // *Защита леса от вредителей и болезней: Сб. тр. ВНИИЛМ*. - 1973. - С. 16 - 28.

123. Старк В.Н. Влияние сплошных химических обработок на динамику фауны лесных насаждений // Зоол. журн. - 1954. - Т. 33, вып. 5. - С. 983 - 992.
124. Титова Р.П. Влияние гранулированного 2% гамма-изомера ГХЦГ на полевую зоофауна в Присибской лесостепи // Бюл. ВИЗР. - 1971. - N 18. - С. 65 - 70.
125. Тинилер В. Сельскохозяйственная экология. - М.: Колос, 1971. - 455 с.
126. Шадитов Ю.М. Влияние химических методов борьбы с переносчиками вируса клещевого энцефалита на животных южной тайги // Ядохимикаты и фауна. - М.: Наука, 1967. - С. 61 - 72.
127. Коломиец Н.Г. Фитоценоотические закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда в Западной Сибири // I междувузовская конференция по защите леса. Ч.2. - М., 1958.
128. Справочная книга по ветеринарной токсикологии пестицидов. - М.: Колос, 1976. - 272 с.
129. Верецагин Б.В., Плугарь С.Г. О влиянии на энтомофауну сплошной химической обработки лесов Молдавии // Изв. Молд. филиала АН СССР. - 1960. N 7. - С. 55 - 70.
130. Мальшева М.С. Влияние авиаопыливания на численность сосновой пяденицы и ее паразитов // Труды ВИЗР. - 1960. - Вып. 15. - С. 41 - 56.
131. Тропин И.В. Пути сохранения энтомофагов при химической борьбе с вредителями леса // Исследования по биометоду борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства. - Новосибирск, 1964. - С. 195 - 198.
132. Распопов П.М. К вопросу о последствиях применения инсектицидов при борьбе с хвое- и листогрызущими насекомыми в лесах // Тр. Ин-та экологии растений и животных. - 1970. - Вып. 67. - С. 301 - 311.
133. Викторов Г.А. Влияние инсектицидов на биоценологические отношения насекомых // Зоол. журн. - 1956. - Т. 3, N 10. - С. 1441 - 1449.
134. Оптимизация технологии применения инсектицидных аэрозолей. - Новосибирск, 1983. - С. 32 - 112.
135. Рукавишников Б.И. Сочетание химического метода борьбы с вредителями с сохранением полезных насекомых. Сельское хозяйство за рубежом // Растениеводство. - 1960. - N 2. - С. 41 - 48.
136. Рукавишников Б.И. Сверхмалообъемное опрыскивание инсектицидами // Итоги науки и техники. Сер. Защита растений. - М.: ВИНТИ, 1972. - Т. 1. - С. 195 - 285.
137. Рукавишников Б.И. Основные направления и элементы интегрированных систем защиты растений от вредных членистоногих // Итоги науки и техники. Сер. Энтомология. - М.: ВИНТИ, - 1973. - Т. 2, ч. 1. - С. 10 - 123.
138. Шарф С.С. Популяционная структура вида // Зоол. журн. - 1967. - Т. 46, вып. 10. - С. 1456 - 1469.
139. Безель В.С. Популяционная экотоксикология млекопитающих. - М.: Наука, 1987. - 129 с.
140. Денисова А.В., Воронова Л.Д., Шилова С.Л. Оценка опасности инсектицида севина для диких животных наземных экосистем различных природных зон // Влияние пестицидов на диких животных наземных и водных экосистем. - М., 1977. - С. 27 - 57.
141. Воронова Л.Д., Пушкарь И.Г. Влияние пестицидов на фауну. - М., 1968. - 51 с.
142. Пиментал Д. Мероприятия по борьбе с вредителями и их воздействие на окружающую среду // Химия и обеспечение человечества пищей. - М.: Мир, 1986. - С. 171 - 191.
143. Спыну Е.И. О новом критерии оценки загрязнения и нормирование пестицидов в окружающей среде // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. - Л., 1985. - С. 203 - 206.

144. Аэрозольные обработки сельскохозяйственных культур против вредителей с применением генератора регулируемой дисперсности: рекомендации. - Новосибирск, 1987. - 44 с.
145. Борнек Р., Мерл Б. Попытка определения экономического значения пчелы, как опылителя сельскохозяйственных культур в Европе // Апиакта. - 1989. - Т. 24, N 2. - С. 33 - 39.
146. Бороздников Н.М. Воспроизводство биосферы под угрозой // Пчеловодство. - 1988. - N 8. - С. 2 - 3.
147. Пчелы и урожай // Там же. - 1993. - N 2. - С. 16 - 17.
148. Lguveaux J. // Bull. techn. apic. - 1987. - Vol. 14, N 1. - P. 25 - 36.
149. Szklanowska K., Dabska B. // Pszczel. zesz. nauk. / ODD. Pszczel. Pulawach. Inst. Sad. i Kwiac. - 1991. - Vol. 35. - P. 97 - 102.
150. 19 Int. Congr. Entomol., Beijing, June 28 - July 4, 1992: Prac. Abstr. - Bijing, 1992. - P. 249 - 252.
151. Куренной Н.М. // Науч. тр. Ставрополь. СХИ. - 1971. - Вып. 34. - С. 47.
152. Wientarska J. // Fruit Sci. Repta. - 1987. - Vol. 14, N 12.
153. Земляные пчелы-опылители люцерны Новосибирской и Омской области: Метод. рекомендации / Сост. Гребенников В.С. - Новосибирск, 1983. - 11 с.
154. Нарметова А.Т., Иванов С.А. // Тр. УзНИИ животноводства. - 1987. - N 44. - С. 64 - 69.
155. Никифорова Н.В. Экология опыления цветков. - Пермь, 1989. - С. 119 - 122.
156. Shoumig Qu, Xiaorui Pali, Zengshui Yu. // 19 Int. Congr. Entomol., Beijing, June 28 - July 4, 1992: Proc.: Abstr. - Beijing, 1992. - P. 252.
157. Johansen C.A. Pesticide and pollinators // Ann. Rev. Entomol. - 1977. - N 22. - P. 177 - 192.
158. Истратов И.Ф. Хімічний захист рослин і охорона бджіл // Бджільництво. - Киев: Урожай, 1975. - Вып. 11. - С. 84.
159. Назаров С.С. Охрана пчел от отравления ядохимикатами. - М.: Россельхозиздат, 1963. - С. 31 - 40.
160. Рославцева С.А. Пчелы и пестициды // Агрохимия. - 1983. - N 7. - С. 122-132.
161. Чой С.И. Отравление пчел пестицидами в Южной Корее // Апиакта. - 1987. - Т. 21, N 4. - С. 97 - 101.
162. Mortalita di api in rapporto all uso di antiparassitare in vigneti e meteli / Bolchi S.G. et al. // Apicoltura. - 1985. - N 1. - P. 75 - 91.
163. Moore P.D. Pesticides and pollination // Nature. - 1986. - Vol. 321, N 6071. - P. 654.
164. Oomen P.A. A sequential scheme for evaluating the hazard of pesticides to bees *Apis mellifera* // Meded. Fac. Landbouwetensch. Rijksunivers. - Gent., 1986. - 51, V3 - 13. dell 4. - P. 1205 - 1213.
165. Tomaszewska Barbara. Zatrucia pszczol w wyniku stosowania pestycydow // Pszczelarstwo. - 1992. - Vol. 43, N 4. - P. 7 - 8.
166. Буренин Н.Л., Котова Г.Н. Справочник по пчеловодству. - М.: Колос, 1977. - 386 с.
167. Johansen C.A. What is Bee Poisoning? // Gleanings in Bee Culture. - 1978. - P. 1.
168. Назаров С.С. Токсичность для пчел ДДТ, применяемого в форме аэрозоля // Пчеловодство. - 1961. - N 5. - С. 41 - 42.
169. Штехер С.Г., Долотовская У.А. // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству. - Рыбное, 1975. - С. 138.
170. Byrdy S., Migula P., Hurny J. Интоксикация медоносной пчелы пиретроидами // Mater. 27 Ses. nauk. Inst. ochr. rost. - Poznan, 1987. - Cz. 1. - P. 257 - 268.
171. Protecting honey bees from pesticides / Atkins E.L., Anderson L.D., Reilum D., Ntuman W. // Division of Agricultural Sci. University of California, sept. - 1977. Leaflet 22883.

172. Еремина О.Ю. О токсичности пиретроидов для полезных членистоногих // *Агрехимия*. - 1984. - N 1. - С. 129 - 137.
173. Илларионов А.И. Токсическое действие некоторых инсектицидов на медоносную пчелу // *Агрехимия*. - 1991. - N 8. - С. 121 - 125.
174. Илларионов А.И. Токсическая активность фосфорорганических инсектицидов для медоносной пчелы в зависимости от строения соединений // Там же. - 1992. - N 7. - С. 133 - 137.
175. Назаров С.С. К вопросу о попадании пестицидов в гнездо медоносных пчел и загрязнение ими продуктов пчеловодства // Тезисы докладов научно-методического совещания по проблеме "Токсикологические исследования средств защиты растений и их применение с учетом сохранения сельскохозяйственных животных и полезных природных организмов" (СЭВ). - Л., 1970.
176. Etude du comportement des abeilles suite a es applications de KARATE sur ceredes et colza / Montury A. et al. // *Def. veg.* - 1987. - Vol. 41, N 243/244. - P. 51 - 58.
177. Smith T.M., Stratton G.W. Effects of synthetic pyrethroid insecticides on nontarget organisms // *Residue Rev.* - 1986. - Vol. 97. - P. 93 - 120.
178. Henrich V. *Bumblebee economics*. - Cambridge Mass, London: Harvard Univ. Press, 1979. - P. 248.
179. Wilkinson W., Gough H.I., Cjllins I.G. // *Brit. Crop. Prot. Conf.: Pests and Diseases* // Proc. Conf. Brighton, Nov. 17 - 20, 1986. - Thorton Heath, 1986. - Vol. 3. - P. 1085 - 1092.
180. Ragsdale N.N., Kuhr J. Pesticides minimizing the risks edby // *ACS Symposium Series*. - 1987. - Vol. 336. - P. 183.
181. Соловьева Л.Ф., Годяцкий С.Я. Токсичность пестицидов для пчел // *Пчеловодство*. - 1993. - N 2. - С. 19 - 22.
182. Махновский И.К., Гузеев Г.Ф. Применение аэрозолей в борьбе с яблоневой и плодовой молями в горных лесоплодовых насаждениях Средней Азии. - Ташкент, 1962. - 62 с.
183. Применение аэрозолей для борьбы с вредными насекомыми / Ред. Куценогий К.П. - Новосибирск: Наука, 1978. - 150 с.
184. Coron D.M. Effects of some ULV Mosquito abatement insecticides on Honey Bees // *J. Econ. Entomol.* - 1979. - N 1. - P. 148 - 157.
185. Streszczenia referatowz Kongresu w Moskwie // *Pszczelars-two*. - 1972. - Vol. 23, N 4. - P. 17 - 18.
186. Куценогий К.П. Теоретические основы оптимизации технологии применения инсектицидных аэрозолей // *Химия в сел. хоз-ве*. - 1981. - Т. 19. - N 10. - С. 12 - 18.
187. Оптимальная аэрозольная технология применения пестицидов. - Новосибирск, 1989. - 116 с.
188. Куценогий К.П. Оптимальная аэрозольная технология применения инсектицидов. Итоги и перспективы // *Оптимальная аэрозольная технология применения пестицидов*. - Новосибирск, 1989. - С. 3 - 21.
189. Дочкова Б. Люцернова листорезаща пчела *Megachille rotundata* (Hymenoptera, Megachilidae). У Токсично действие на някон инсектициди // *Растениевед. науки*. - 1982. - Vol. 19, N 4. - P. 92 - 98.
190. Evaluation de la Somicidin sur l'abeille domestique (*Apis mellifera*) et l'abeille solitaire (*Megachille rotundata*) en activite sur colza et lucerne en fleurs / Debray Ph., Leblanc J., Tassel J. Onnilon. // *Collog. INRA*. - 1984. - N 21. - P. 1163 -1168.
191. Johansen C.A. Behavior of pollinators following insecticide exposure // *Amer. Bee J.* - 1984. - Vol. 124, N 3. - P. 225 - 227.
192. Parker F.D. Effect of fungicide treatments on incidence of chalkbrood disease in nests of the alfalfabee (Hymenoptera: Megachilidae) // *J. Econ. Entomol.* - 1984. - Vol. 77. - N 1. - P. 113 - 117.

193. Torchio Ph. The effects of field applications of naled and Trichlorfon on the alfalfa leafcutting bee, *Megachila rotundata* // *J. Kans. Entomol. Soc.* - 1983. - Vol. 56, N 1. - P. 62 - 68.
194. Recherche de la DL50 de la deltaméthrine (decis) chez *Megachile rotundata* abeille pollinisatrice de la luzerne (*Medicago sativa*) et des effets de doses infralethales sur les larves / Tasel J., Carre S., Moscatelli B., Grondeau C. // *Apidologie*. - 1988. - Vol. 19, N 3. - P. 291 - 305.
195. Tasel J., Carre S. Effets du traitement de luzerne en fleurs (*Medicago sativa*) avec la deltaméthrine et de la phosalone sur l'abeille solitaire: *Megachila rotundata* (Hym.; Megachilidae) // *Acta oecol. Oecol. appl.* - 1985. - Vol. 6, N 2. - P. 165 - 173.
196. Tasel J. The effect of deltamethrin on the solitary bee (*Megachile rotundata*) demonstrated by a field test // *Pestic. Sci.* - 1985. - Vol. 16, N 2. - P. 207 - 209.
197. Гребенников В.С. Шмели-опылители клевера. - М.: Россельхозиздат, 1984. - 62 с.
198. Илларионов А.И. Чувствительность опылителей (*Apis mellifera* и *Bombus terrestris*) к некоторым инсектицидам // Тез. докл. IX съезда Всесоюз. энтомол. о-ва, Киев, 2-5 окт. 1984 г. 4.1. - Киев, 1984. - С. 198 - 199.
199. Илларионов А.И. Токсикологическое обоснование защиты насекомых - опылителей *Apis mellifera* и *Bombus terrestris* при применении некоторых фосфорорганических инсектицидов // Приемы регуляции численности вредных организмов на посевах и посадках сельскохозяйственных культур в ЦЧЗ. - Воронеж: ВСХИ, 1986. - С. 88 - 98.
200. Plowright R.C., Pendril B.A., Mc Laren I.A. The impact of acrial fenitrothio spraying upon the population biology of bumble-bees (*Bombus Latr.*: Hymenoptera) in south-western New Brunswick // *Canad. Entomol.* - 1978. - Vol. 110, N 11. - P. 11455 - 1156.
201. Plowright R.C. Rodd F.H. The effects of acrial insecticide spraying on hymenopterous pollinators in New Brunswick // *Ibid.* - 1980. - Vol. 112, N 3. - P. 259 - 269.
202. Cunat P. Plaguicidas no contaminates // *Rev. agroquim y tecnol. alim.* - 1984. - Vol. 24, N 3. - P. 289 - 299.
203. Rieth I.P., Wilson W.T., Levin M.D. Repelling honeybees from insecticide-treated flowers with 2-hep tanon // *J. Apicult. Bees.* - 1986. - Vol. 25, N 2. - P. 78 - 84.
204. Тарасенко Н.Д., Сарычева З.Н. Значение энтомофагии для семеноводства кормовых бобовых: Препринт. - Новосибирск, 1987. - 26 с.
205. Толстова Ю.С., Атянов Н.М. Действие химических средств защиты растений на фауну членистоногих плодового сада. 1: Долговременное воздействие пестицидов на агроценоз // *Энтомол. обозрение*. - 1982. - Т. 61, N 3. - С. 441 - 453.
206. Толстова Ю.С. Инсектоакарициды в агроценозах плодового сада // *Агроэкологические аспекты защиты растений*. - Л., 1984. - С. 42 - 49.
207. Толстова Ю.С., Атянов Н.М. Действие химических средств защиты растений на фауну членистоногих плодового сада. 2: Непосредственное воздействие инсектоакарицидов на агроценоз // *Энтомол. обозрение*. - 1985. - Т. 64, N 2. - С. 243 - 253.
208. Толстова Ю.С. Пестициды как фактор воздействия на фауну членистоногих многолетних плодовых насаждений // Докл. на 40 ежегодн. чтении памяти Н.А. Холодковского, 2 апреля 1987. - Л.: Наука, 1988. - С. 41 - 62.
209. Уатт К. Экология и управление природными ресурсами. - М.: Мир, 1971. - 463 с.
210. Мельников Н.Н. Основные современные тенденции развития производства и применения химических средств защиты растений и регуляторов роста растений // *Журн. Всесоюз. хим. о-ва*. - 1988. - Т. 33, N 6. - С. 602 - 613.
211. Mantinger H. Vigil J. // *Frutta e vite*. - 1987. - Vol. 12, N 2. - P. 650 - 651.
212. Roach S.H., Hopkins A.R. // *J. Entomol.* - 1981. - Vol. 74, N 4. - P. 454 - 457.
213. Сухорученко Г.И., Курдюков В.В., Выкар Е.В. Влияние инсектицидов на энтомоценоз хлопкового поля // *Бюл. ВИЗР*. - 1987. - N 67. - С. 19 - 22.

214. Кнор И.Б., Алексеев А.А., Киров Е.И. Изучение последствий инсектицидных аэрозольных обработок для членистоногих-хортобионтов приколочных целинных участков юга Западной Сибири: Отчет о НИР. - Новосибирск, 1989. - 64 с. - Инв. N 0289.0066584 во ВНИИЦентре.
215. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. - Л.: Гидрометеонадат, 1986. - Т. 9. - С. 210 - 213.
216. Корзунин М.Д., Семевский Ф.Н. Синэкология леса. - СПб.: Гидрометеонадат, 1992. - 192 с.
217. Юнусов М.К. Оптимальное управление в биосистеме "хищник - жертва" // Изв. АН ТаджССР. Отд. физ.-мат. и г.-х. наук. - 1981. - N 2. - С. 33 - 37.
218. Кривохатский В.А. Об оптимальном соотношении плотности хищников и их жертв в сообществах членистоногих животных в норах большой песчанки // Вестн. ЛГУ. Сер. 3. - 1987. - Вып. 1. - N 3. - С. 95 - 98.
219. Kuhnner Christian // Mitt. Bid. Bundesanst Land - und Forstwirt. - Berlin - Dahlem, 1986. - N 232.
220. Naugle Kenneth F. // Ann. Rev. Entomol. - 1988. - Vol. 33. - P. 148 - 168.
221. Яцинин В.Г. Феромоны в борьбе с насекомыми // Защита растений. - 1989. - N 1. - С. 60 - 63.
222. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. - Л.: ГИМИЗ, 1979. - 375 с.; 2-е изд. - М.: ГИМИЗ, 1984. - 560 с.
223. Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. - Л.: ГИМИЗ. - Т. 1, 1978; Т. 2, 1979; Т. 3, 1980; Т. 4, 1981; Т. 5, 1982; Т. 6, 1983; Т. 7, 1985; Т. 8, 1985; Т. 9, 1986; Т. 10, 1987; Т. 11, 1988; Т. 12, 1989.
224. Быков А.В., Рапута В.Ф. Численная модель оптимизации использования пестицидных аэрозолей методом волны. - Новосибирск, 1986. - 13 с. (Препринт N 710, ВЦ СО РАН).
225. Численные модели в задачах физики атмосферы и охраны окружающей среды. - Новосибирск, 1987. - С. 13 - 21.
226. Винкентерн О.Ф., Рапута В.Ф. Численные эксперименты по оценке влияния лесополосы на оптимальные параметры аэрозольных обработок // Численное моделирование для задач динамики атмосферы и охраны окружающей среды. - Новосибирск, 1989. - С. 39 - 47.
227. Крылова А.И., Рапута В.Ф. Обратная задача восстановления плотности осадка препарата при аэрозольных обработках сельскохозяйственных культур. - Новосибирск, 1993. - 18 с. (Препринт N 995, ВЦ СО РАН).
228. Bache D.H., Lawson T.J., Uk.S. Development of criterion for defining spray drift // Atmosph. Environ. - 1988. - Vol. 22, N 1. - P. 131 - 136.
229. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. - Л.: ГИМИЗ, 1975. - 448 с.
230. Johnston D.R., Cooper J.F., Dobson H.M. The availability and fall-out of an insecticid aerosol dispersed from aircraft during operations for control of tsetse fly in Zimbabwe // Atmosph. Environ. - 1987. - Vol. 21, N 1. - P. 2311 - 2322.
231. Hashem A., Pazkin C.S. A simplified heavy particle random-walk model for the prediction of drift from agricultural sprays // Ibid. - 1991. - Vol. 25A, N 8. - P. 1609- 1614.
232. Пененко В.В., Алюян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. - Новосибирск: Наука, 1985. - 256 с.
233. Underwood B.Y. Deposition velocity and the collision model of atmospheric dispersion. - I. Framework and application to cases with constant turbulent velocity scale // Atmosph. Environ. - 1991. - Vol. 25a, N 12. - P. 2749 - 2760.
234. Underwood B.Y. Deposition velocity and collision model of atmospheric dispersion. - II. Extension to cases with variant turbulent velocity scale // Ibid. - 1991. - Vol. 25A, N 12. - P. 2761 - 2770.
235. Куценогий К.П., Кискин А.Б., Анкилов А.Н. Влияние метеорологических

условий, высоты источника и полидисперсности частиц на эффективность применения инсектицидных аэрозолей в борьбе с летающими насекомыми // Изв. СО АН СССР. - 1980. - Вып. 3. - С. 42 - 49.

236. Сабельфельд К.К. Методы Монте-Карло в краевых задачах. - Новосибирск: Наука, 1989. - 280 с.

237. Анкилов А.Н., Кузеногий К.П., Кискин А.Б. Моделирование распространения аэрозолей в растительности методом Монте-Карло // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. - 1982. - Т. 18, N 1. - С. 52 - 58.

238. The primary and secondary air drifts of pesticides in optimum aerosol technology, aëric and ground spraying / Samsonov Y., Makarov V., Koutsenogit K. etc. // Proc. Intern. Aerosol Symposium. Technolgies. March 21 - 25. 1994. - Moscow, 1994. - P. 37 - 41.

239. Majewski M.S., Gloifely D.E., Seiber J.N. A comparison of aerodynamic and the theoretical-profile-shape methods for measuring pesticide evaporation from soil // Atmosph. Environ. - 1989. - Vol. 23, N 5. - P. 929 - 938.

240. Nicholson K.W. A review of particle resuspension // Ibid. - 1988. - Vol. 22, N 12. - P. 2639 - 2651.

241. Ждамиров Г.Г., Ланина Н.Ф. Испарение пестицидов с растений (обзор) // Тр. ИЭМ. - 1983. - Вып. 11 (97). - С. 27 - 38.

242. Ланина Н.Ф., Ждамиров Г.Г., Латип А.Г. Испарение пестицидов как фактор аэрозольного загрязнения растений // Тр. ИЭМ. - 1980. - Вып. 10 (86). - С. 85 - 89.

243. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Филиппова Л.М. и др. Экологический подход к оценке состояния и регулирования качества окружающей природной среды // Всесторонний анализ окружающей среды: Тр. III Сов.-амер. симп. - Л.: ГИМИЗ, 1978. - С. 101 - 130.

244. Бобовникова Ц.И. Влияние глобальных выпадений на загрязнения реки малого водосбора хлорорганическими пестицидами // Тр. ИЭМ. - 1983. - Вып. 11 (97). - С. 39 - 44.

245. Мониторинг состояния озера Байкал / Ред. Израэль Ю.А., Анохин Ю.А. - Л.: ГИМИЗ, 1991. - 261 с.

246. Анохин Ю.А., Острогомилский А.Х., Салиев А.В. Атмосферный перенос загрязнений в региональном масштабе // Тр. ИПГ. - 1978. - Вып. 39. - С. 69 - 75.

247. Гальперин М.В. Модель для расчета дальнего трансграничного переноса соединений серы в атмосфере (выпадения и концентрация) // Сб. науч. тр. ИПГ. - 1988. - Вып. 71. - С. 8 - 14.

248. Израэль Ю.А. Кислотные дожди. - Л.: ГИМИЗ, 1983. - 206 с.

249. Giorgi F. A particle dry-deposition parametrization scheme for use in the trace transport models // J. Geoph. Res. - 1986. - Vol. D91, N 9. - P. 9794 - 9806.

250. Sievering H. Small particles dry deposition on natural waters: How large the uncertainty? // Atmosph. Environ. - 1984. - Vol. 18. - P. 2271 - 2272.

251. Carmichael G.R., Pater L., Kitaba T. The second generation model for regional-scale transport /chemistry/ deposition // Ibid. - 1986. - Vol. 20, N 1. - P. 173-188.

252. Etling D., Prens J., Wamser M. Application of a random walk model to turbulent diffusion in complex terrain // Ibid. - 1986. - Vol. 20. - N 4. - P. 741 - 748.

253. Lin M.K., Greenfield S.M. Experiences in evaluating regional air quality models // Ibid. - 1986. - Vol. 20, N 4. - P. 749 - 756.

254. Venkram A. Statistical long-range transport models // Ibid. - 1986. - Vol. 20, N 7. - P. 1317 - 1326.

255. Fisher E.A., Smith R. Expanding box models for long-range transport of chemically reacting airborne material // Ibid. - 1987. - Vol. 21, N 1. - P. 195 - 200.

256. Barr S., Gifford F.A. The random force theory applied to regional scale tropospheric diffusion // Ibid. - 1987. - Vol. 21, N 8. - P. 1737 - 1742.

257. Voldner E.C., Schroeder W.H. Modeling of atmospheric transport and deposition of toxaphene into the Great Lake ecosystem // Ibid. - 1989. - Vol. 23, N 9. - P. 1949-1962.

258. Altwine K.J., Whiteman C.D. Ventilation of pollutants trapped in valleys a simple parameterisation for region-scale dispersion models // *Atmosph. Environ.* - 1988. - Vol. 22, N 9. - P. 1839 - 1846.
259. Me Nider R.T., Moran M. D., Pielke R.A. Influence of diurnal and inertial boundary layer oscillations on long-range dispersion // *Ibid.* - 1988. - Vol. 22, N 11. - P. 2445 - 2462.
260. Evaluation of eight short-term long-range transport models using field data / Carhart R.A., Policastro A.J., Wastag M., Coke L. // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 1. - P. 85 - 106.
261. Modelling of long-range transport of trace elements. A case study / Pacyna J.M., Bartonova A., Cornille P., Maenhaut W. // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 1. - P. 107 - 116.
262. Small M.J., Samson P.J. Stochastic simulation of meteorological variability for long-range atmospheric transport. - I. Dynamic Lagrangian models // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 12. - P. 2813 - 2824.
263. Stochastic simulation of meteorological variability for long-range atmospheric transport. - II. Long-term statistical models / Small M.J., Bloyd C., Keeler G., Marriello R.J. // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 12. - P. 2825 - 2840.
264. Carmichael G. R., Peters L. K. An Eulerian transport / transformation / removal model for SO₂ and sulfate. - I. Model development // *Ibid.* - 1984. - Vol. 18, N 5. - P. 937 - 952.
265. Carmichael G.R., Peters L.K. An Eulerian transport / transformation / removal model for SO₂ and sulfate. - II. Model Calculation of SO₂ transport in the eastern United States // *Ibid.* - 1984. - Vol. 18, N 5. - P. 953 - 968.
266. A long-range air pollution transport model for eastern North America. - I. Sulfur oxides / Endlich R.M., Nitz K.C., Brodzinsky B., Bhunraiker C.M. // *Ibid.* - 1984. - Vol. 18, N 11. - P. 2345 - 2360.
267. A long-range air transport model for North America. - II. Nitrogen oxides / Brodzinsky R., Cantrell B.K., Endlich R.M., Bhunzelkar C.M. // *Ibid.* - 1984. - Vol. 18, N 11. - P. 2361 - 2366.
268. Levkov L., Eppel D.P., Grassl H. Modelling the atmospheric transport of trace metals including the role of precipitating clouds // *Ibid.* - 1991. - Vol. 25A, N 3/4. - P. 779 - 790.
269. Carmichael G.R., Peters L.K., Saylor R.D. The STEM-II regional scale acid deposition and photochemical oxidant model. - I. An overview of model development and applications // *Ibid.* - 1991. - Vol. 25A, N 10. - P. 2077 - 2090.
270. Saylor R.D., Peters L.K., Mathur R. The STEM-II regional-scale acid deposition and photochemical oxidant model. - III. A study of mesoscale acid deposition in the lower Ohio River Valley // *Ibid.* - 1991. - Vol. 25A, N 12. - P. 2873 - 2894.
271. Rehkopf J., Newiger M., Grassl H. A 2-D model of global aerosol transport // *Ibid.* - 1984. - Vol. 18, N 12. - P. 2745 - 2752.
272. Tropospheric relative diffusion to hemispheric scales / Gifford F.A., Barr S., Malone R.C., Mroz E.J. // *Ibid.* - 1988. - Vol. 22, N 9. - P. 1871 - 1880.
273. The Chernobyl accident: modeling of dispersion over Europe of the radioactive plume and comparison with air activity measurement / Albergel A., Martin D., Strauss B., Gross J.M. // *Ibid.* - 1988. - Vol. 22, N 11. - P. 2431 - 2444.
274. A global three-dimensional source-receptor model investigation using Kr-85 / Zimmermann P.H., Feichter J., Rath H.K. et al. // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 1. - P. 25-36.
275. Hough A.M. The development of two-dimensional global tropospheric model. - I. The model transport // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 6. - P. 1235 - 1262.
276. Raatz W.E. An anticyclonic point of view on low-level tropospheric long-range transport // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 11. - P. 2501 - 2504.
277. Iversen T. Numerical modelling of the long range atmospheric transport of sulphur dioxide and particulate sulphate to the Arctic // *Ibid.* - 1989. - Vol. 23, N 11. - P. 2571 - 2596.

278. Three-dimensional modelling of the global atmospheric sulfur cycle: a first step / Erickson D.J., Walton J.J., Ghan S.J., Penner J.E. // *Ibid.* - 1991. - Vol. 25A, N 11. - P. 2513 - 2520.
279. Последствия ядерной войны. Физические и атмосферные эффекты. - М.: Мир, 1988. - 391 с.
280. Последствия ядерной войны. Воздействие на экологию и сельское хозяйство. - М.: Мир, 1988. - 551 с.
281. Моисеев И.Н. Комментарии к работе В.А. Костицина // Эволюция атмосферы, биосферы и климата, - М.: Наука, 1984. - С. 46 - 49.
282. Woodwell G., Graig P.P., Johnson H.A. DDT in Biosphere: Where does it go? // *Sci.* - 1971. - Vol. 174, N 4014. - P. 1101.
283. Cramer J. Model of the circulation of DDT on earth // *Atmosp. Envir.* - 1973. - Vol. 7, N 3. - P. 241 - 256.
284. Stanley C.W. Measurement of level pesticides in atmosphere // *Envir., Sci. and Technol.* - 1971. - Vol. 5. - P. 5.
285. Risebrough R.W. Pesticides transatlantic movements in the northeast trades // *Sci.* - 1972. - Vol. 6. - P. 363 - 364.
286. Коропалов В.М., Нозаров И.М. Региональный перенос пестицидов в Ферганской долине // Тр. ИПГ. - М.: Гидрометеонадат, 1979. - Вып. 39. - С. 76 - 85.
287. Spencer W.F., Farmer W.J., Cleath M.M. Pesticide volatilization // *Residue Rev.* - 1973. - Vol. 49. - P. 1 - 49.
288. Spencer W.F. Movement of DDT and its derivatives into the atmosphere // *Residues Rev.* - 1975. - Vol. 59. - P. 91 - 117.
289. Miller L.L., Narang R.S., Nordblom C.D. Sensitized photolyses of DDT and decyl bromide // *J. Organic Chem.* - 1973. - Vol. 38, N 2. - P. 384.
290. Ivie G.W., Casida J.E. Photosensitizers for accelerated degradation of chlorinated cyclohexenes and other insecticides chemicals exposed to sunlight on bean leaves // *J. Agr. Food Chem.* - 1971. - Vol. 19. - P. 410 - 416.
291. Ivie G.W., Casida J.E. Sensitized photodecomposition and photosensitizer activity of pesticide chemicals to sunlight on silica gel chromatography plates // *Ibid.* - 1971. - Vol. 19. - P. 405.
292. Макаров В.И., Анкилов А.Н., Куценогий К.П. Моделирование глобального уровня загрязнения окружающей среды при различных способах применения ядохимикатов: Препринт 5 / ИККГ СО РАН. - Новосибирск, 1980. - 18 с.
293. Аэрозоли и их применение. - М.: Изд-во Мин-ва сел. хоз-ва СССР, 1959. - 165 с.
294. Maksymink B. Spray deposit on oil-sensitive cards and spruce budworm mortality // *J. Econ. Ent.* - 1963. - Vol. 56. - P. 465 - 467.
295. Применение аэрозолей в сельском хозяйстве. - М.: ИЛ, 1955. - С. 135 - 146.
296. Cutkomp L.K., Hessand A.D. Factors, influencing spray and therm aerosol application by airplane // *J. Econ. Entomol.* - 1956. - Vol. 43, N 4. - P. 456 - 462.
297. Эффективность применения аэрозольного генератора МАГ / Берденникова С.П., Жирнова Н.Н., Новиков С.И. и др. // Защита растений. - 1964. - N 11. - С. 28.
298. Берденникова С.П., Жирнова Н.Н., Ковальский А.А. Эффективность высокодисперсных инсектицидных аэрозолей // Химия в сел. хоз-ве. - 1964. - Т. 4, N 6. - С. 14 - 17.
299. Киров Е.И. Исследование воздействия инсектицидных аэрозолей на лесных насекомых: Автореф. дис. ... канд. биол. наук / ИЛИД СО АН СССР. - Красноярск, 1980. - 25 с.
300. Применение аэрозолей для борьбы с вредными насекомыми / Ковальский А.А., Куценогий К.П., Сахаров В.М. и др. - Новосибирск: Наука, 1978. - 148 с.
301. Ковальский А.А., Куценогий К.П. Физико-химические основы приме-

нения высокодисперсных аэрозолей для борьбы с вредными насекомыми // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. - 1970. - N 4, вып. 2. - С. 3 - 12.

302. Куценский К.П. Изучение физико-химических характеристик мощного аэрозольного облака: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ИХКИГ СО АН СССР. - Новосибирск, 1970. - 19 с.

303. Изучение физико-химических характеристик мощной аэрозольной волны / Куцелый К.П., Махаров В.И., Чанкин Ю.Ф. и др. // Тр. ИЭМ. - 1972. - Вып. 27. - С. 97.

304. The effect of particle size and velocity of movement of DDT aerosol in wind tunnel on mortality of mosquitoes / Laifa R., Anderson L.D., Rogers E.E. et al. // J. Wash. Acad. Sci. - 1947. - Vol. 37, N 11. - P. 397 - 407.

305. Influence of particle size of homogeneous insecticidal aerosols on the mortality of mosquitoes in confined atmosphere / La Mer V.K., Hochberg S., Hodges K. et al. // J. Coll. Sci. - 1947. - Vol. 2. - P. 539 - 549.

306. Johnston H.T., Winsche W.E., Smith L.W. The dispersion and deposition of aerosols // Chem. Rev. - 1949. - N 44. - P. 353 - 371.

307. Куцелый К.П., Кискин А.Б., Анкилов А.И. Вопросы оптимизации аэрозольной технологии применения инсектицидов при борьбе с летающими насекомыми // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. - 1980. - Вып. 2. - С. 68 - 78.

308. Jarman R.T. The deposition of airborne droplets on dead house flies (*Musca Domestica*) // Bull. Ent. Res. - 1959. - Vol. 59.

309. Mac Gieig R.D. The collection of spray droplets by flying locusts // Bull. Ent. Res. - 1962. - Vol. 53, part 1. - P. 111 - 123.

310. Weidhaas D.E., Bowman M.C., Mount G.A. Relationship of minimum lethal dose to the optimum size of droplets of insecticides for mosquito control // Mosq. News. - 1970. - Vol. 30, N 2.

311. Lofgren C.S. Ultra-low volume applications of concentrated insecticides in medical and veterinary entomology // Ann. Rev. Entom. - 1970. - Vol. 15.

312. Mulhern T.D. The outlook for low volume insecticidal applications in California mosquito control // Proc. and pap. 37th Ann. Conf. Calif. Mosquito Cont. Ass. - Visalia, 1970. - P. 151 - 153.

313. A new ultra-low volume cold aerosol nozzle for dispersal of insecticides against adult mosquitoes / Mount G.A., Pierce N.W., Lofgren C.S. et al. // Mosquito News. - 1970. - Vol. 30, N 1. - P. 56 - 59.

314. Mc Donald J.L., Zimmerman E.E. Comparison of the various forms of insecticides for adult mosquito control in residential Taipei, Taiwan, April-September 1971 // Ibid. - 1973. - Vol. 33, N 3. - P. 455 - 461.

315. Martin Evans. Tropical urban fly control by thermal fogging // Int. Pest. Control. - 1973. - Vol. 15, N 4.

316. Davies M. Evaluation of synthetic pyrethroids through a thermal fogger for control of house flies // Ibid. - 1974. - Vol. 16, N 4. - P. 4 - 11.

317. Наземное применение сверхмелкодисперсных аэрозолей как средство борьбы с *Aedes aegypti* / Пант К., Маунт Г., Джаганансен С. и др. // Бюл. ВОЗ. - 1972. - Т. 45, N 6. - С. 821 - 833.

318. Stains G.S., Fussel E.M., Keathley J.P. Cadeg insect kills of up two miles utilizing a new low-volume aerosol generator // Mosquito News. - 1969. - Vol. 29, N 4. - P. 495 - 504.

319. Mount G.A., Pierce N.W. Adult mosquito kill and droplet size of ultralow volume ground aerosol of insecticides // Ibid. - 1968. - Vol. 28, N 1. - P. 99 - 103.

320. Ultra-low volume nonthermal aerosols malathion and naled for adult mosquito control / Mount G.A., Lofgren C.S., Pierce N.W. et al. // Ibid. - 1972. - Vol. 32, N 3. - P. 354 - 357.

321. Mount G.A. Optimum droplet size for adult mosquito control with space sprays of aerosols of insecticides // *Mosquito News*. - 1970. - Vol. 30, N 1. - P. 70 - 75.
322. Ultra-low-volume ground aerosols of insecticides for control of rice field mosquitoes in Arkansas / Mount G.A., Meisch M.V., Lee J.T. et al. // *Ibid.* - 1972. - Vol. 32, N 3. - P. 444 - 446.
323. Rathburn C.B., Boike A.H. Laboratory thermal aerosol tests of new insecticides for the control of adult mosquitoes // *Ibid.* - 1972. - Vol. 32, N 2. - P. 179.
324. Mount G.A., Pierce N.W. A new aerosol generator nozzle system: estimates of droplet size and kill of caged adult mosquitoes // *Ibid.* - 1976. - Vol. 36, N 1. - P. 44 - 46.
325. Hadaway A.B., Barlow F. Studies on the deposition of oil drops // *Annu. Appl. Biol.* - 1965. - Vol. 55. - P. 267 - 274.
326. A new method for spray assessment / Himel C.M., Vaughn L.M., Miskus R.P. et al. // *U.S. Forest Serv.* - 1965. Note RSW-87.
327. Himel C.M., Moore A.D. Spruce budworm mortality as a function of aerial spray droplet size // *Science*. - 1967. - Vol. 156, N 3779. - P. 1250 - 1251.
328. Himel C.M. The fluorescent particle droplet spray tracer method // *J. Econ. Entomol.* - 1969. - Vol. 62, N 4. - P. 612 - 616.
329. Himel C.M., Moore A.D. Spray droplet size in the control of spruce budworm, boll weevil, bollworm and cabbage looper // *Ibid.* - 1969. - Vol. 62, N 4. - P. 916 - 918.
330. Himel C.M. The optimum size for insecticide spray droplets // *Ibid.* - 1969. - P. 919 - 925.
331. Himel C.M. The physics and biology the control of cotton insect populations with insecticide sprays // *J. Georgia Entomol. Soc.* - 1969. - Vol. 4, N 2. - P. 33 - 40.
332. Himel C.M. New concepts in insecticides for civilculture, old concepts revisited // *Proc. 4th Int. Asp. Aviat. Congr.* - 1971. - P. 1 - 11.
333. Barry J.M., Blake G.M. Feasibility study of a dry-liquid insecticide employed in a coniferous forested environment // *Tech. Report, TECOM 5-co-473-010-002-1972.*
334. Impaction of zectran particles on spruce budworm larvae a field experiment / Barry J.W., Tysowsky M. Jr., Orr G.F. et al. // *Pesticide spray application, behavior, and assessment. Workshop Proc. USDA Forest Service. General Technical Report PSW-15, 1976.* - P. 40 - 47.
335. Impaction of insecticide particles on Western Spruce budworm larvae and Douglas-fir needles / Barry J.W., Clesla W.M., Tysowsky M.T. et al. // *J. Econ. Entomol.* - 1977. - Vol. 70, N 3. - P. 387 - 388.
336. Куценюгий К.П. К вопросу оптимизации аэрозольной технологии применения пестицидов в борьбе с вредными насекомыми // *Изв. СО АН СССР. Сер. Хим. наук.* - 1977. - Вып. 3, N 7. - С. 30 - 47.
337. Влияние размера частиц на эффективность применения инсектицидных аэрозолей / Ковальский А.А., Куценюгий К.П., Чанкина О.В. и др. // *Изв. СО АН СССР. Сер. Хим. наук.* - 1978. - Вып. 3, N 7. - С. 131 - 138.
338. Кинетика накопления ядохимикатов на насекомых при аэрозольном применении инсектицидов / Ковальский А.А., Куценюгий К.П., Чанкина О.В. и др. // *Изв. СО АН СССР. Сер. Хим. наук.* - 1979. - Вып. 5, N 12. - С. 176 - 182.
339. Эффективность накопления гамма-изомера ГХЦГ на гусеницах непарного шелкопряда III - IV возраста при аэрозольном применении инсектицидов / Куценюгий К.П., Чанкина О.В., Киров Е.И. и др. // *Изв. СО АН СССР. Сер. Биол. наук.* - 1984. - N 6. - С. 62 - 67.
340. Куценюгий К.П. Экспериментальные и теоретические исследования распространения и осаждения аэрозолей в турбулентном потоке: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. - Новосибирск, 1983. - 41 с.
341. Bache D.H. Momentum transfer to plant canopies: influence of structure and variable drag // *Atmosph. Environ.* - 1986. - Vol. 20, N 7. - P. 1369 - 1378.
342. Bache D.H. Extension of finite rate diffusion theory to continuous plume from

a ground-based source in the atmospheric surface layer // Atmosph. Environ. - 1988. - Vol. 22, N 1. - P. 83 - 90.

343. Bache D.H. Characterizing plume dispersion in the diabatic surface layer by trajectory analysis // Ibid. - 1991. - Vol. 25A, N 2. - P. 381 - 392.

344. Nicholson K.W. The dry deposition of small particles. A review of experimental measurement // Ibid. - 1988. - Vol. 22, N 12. - P. 2653 - 2666.

345. Perspectives on aerosol deposition to natural surfaces: interactions between aerosol residence times, removal processes, the biosphere and global environmental change / Wiman L.B., Unsworth M.H., Lindberg S.E. et al. // J. Aeros. Sci.. - 1990. - Vol. 21, N 3. - P. 313 - 338.

346. Koutzenogij K.P. Ecology and optimum aerosol technology of pesticide application // Ibid. - 1989. - Vol. 20, N 8. - P. 1429 - 1432.

347. Мухитдинов М. Влияние дефолиантов на численность полезных компонентов в хлопковом агробиоценозе // Изв. АН Тадж. ССР. Отд-ние биол. наук. - 1986. - N 1. - С. 50 - 54.

348. Albert R., Bogenschutz H. Prüfung der Wirkung von Pflanzenbehandlungsmitteln auf die Nutzarthropode *Coelotes terrestris* (Wider) (Araneidae, Agelenidae) mit Hilfe eines Glasplattentest // Anz. Schädlingk., Pflanzenschutz, Umweltschutz. - 1984. - Bd 57, N 6. - S. 111 - 117.

349. Cole J.F.H., Wilkinson W. The effects of autumn sprays of cypermethrin, dimethoate and pirimicarb on cereal arthropods // Pestic. Sci. - 1985. - Vol. 16, N 2. - P. 211 - 212.

350. David B.V., Somasundoran L. Synthetic pyrethroides - an evaluation of their potential effects on non-target organisms // Pesticides. - 1985. - Vol. 19, N 1. - P. 9 - 12.

351. Lesiewicz D.S., Van Dayn J.W., Bradley J.R. Mid-season response of three carabids to soil insecticides applied to field corn plots at planting // J. Entomol. Soc. - 1984. - Vol. 19, N 2. - P. 271 - 275.

352. Bogenschutz H. Über die Wirkung von Pflanzenbehandlungsmitteln auf die Parasitierungsleistung der Schlupfwespe *Coccygomimus turionellae* // Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzdienst. - 1984. - Bd 36, N 5. - S. 65 - 67.

353. Mami M., Krishnamoorthy A. Toxicity of some insecticides to *Apanteles plutellae*, a parasite of the diamond back moth // Trop. Pest. Manag. - 1984. - Vol. 30, N 2. - P. 130-132.

354. Şalama H.S., Zaki F.N. Impact of *Bacillus thuringiensis* Berl. on the predator complex of *Spodoptera littoralis* (Boisd.) in cotton fields // Z. Angew. Entomol. - 1984. - Bd 97, N 5. - S. 485 - 490.

355. Sprick P., Poehling H.M. Carabiden und Staphyliniden in Winterweizen und deren Beeinträchtigung durch die Bekämpfung der Getreideblattläuse // Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirt. Berlin-Dahlem. - 1986. - N 232. - S. 310.

356. Powell Janine E., King Edgar G.Jr., Jany Christine S. Toxicity insecticides to adult *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) // J. Econ. Entomol. - 1986. - Vol. 79, N 5. - P. 1343 - 1346.

357. Basedow Thies. Studies on the effects of deltamethrin sprays on the epigeal predatory arthropods in arabic fields // Pestic. Sci. - 1985. - Vol 16, N 2. - P. 212 -213.

358. Bull D.L., Coleman R.J. Effects of pesticides on *Trichogramma* spp. // Southwest. Entomol. - 1985. - Suppl. N 8. - P. 156 - 168.

359. Киров Е.И. Влияние аэрозольных обработок на энтомофагов напочвенного и травяного ярусов лесных биоценозов // Проблемы защиты таежных лесов. - Красноярск, 1971. - С. 69 - 70.

360. Киров Е.И. Действие высокодисперсных аэрозолей на полезные компоненты биоценозов // Материалы 2-й Всесоюз. конф. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. - Одесса, 1972. - С. 103.

361. Киров Е.И. Отчет о НИР. - Инв.№ 0284. 0067402, ВНИЦЦентр.-1984.- 90 с.

362. Кнор И.Б., Алексеев А.А., Киров Е.И. Изучение последствий инсектицидных

- аэрозольных обработок для членистоногих-хортобионтов приколочных целинных участков юга Западной Сибири: Отчет о НИР. - Новосибирск, 1989. - 64 с. - Инв. N 0289.0066584, ВГТИЦентр.
363. Akesson N.B., Yates W.E., Gowden R.E. Criteria for minimizing drift residues on crops downwind from aerial applications // Trans. ASAE. - 1974. - Vol. 17, N 4. - P. 627.
364. Хладик Э. О способах применения ядохимикатов // Защита растений. - 1966. - N 11. - С. 54 - 56.
365. Методические указания по испытанию инсектицидных аэрозолей, производимых генераторами МАГ-3 (мощный аэрозольный генератор) и ГРД (генератор с регулируемой дисперсностью). - Новосибирск, 1982. - 28 с.
366. Временная инструкция по применению метафоса 40% э.к. в виде инсектицидных аэрозолей против вредителей зерновых культур. - Новосибирск, 1986. - 13 с.
367. Применение аэрозолей биопрепаратов против вредителей капусты: Рекомендации. - Новосибирск, 1988. - 25 с.
368. Применение оптимальных аэрозольных технологий в борьбе с луговым мотыльком и главнейшими вредителями зерновых культур в Западной Сибири: Рекомендации. - Новосибирск, 1989. - 62 с.
369. Экономическая оценка и организация использования аэрозольного генератора регулируемой дисперсности при защите зерновых культур: Метод. рекомендации. - Новосибирск, 1991. - 83 с.
370. Влияние изомерного состава пиретроидов на их инсектицидную активность (на примере колорадского жука) / Амирханов Д.В., Мигранов М.Г., Галин Ф.З. и др. // Агрохимия. - 1989. - N 11. - С. 95 - 100.
371. Хусид А.Х., Нефедов О.М. Современные тенденции развития химии синтетических пиретроидов // Журн. Всесоюз. хим. о-ва. - 1988. - N 6. - С. 53 - 61.
372. Мельников Н.Н. Пестициды и окружающая среда // Защита растений. - 1989. - N 4. - С. 4 - 7.
373. Huddleston E.W. et al. // J. Econ. Entomol. - 1987. - Vol. 80, N 1. - P. 226 - 229.
374. Missonnier J. La lutte integree: concepts generaux: Rapp./ Collog. "Anim. ravageurs inter. econ.": Journees annu. Soc. zool. Fr., Paris, 2-4 juill., 1990 // Bull. Soc. Zool. Fr. - 1991. - Vol. 116, N 3/4. - P. 311 - 318.
375. Mattes K. Kicking the pesticide habit // Amicus J. - 1989. - Vol. 11, N 4. - P. 12 - 17.
376. Ricou G. Au service de la vie, le monde cache et menace des insectes // Rev. Palais Decouv. - 1988. - Vol. 17, N 163. - P. 58 - 75.
377. Tamaki Yoshio. Biological thinking for future pest control agents // Jap. Pest. Inf. - 1987. - N 50. - P. 6 - 8.
378. Körner H. Der Einfluss der Pflanzenschutzmittel auf die Faunenvielfalt der Agrarlandschaft // Bayer. Landwirt. Jahrb. - 1990. - Bd 67, N 4. - S. 376 - 496.
379. Rao S.B.P. Insects, man's most formidable enemies // Indian Text. J. - 1988. - Vol. 98, N 7. - P. 42 - 49.
380. Hall R.J. Pesticides and wildlife: will there be any more DDTs? // Bull. Entomol. Soc. Amer. - 1984. - Vol. 30, N 4. - P. 4 - 6.
381. Lhosre J., Normand M.L. La lutte contre les insectes nuisibles a l'agriculture et son // Can. Liaison. Opie. - 1987. - Vol. 21, N 66. - P. 39 - 41.
382. Suski Zbigniew W. Rola syntetycznych arodkow chemicznych w integrowanej ochronie roslin // Ochr. rosl. - 1984. - T. 28, N 11 / 12. - S. 5 - 8.
383. Шалиро В.А. Факторы, определяющие эффективность энтомофагов в агробиоценозе // С.-х. биология. Сер. Биология растений. - 1991. - N 3. - С. 141-152.
384. Flint M.L. The research imperatives: knowledge to reduce the use of broadly toxic pesticides // Calif. Agr. - 1990. - Vol. 44, N 4. - P. 20 - 22.
385. Kinney Terry B. (Jr). Agricultural production systems and environmental health:

- (Pap.) Conf. Environ. Health 21st Century Research Triangle Park, N.C., Apr. 5 - 6, 1988 // Environ. Health Perspect. - 1990. - Vol. 86. - P. 225 - 227.
386. Tatchell C.M., Woivod I.P. The interpretation and dissemination of aphid monitoring data // 10th Int. Congr. Plant Prot., 1983. Proct. Conf., Brighton, 20 - 25 nov., 1983. - Vol. 1. - P. 169.
387. Zalon Frank G., Strand Joyce F. Alternatives to targeted pesticides: the DANR database // Calif. Agr. - 1990. - Vol. 44, N4. - P. 16 - 20.
388. Bedou Eric. Casques verts contre criquets // Sci. e vie. - 1989. - N 857. - P. 64 - 65.
389. Meermans F. Crop protection, vector control and pesticide use in developing countries: reoherlands // Meded. Fac. Landbouwetensch.: Rijksuniv. Gent. - 1990. - Vol. 55, N 2A. - P. 269 - 275.
390. Stimmann Michael W., Ferrguson Mary P. Potential pesticide use cancellations in California // Calif. Agr. - 1990. - Vol. 44, N 4. - P. 12 - 16.
391. Hatcher Jerry E., Wetzstein Michael E., Douce G.Kelth. An economic evaluation of integrated pest management for cotton, peanuts and soybeans in georgia // Rec. Bull. Univ. Ga. Coll. Agr. Exp. Stat. - 1984. - N 3189. - P. 28.
392. Wahl Vincent. Strategies de lutte control les insectes: doctrines et pratiques des agriculteurs // Lutte contre insectes nuisibles agr. et son influence viron: Collog., Paris, 24-26 fevr., 1987. - Paris, 1988. - P. 29 - 37.
393. Nordlung Donald A., Chalfant Richard B., Lewis W.J. Arthropod populations, yield and damage in monocultures and polycultures of corn, leans and tomatoes // Agr. Ecosyst. and Environ. - 1984. - Vol. 11, N 4. - P. 353 - 367.
394. El Titi A. Okologische Auswirkungen Integrierter Ackerbewirtschaftung nach dem Stuttgarter Modell // Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirt. Berlin-Dahlem. - 1986. - N 232. - P. 113 - 114.
395. Влияние полного возделывания культур на распределение вредных насекомых / Крыжева Л.П., Дормидонтова Г.Н., Быкова Е.П. и др. // Экология. - 1985. - N 4. - С. 82 - 85.
396. Olfert Owen. Evaluation of trap-strips for grass hopper (Orthoptera:Acrididae) control in Saskatchewan // Can. Entomol. - 1986. - Vol. 118, N 2. - P. 133 - 140.
397. Chiverton P.A., Sothenton N.W. The effects on beneficial arthropods of the exclusion of herbicides from cereal crop edges // J. Appl. Ecol. - 1991. - Vol. 28, N 3. - P. 1027 - 1039.
398. Bosch J. Wirkungen von Feldhecken auf die Arthropodenfauna und die Ertrage angrenzender Ackerlachen // Mitt. Biol. Bundesanst. Land und Forstwirt. - Berlin-Dahlem, 1986. - N 232. - P. 308.
399. Esbjerg Peter. Insekthivets betingelser pa danske landbrugsarealer // Entomol. Med. - 1987. - Vol. 55, N 2/3. - P. 77 - 84.
400. Штерниш М.В. Микробиологическая борьба с вредителями сельскохозяйственных культур Сибири и Дальнего Востока. - М.: Россгропромиздат, 1988. - 125 с.
401. Franz J.M. Moderne Aspekte der biologischen Schadlingbekämpfung // Dtsch. Baumsch. - 1985. - Bd. 37, N 4. - P. 174 - 176.
402. Nedstam B. Biologisk bekampning av skadedjur i svensk vaxthusodling // Vaxtskyddnotiser. - 1988. - Vol. 52, N 1/2. - P. 8 - 12.
403. Howarth F.G. Environmental impacts of classical biological control // Annu. Rev. Entomol. - Palo Alto (Calif.). - 1991. - Vol. 36. - P. 485 - 509.
404. Van Heiningen T.G., Pak C.A., Hassan S.A., Van Lenteren J.C. Four year's results of experimental releases of richogramma ECG parasites against lepidopteran pests in cabbage // Meded. Fac. landbouwetensch. Rijksuniv. gent. - 1985. - Vol. 50, N 2A. - P. 379 - 380.
405. Состояние популяции хищного клеща фитосейулюса после применения

битоксиацилина / Петрова В.И., Храмева А.В., Петров В.М. и др. // Тр. Лато. с.-х. акад. - 1990. - N 261. - С. 62 - 69.

406. Hassan Sherif A., Mardia W. Gezielte Auswahl von Präparaten schont die natürlichen Feinde von Schädlingen // Taspo-Mag. - 1991. - Bd. 18, N 3. - P. 39 - 40.

407. Петрушов А.З. Перспективы получения резистентных к пестицидам полезных членистоногих // Состояние проблемы резистентности вредителей и возбудителей болезней растений к химическим средствам защиты и ее преодоление: Тез. докл. 7 совещ., Рига, 14 - 18 нояб., 1988. - Рига, 1988. - С. 21 - 23.

408. Preliminary study on the selection for insecticide-resistant strain of *Trichogramma japonicum* Achmead / Hsiu Xiong, Li Kal-Huang, Li Yan-Fen et al. // Collog. INRA. - 1988. - N 43. - P. 411 - 418.

409. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок. 1. Общие подходы / Безель В.С., Крижмиский Ф.В., Семериков Л.Ф. и др. // Экология. - 1992. - N 6. - С. 3 - 12.

410. Мельников Н.Н., Фадеев Ю.Н., Новожилов К.В. Проблемы повышения эффективности и безопасности применения пестицидов в интегрированной защите растений // Научные основы защиты растений. - М., 1984. - С. 199 - 218.

411. Новожилов К.В. Аспекты экологизации защиты растений в современном земледелии // Экологические основы применения инсектоакарицидов / ВНИИ защиты растений. - Л., 1991. - С. 7 - 9.

412. Gibbons Ann. Overkilling the insect enemy // Science. - 1990. - Vol. 259, N 4969. - P. 621.

413. Knirsch J. Untersuchung und Bewertung des Pestizid-Exports bundesdeutscher Firmen // Mitt. Biol. Bundesanst. Land und Forstwirts. Berlin-Dahlem. - 1990. - N 266. - S. 111.

414. Srivastava M.G. Patterns and pitfalls of pesticide forecasting // Pesticides. - 1985. - Vol. 19, N 4. - P. 15 - 20.

415. Субботин С.А. Немецкое совещание по защите растений // Защита растений. - 1993. - N 8. - С. 62.

416. Sand M. Prove Dimostrative e difesa guidata // Lotta antiparassit. - 1987. - T. 39, N 12. - S. 10 - 11.

417. Танский В.И. Экономические пороги вредоносности насекомых // Защита растений. - 1980. - N 6. - С. 32 - 34.

418. Танский В.И., Толстова Ю.С. Основные направления в развитии интегрированных систем защиты растений в СССР // Информ. бюл. ВПС МОББ. - 1985. - N 10. - С. 7 - 17.

419. Atwal A.S. Future of pesticides in plant protection // Proc. Indian Nat. Sci. Acad. - 1986. - Vol. B52, N1. - P. 77 - 90.

420. Markkula M. The current status of plant protection and outlook for the near future // Annu. agr. fenn. - 1988. - Vol. 27, N 3. - P. 191 - 197.

421. D'acor Jean-Pierre. Chimie et protection des vegetaux // C.r. Acad. Sci. Ser. Gen. - 1987. - Vol. 4, N 3. - P. 177 - 192.

422. Тимофеева Л.Г. Изучение последствий карбофоса и амбуша на капустную совку // Защита растений от вредителей и болезней в условиях Нечерноземной зоны РСФСР. - Л., 1988. - С. 26 - 30.

423. Deforme R. La resistance des insectes aux insecticides - II // Phytoma. - 1985. - Vol. 365, N 45. - P. 47 - 48.

424. Forghash Andrew J. History, evolution and consequences of insecticide resistance // Pestic. Biochem. and Physiol. - 1984. - Vol. 22, N 2. - P. 178 - 186.

425. Kriegen James. Insect resistance to pesticides is growing problem // Chem. and Eng. News. - 1987. - Vol. 65, N 9. - P. 32 - 33.

426. Бабонас И.Л., Баргнинкайте И.С. Индуцированная устойчивость насекомых к микробным препаратам // Тр. АН ЛитССР. - 1985, N 1/89. - С. 62 - 67.

427. Indyk F., Swiatonlowska M. Aktualny stan wiedzy i zakres badan nad insektycydami pyreteroidowymi // Prz. zool. - 1988. - T. 32, N 2. - S. 177 - 188.
428. Maceljski M. Stanje, svojstva i perspektive piretroida u Jugoslaviji. - Stanje piretroida u nas // Agron. glas. - 1984. - T. 46, N 6. - S. 921 - 934.
429. Pickett J. Prospects for new chemical approaches to insect control // Chem. and Ind. - 1984. - N 18. - P. 657 - 660.
430. Cheri M.S., Patel A.R. Synthetic pyrethroids scope and limitations // Pesticides. - 1983, Annu. - P. 65 - 73.
431. David B.V., Somasundaran L. Indirect benefits and risks of pyrethroid usage in crop protection // Pesticides. - 1985. - Vol. 19, N 5. - P. 13 - 17.
432. Curtis C.F. Theoretical models of the use of insecticide mixtures for the management of resistance // Bull. Entomol. Res. - 1985. - Vol. 75, N 2. - P. 259 - 265.
433. Etzen G.W., O'Brien P.J., Snodgrass G.L. Toxicity of various classes of insecticides to pyrethroid resistant *Heliothis virescens* larvae // Southwest. Entomol. - 1990. - Vol. 15, N 1. - P. 33 - 38.
434. Петрушов А.З., Горшкова Е.В. Развитие резистентности метасейдуса западного к амбушу // Защита растений. - 1990. - N 9. - С. 24 - 25.
435. Mouches C. Genie genetique chez les insectes: Clonage et transgenose de genes de resistance aux insecticides // Mod. Insect. Contr.: Nucl. Techn. and Biotechnol. Proc. Int. Symp., Vienna, 16 - 20 nov., 1987. - Vienna, 1988. - P. 257 - 261.
436. Мельников Н.Н., Аронова Н.И. Новый тип пиретроидных инсектицидов // Агрехимия. - 1987. - N 12. - С. 95 - 102.
437. Bouguerra Mohamed Larbi. Les biopesticides au secours des cultures // Recherche. - 1990. - Vol. 21, N 225. - P. 1286 - 1287.
438. Pickett J.A. Integrating use of beneficial organisms with chemical crop protection // Phil. Trans. Roy. Soc. London. - 1988. - Vol. B 318, N 1189. - P. 203 - 210.
439. Vaisman S. Lutte biologique les plantes font de la resistance // Sci. et avenir. - 1991. - P. 71 - 74.
440. Insect resistant cotton plants / Perlak Frederik J., Deaton Randy W., Armstrong Toni A. et al. // Biotechnology. - 1990. - Vol. 8, N 10. - P. 939 - 943.
441. Fujita Toshio. Pesticide science in the next century // Jap. Pest. Inf. - 1987. - N 50. - P. 12 - 13.
442. Jayaraj S., Rangarajan A.V. Trends in insect control postpyrethroids // Pesticides. - 1987. - Vol. 21, N 1. - P. 11 - 25.
443. Krieg W., Kunast Christoph. Insektizide-Forschung und Anwendung // Prax. Naturwiss. Chem. - 1984. - Bd 33, N 11. - S. 321 - 328.
444. Menn Julius J. New research horizons in insects control // J. Pestic. Sci. - 1985. - Vol. 10. - Spec. Issue. - P. 371 - 376.
445. Schutterer H. Verwendungsmöglichkeiten von Pflanzenthatstoffen zur Bekämpfung von Schaderregern // Mitt Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirt. Berlin-Dahlem. - 1984. - N 223. - S. 333.
446. А. с. 1095483, СССР. Ингибитор питания чешуекрылых / Кандыбин Н.В., Гольдин Е.Б., Семяков В.В. и др.: Заявл. 29.01.82, N 3433930/30-15. - Опубл. в Б.И., 1985, N 15. - МКИ А 01 N 63/00.
447. Insecticidas microencapsulados. Una nueva generacion tecnica de Insecticidas. Mayor persistencia y menor toxicidad para una agricultura mas eficaz // Agr. verg. I. - 1985. - Vol. 4, N 42. - P. 324 - 325.
448. Quinn P.J., Perrett S.F., Arnold A.C. An evaluation of soya lecithin in crop spray performance // Autom. and Spray Technol. - 1986. - Vol. 2, N 3. - P. 235 - 246.
449. Арешников Б.А., Вигера С.М., Костюковский М.Г. Пути рационального применения инсектицидов на примере защиты зерновых культур от злаковой листовёртки и злаковых тлей // Биология и химизация защиты растений от вредителей, болезней и сорняков в УССР. - Киев, 1985. - С. 4 - 9.

450. Amayan M. Efecto de algunos insecticidas sobre la accion parasitica del *Tichogramma pretiosum* (Riley) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) liberados despues de las aplicaciones // Collog. INRA. - 1982. - N 9. - P. 195 - 199.
451. Symmons P.M. Control of the Australian plague locust, *Chortolcepes terminifera* (Walker) // Crop. Prot. - 1984. - Vol. 3, N 4. - P. 479 - 490.
452. А. с. N 950266, СССР. Аэрозольный генератор / Сахаров В.М., Куценогий К.П., Верховская Н.Н. и др.: - М., 1982. - 1 с.
453. Матис Г. Интегрированная защита растений // Докл. на 8 Межд. конгр. по защ. раст. - М., 1975. - Т. 1. - С. 19 - 36.
454. Поляков И.Я. Экологические основы защиты растений от вредителей // Экология. - 1972. - N 4. - С. 19 - 31.
455. Сасинович Л.М., Панышина Т.Н. Вопросы гигиены применения синтетических пиретроидов // Защита растений. - 1989. - N 12. - С. 30 - 31.
456. Грапов А.Ф. Регуляторы роста и развития насекомых в качестве инсектицидов. I. Ювеноиды // Агрехимия. - 1988. - N 3. - С. 123 - 136.
457. Биометод защиты растений: Указатель литературы. - М., 1980. - 123 с.
458. Формы микробных инсектицидов и методы их применения. - М.: Колос, 1981. - 79 с.
459. Симонова А.С. Действие вируса ядерного полиэдроза хлопковой совки на полезных и вредных насекомых // Бюл. ВИЗР. - 1987. - N 7. - С. 11 - 14.
460. Mecußen R., Wagren G. // Appl. Rev. Entomol. - 1989. - Vol. 34. - P. 373 - 381.
461. Лебедева К.В. Феромоны насекомых и их применение в защите растений // Журн. Бессоюз. хим. о-ва. - 1988. - N 6. - С. 678 - 686.
462. Вавилов Н.И. Иммуитет растений к инфекционным заболеваниям. - М.: Наука, 1986. - 519 с.
463. Шапиро И.Д. Иммунологические факторы растительного организма и их значение в снижении загрязненности природной среды пестицидами // Экологическое прогнозирование. - М.: Наука, 1979. - С. 211 - 236.
464. Алснок П.И. Микроудобрения. - Л.: Агропромиздат, 1990. - 272 с.
465. Катальмов М.В. Микроэлементы и микроудобрения. - М.: Химия, 1965. - 330 с.
466. Каспаров В.А., Промоненков В.К. Применение пестицидов за рубежом. - М.: Агропромиздат, 1990. - 224 с.: ил.
467. Черныков Б. А. // США: экономика, политика, идеология. - 1985. - N 12. - С. 98 - 105.
468. Farmer Chemical. - 1981. - N 9. - P. 55, 61, 65.
469. BASF Agricultural News. - 1986. - N 2 - P. 3.
470. Мельников Н. Н. Пестициды: химия, технология и применение. - М.: Химия, 1987. - 712 с.
471. Захаренко В. А., Мартыненко В.И. Использование пестицидов в растениеводстве // Защита растений. - 1994. - N 1.
472. Викторов Г.А. Колебания численности насекомых как регулируемый процесс // Журн. общ. биологии. - 1965. - Т. 26, N 1. - С. 43 - 55.
473. Викторов Г.А. Проблемы динамики численности насекомых на примере вредной черепашки. - М.: Наука, 1967. - 272 с.
474. Викторов Г.А. Экология паразитов энтомофагов. - М.: Наука, 1976. - 152 с.
475. Шаров А.А. Вклад Г.А. Викторова в развитие экологии // Зоол. журн. - 1985. - Т. LXIV, вып. 9. - С. 1285 - 1290.
476. Уатт К. Экология и управление природными ресурсами. - М.: Мир, 1971. - 463 с.
477. Шаров А.А. Универсальна ли концепция экономического порога вредности? // Защита растений. - 1989. - N 12. - С. 15 - 17.

478. Шаров А.А. Моделирование динамики численности насекомых // Итоги науки и техники. Сер. Энтомология. - 1986. - Т. 6. - С. 3 - 115.
479. Шаров А.А. Жизненная система популяции - новые возможности старой концепции // Журн. общ. биологии. - 1989. - Т. 50, N 3. - С. 293 - 303.
480. Sharov A.A. The life-system approach: a system paradigm in population ecology // *Oikos*. - 1992. - N 63. - P. 485 - 494.
481. Шаров А.А. Принципы анализа взаимодействующих факторов динамики численности популяций // Журн. общ. биологии. - 1985. - Т. XLVI. - N 5. - С. 590-595.
482. Шаров А.А., Цимбулова А.А. Имитационная модель динамики численности американской белой бляшечки (*Hypanthra cunea Drury*): Деп. рукопись. - М., 1987. - 22 с. - (Рукопись деп. в ВИНИТИ 10.08.87, N6553-B87).
483. Clark L.R. The population dynamics of *Cardiospina slothextura* (Psyllidae) // *Austral. J. Zool.* - 1964. - N 12. - P. 362 - 380.
484. The ecology of insect populations / Clark L.R., Geier P.W., Hughes R.D. et al. - Methuen, London, 1967.
485. Geier P.W. Population dynamics of codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Tortricidae) // *Austral. Capital territory*. - *Austral. J. Zool.* - 1964. - N 12. - P. 381 -416.
486. Шаров А.А. Управление популяциями вредных насекомых с учетом естественных механизмов динамики численности // Зоол. журн. - 1985. - Т. LXIV, вып. 9. - С. 1298 - 1308.
487. Шаров А.А. Буферность и гомеостаз популяции и их роль в динамике численности // Журн. общ. биологии. - 1986. - Т. XLVII. - N 2. - С. 183 - 192.
488. Шаров А.А., Ахатов А.К. Как оценивать эффективность энтомофагов? // Защита растений. - 1989. - N 6. - С. 26 - 27.
489. Sharov A.A. Integrating host, natural enemy and other processes in population models of the pine sawfly // *Forest Insect Guide: Patterns of Interaction with Host Trees: Tech. Rep. NE-153 / Eds. Baranchikov Y.N., Mattson W.J., Hain F.P., Payne T.L.; U.S. Dep. Agric. For. Serv. Gen.* - 1991. - P. 187 - 198.
490. Башев А.Н., Кнор И.Б. К вопросу о моделировании динамики численности лугового мотылька (*Pyrantia sticticalis* L.) // Системное моделирование экологических процессов / ВЦ СО АН СССР. - Новосибирск, 1991. - С. 3 - 27.
491. Влияние плотности популяции на динамику численности лугового мотылька *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera, Pyralidae) / Кнор И.Б., Башев А.Н., Алексеев А.А. и др. // Энтомологическое обозрение. - 1993. - Т. 72, вып. 2. - С. 268 - 274.
492. Исаев А.С., Недорезов Л.В., Хлебопрос Р.Г. Влияние трансформации корма на динамику численности насекомых // Консортивные связи дерева и дендрофильных насекомых. - Новосибирск, 1982. - С. 67 - 75.
493. Кант Г. Биологическое растениеводство: возможности биологического агросистем. - М.: Агропромиздат, 1988. - 207 с.
494. Джексон У. К идее унификации в сельскохозяйственной экологии // Сельскохозяйственные экосистемы. - М.: Агропромиздат, 1987. - С. 209 - 222.
495. Медведь Л.И., Каган Ю.С., Спльну Е.И. Пестициды и проблемы здравоохранения // Журн. Всесоюз. хим. о-ва - Т. 13, N 3. - С. 263 - 271.
496. Mareo J.L., Hollingworth R.M., Durham W. "Silent Spring" revisited // *Amer. Chem. Soc.* - 1987. - 214 p.
497. Тодфнер О. Новая технократическая волна на Западе. - М., 1986. - 452 с.
498. Mollison B., Holmgren D. Permaculture I: a perennial agriculture for human settlements // *Tyalgum*. - Tagari Publications. - NSW 2484. - 1978. - 128 p.
499. Mollison B. Permaculture II: Practical design for town and country in permanent agriculture // *Tyalgum*. - Tagari Publications. NSW 2484. - 1979. - 150 p.
500. Mollison B. Permaculture: a designer's manual // *Tyalgum*. Tagari Publications. - NSW 2484. - 1988. - 576 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Куценогий Константин Петрович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. отделом дисперсных систем ИХКиГ СО РАН.
Научные интересы: физика и химия дисперсных систем, атмосферных аэрозолей, тел. 35-41-72
- Киров Евгений Иванович**, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации аэрозольного применения пестицидов ИХКиГ СО РАН.
Научные интересы: оптимизация аэрозольного применения биологически активных веществ, экологическая оценка применения пестицидов, тел. 35-70-70
- Кнорр Иван Бернгардович**, д.с.-х.н., старший научный сотрудник Зоо-музея ИСЭЖ СО РАН
Научные интересы: роль фитофагов в экосистемах, биология и экология лугового мотылька, тел. 20-97-56
- Алексеев Александр Анатольевич**, младший научный сотрудник лаборатории оптимизации аэрозольного применения пестицидов ИХКиГ СО РАН.
Научные интересы: влияние инсектицидного стресса на структуру биоценозов, токсикология насекомых, механизмы действия инсектицидов и резистентности к ним, тел. 35-70-70
- Макаров Валерий Иванович**, к.х.н., зав. лаб. оптимизации аэрозольного применения пестицидов ИХКиГ СО РАН.
Научные интересы: физика и химия дисперсных систем, оптимизация аэрозольного применения биологически активных веществ, тел. 35-24-56
- Самсонов Юрий Николаевич**, к.х.н., старший научный сотрудник лаб. оптимизации аэрозольного применения пестицидов ИХКиГ СО РАН.
Научные интересы: физика и химия дисперсных систем, фотохимические превращения пестицидов в окружающей среде, тел. 35-24-56
- Чанкина Ольга Васильевна**, научный сотрудник той же лаборатории.
Научные интересы: токсикология насекомых, механизмы резистентности насекомых к инсектицидам, тел. 35-70-70
- Богатырев Николай Ростиславович**, к.б.н., научный сотрудник лаборатории экологии насекомых ИСЭЖ СО РАН,
Научные интересы: этология и экология общественных насекомых, тел. 20-97-27
- Башев Андрей Николаевич**, научный сотрудник группы системного моделирования экологических процессов в климатических системах Вычислительного центра СО РАН.
Научные интересы: имитационное моделирование и исследование экологических систем, тел. 35-04-60

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕСТИЦИДОВ НА ЭКОСИСТЕМЫ	5
1.1. Экологический кризис, пестициды и проблемы эволюции	5
1.2. Влияние пестицидов на биоценоз	7
1.3. Структурность экосистем	13
1.4. Резистентность насекомых к инсектицидам	14
1.5. Устойчивость экосистем при загрязнении пестицидами	21
1.6. Избирательная токсичность пестицидов	23
1.7. Миграция пестицидов по трофическим цепям	27
1.8. Пестициды и опылители	28
1.9. Применение пестицидов и нарушение равновесия популяций членистоногих	38
Глава 2. ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ	43
2.1. Моделирование загрязнения объектов окружающей среды пестицидами	43
2.1.1. Модели локального масштаба	44
2.1.2. Модели регионального масштаба	45
2.1.3. Модели глобального масштаба	45
2.2. Размеры частиц и эффективность применения пестицидов	49
2.2.1. Аэрозоли инсектицидов и нецелевые членистоногие	59
2.3. Оптимальные технологии применения пестицидов	63
2.3.1. Минимизация применения пестицидов	67
2.4. Интегрированная защита растений	68
2.4.1. Замена инсектицидов гормоноподобными соединениями и биопрепаратами	74
2.4.2. Повышение иммунитета растений	75
Глава 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕСТИЦИДОВ И АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ	79
3.1. Масштабы применения пестицидов в сельском хозяйстве	79
3.1.1. Производство и применение пестицидов в США	80
3.1.2. Производство и применение пестицидов в Японии	82
3.1.3. Производство и использование пестицидов в Западной Европе	84

3.2. Концепция экологической инженерии: от управления к дизайну	86
3.2.1. Истоки интегрированной защиты растений и концепция экологической инженерии	87
3.2.2. Новые понятия	89
3.2.3. Основные положения концепции	90
3.2.4. Проблемы и перспективы	93
3.3. Анализ стратегий альтернативного природопользования	95
3.3.1. Экологический кризис и химизация сельского хозяйства	97
3.3.2. Философия новой агрикультуры	100
3.3.3. Краткое изложение концепции пермакультуры	101
3.3.4. Стратегический шанс	103
3.3.5. Пермакультура: выход или новый тупик?	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
ЛИТЕРАТУРА	117
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	139

Куценогий Константин Петрович
Киров Евгений Иванович
Кнорр Иван Бернгардович
Алексеев Александр Анатольевич
Макаров Валерий Иванович
Самсонов Юрий Николаевич
Чанкина Ольга Васильевна
Богатырев Николай Ростиславович
Башев Андрей Николаевич

ПЕСТИЦИДЫ В ЭКОСИСТЕМАХ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аналитический обзор

Оформление:
Обложка: В.Н. Лебедев
Иллюстрации: Н.Р. Богатырев

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Xerox Ventura
Publisher

Верстка выполнена Н.П. Куколевой

Подписано к печати 25.11.94. Формат 60x84/16

Бумага писчая. Ротапринт. Усл. печ. л. 8,4.

Уч.-изд. л. 12. Тираж 600 экз. Заказ N 583.

Цена договорная

ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, ул. Восход, 15.

Типография СО РАН. Новосибирск, пр. К. Маркса, 2.