

ГЛАВА 1.2. ПЕСТИЦИДЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Среди всей химической продукции, производимой человеком, пестициды занимают особое место, как по значению в жизни общества, так и по опасности, которая связана с их нахождением в природе. Они сознательно вносятся человеком в окружающую среду. Это необходимость, иначе до половины урожая погибло бы от сорняков, вредителей и болезней, а миллионы людей в XX веке – от малярии и тифа. Именно пестициды спасли и спасают многие десятки тысяч человеческих жизней от голода и болезней. Без пестицидов и удобрений сегодня невозможно было бы прокормить 6,5 млрд населения нашей планеты, ведь пригодными для ведения сельского хозяйства считаются только 11% площади нашей планеты. К тому же пестициды позволяют получать дешевую сельхозпродукцию, доступную для всех. Применение пестицидов обусловлено и их высокой экономической эффективностью. Например, прополка одним человеком 1 га сахарной свеклы требует около 20 рабочих дней, тогда как использование современных средств защиты позволяет решить эту проблему за 30–40 минут [6].

С другой стороны, доказано, что ни один пестицид не является безвредным для окружающего мира, в том числе для человека. Почему же они опасны для окружающей среды? Этот вопрос, несомненно, возникнет у каждого. Нужно понимать, что человек привносит в природу чужеродные ей вещества (ксенобиотики). Среди них и пестициды. Живые организмы «не знакомы» с ксенобиотиками, поэтому у них не существует механизмов разрушения таких веществ. В то же время ксенобиотики (в том числе и пестициды) могут обладать различными свойствами и совершенно непредсказуемо влиять на все живое. Поэтому они всегда опасны. Пестициды являются ядами и «убивают» живые организмы, т.е. позволяют бороться с теми, кто претендуют на урожай, предназначенный для нашего питания.

Как пестициды попадают в окружающую среду?

Основной областью использования пестицидов является сельское и лесное хозяйство, затем – здравоохранение. Поэтому главный путь попадания пестицидов в экосистему* (*значение терминов, помеченных звездочкой, смотрите в [Словаре](#)*) – через обработку поверхностей:

- обработку сельскохозяйственных и лесных угодий,
- обработку помещений,
- протравливание семян растений.

Для обработки сельскохозяйственных угодий и помещений обычно необходимо небольшое количество вещества (от нескольких грамм до нескольких килограммов на 1 га). В состав препарата обычно входит не только само вещество пестицида (действующее вещество, активное вещество*), но и вспомогательные вещества, разбавители и эмульгаторы*. Существуют разные формы препаратов – концентраты эмульсий*, растворы в воде и органических растворителях, смачивающиеся порошки*, дусты*, аэрозоли*, гранулы и др. [6, 7]. Способы применения пестицидов зависят от их препаративной формы и назначения. Чаще всего используют способы опрыскивания, внесение гранул в почву. Для обработки применяют специальное оборудование, сельскохозяйственную технику, авиацию (рис. 1). При такой обработке значительная часть препарата попадает в окружающую среду.

В обработке могут нуждаться помещения, в которых хранится какая-либо продукция, содержатся сельскохозяйственные животные, а также живут люди. Во многих развивающихся странах часто пестицидами обрабатывают жилища для борьбы с переносчиками болезней. В результате эти вещества, находясь в воздухе, вдыхаются проживающими там людьми. А это небезопасно для здоровья (подробнее в главе 1.3).

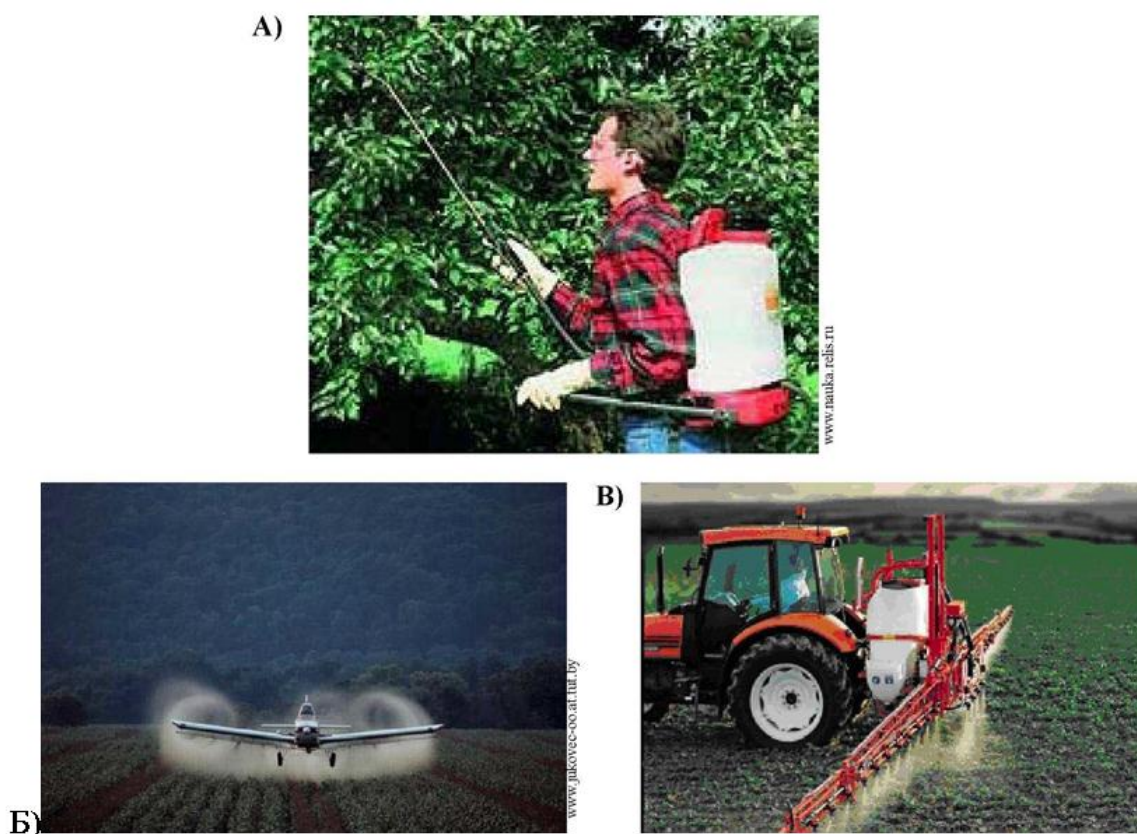


Рис. 1. Обработка сельскохозяйственных угодий способом опрыскивания с помощью: А) индивидуального опрыскивателя; Б) авиации; В) сельскохозяйственной техники.

Поведение пестицидов в окружающей среде

Считается, что при опрыскивании и опылении только 25-50% препарата задерживается на обрабатываемых объектах [8]. Остальная часть препарата попадает в окружающую среду: воздух, поверхностные и подземные воды, почву, живые организмы. В каждой из сред пестициды проходят определенный путь превращения. Длительность нахождения вещества в среде зависит от ее свойств и характеристик самого пестицида. С течением времени пестициды, как и другие химические вещества, разлагаются в окружающей среде на простые химические соединения. Для разных классов и видов пестицидов нужны и разные периоды времени разложения – от 2 недель до десятков лет. Наиболее стойкие вещества сегодня называют СОЗ (стойкие органические загрязнители). Мировым сообществом они запрещены к использованию. Именно эти особо устойчивые пестициды являются самыми опасными для окружающей среды.

Рассмотрим, что происходит с пестицидами в каждой из природных сред и как они способны мигрировать из одной среды в другую.

Пестициды в воздушной среде

Причины попадания пестицидов в воздух:

- несовершенство техники и способов внесения,
- частично – при ветровой эрозии, испарении с поверхности воды, почвы и растений (рис. 2).

ЧТО ПРОИСХОДИТ С ПЕСТИЦИДАМИ В ВОЗДУХЕ?



Степень загрязнения воздуха пестицидами зависит от их физико-химических свойств (в первую очередь от степени испаряемости), температуры воздуха, способа внесения [10, 11].

В подтверждение слов о перемещении пестицидов на большие расстояния можно привести следующие факты:

1) сейчас достоверно известно, что в Антарктиде, за десятки тысяч километров от зоны применения, на поверхности ледникового панциря осело более 2000 тонн ДДТ, применявшегося в середине XX века;

2) В 1972 году на территории Швеции с атмосферными осадками выпало ДДТ больше, чем производилось в этой стране в год [11, 12].

Если так происходит в глобальном масштабе, не стоит ли задуматься, что подобное может относиться и к нам с вами непосредственно? Например, в результате обработки картофельного поля от колорадского жука вблизи населенного пункта не исключено, что какая-то часть использованного препарата может загрязнить воздух населенного пункта, в котором мы живем. Пусть это будет очень низкая его концентрация, которая однократно не повлияет на организм человека. Но ведь обработки полей проводят регулярно, в итоге отмечаем систематическое влияние малых концентраций на организм, которое сегодня недостаточно изучено учеными. Или того хуже, по случайности мы оказались рядом с полем, на котором как раз проводится обработка, и дышали воздухом, содержащим некоторое количество препарата.

Пестициды в водной среде

Причины попадания пестицидов в поверхностные водоемы:

- с водным стоком с обработанных полей;
- в результате аварий;
- в результате неправильного хранения и транспортировки;
- в результате непосредственного внесения в водную среду для уничтожения насекомых, непромышленных видов рыб, некоторых водных растений (рис. 2).

В воде пестициды могут находиться в трех состояниях: растворенном, взвешенном и сорбированном.

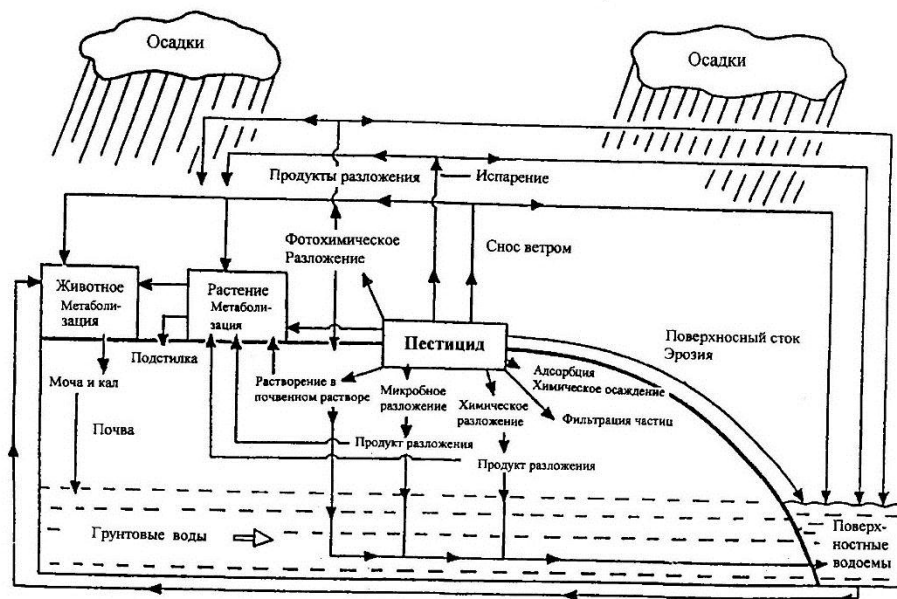


Рис. 2. Пути поступления пестицидов в окружающую среду [13]. Пестициды в водной среде

ЧТО ПРОИСХОДИТ С ПЕСТИЦИДАМИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ?



Часть пестицидов очень медленно разлагается на простые соединения, поэтому возможно их накопление в донных отложениях водоемов или поступление с водами рек в океан. Т.е. эти вещества могут мигрировать с природными водами на большие расстояния [11, 12, 14].

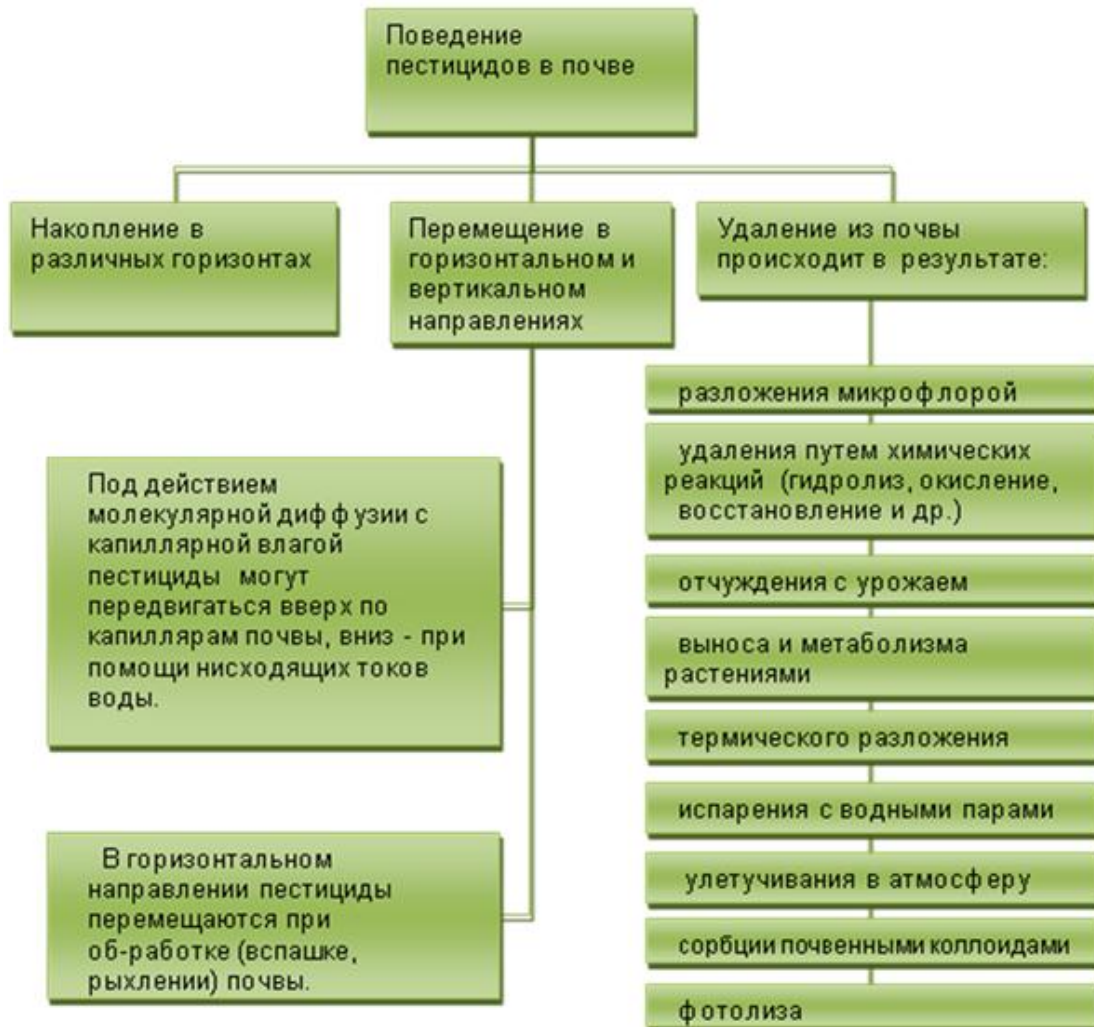
Пестициды также способны испаряться с водной поверхности, возвращаясь обратно в атмосферу. Еще возможно их просачивание в грунтовые воды (рис. 2). Например, в годы массового применения ДДТ этот пестицид обнаруживали в артезианских скважинах на глубине 80 м. Попадая в грунтовые воды даже в очень малых количествах, пестициды изменяют органолептические свойства воды (вкус, запах). Альдрин, например, придает воде горько-вяжущий вкус [11]. Смыв и просачивание пестицидов в грунтовые воды влекут за собой загрязнение воды в колодцах, используемых человеком для питья. Поэтому, чтобы эти вещества не попали в открытые водоемы и колодцы, в каждой стране установлены нормы защитной зоны вокруг водоемов и населенных пунктов, на которых запрещена или ограничена сельскохозяйственная и иная производственная деятельность.

Пестициды в почве

Причины попадания пестицидов в почву:

- прямое внесение (некоторые виды гербицидов и инсектицидов);
- смыв с дождевыми водами с обработанных растений;
- с трупами и экскрементами живых организмов (рис. 2) [11].

ЧТО ПРОИСХОДИТ С ПЕСТИЦИДАМИ В ПОЧВЕ?



Таким образом, почва выступает в качестве приемника пестицидов, где они разлагаются и откуда постоянно перемещаются в растения или водную среду, либо в качестве хранилища, где некоторые из них могут существовать много лет после внесения.

Пестициды и живые организмы

Пестициды и растения

Три категории растений, на которые воздействуют пестициды:

- сорняки, для уничтожения которых пестицид применяется;
- сельскохозяйственные культуры, в посевах и посадках которых ведется борьба с вредителями, болезнями и сорняками;
- смежные культуры, которые находятся на соседних территориях, куда препарат попадает в результате миграции [15].

Воздействия на последнюю категорию нежелательны и должны предотвращаться.

Пути проникновения пестицидов в растения:

- в результате всасывания через корни;
- в результате поступления через листья.

ЧТО ПРОИСХОДИТ С ПЕСТИЦИДАМИ В РАСТИТЕЛЬНОМ ОРГАНИЗМЕ?

Продвижение по организму растения – по ксилеме, флоэме, лучевой паренхиме, клеточным стенкам



Накопление пестицидов и продуктов их распада может происходить в различных органах растений в неодинаковых количествах. В очень большом количестве пестициды накапливаются в корнеплодах и клубнях. Содержание этих веществ в клетках растений будет в десятки раз выше, чем во внешней среде. Специфических органов и тканей, обезвреживающих ядовитое вещество пестицида, у растений нет.

Метаболизм проходит в клетках с разной скоростью в зависимости от вида, возраста растения, свойств пестицида. Скорость разложения пестицидов в растениях зависит также от условий внешней среды: чем благоприятнее условия, тем быстрее пестицид разрушается, и растение преодолевает его токсическое действие. В период цветения скорость разрушения пестицида увеличивается. Одно и то же соединение может образовывать в процессе реакции различные продукты, как менее токсичные соединения, так и более токсичные, чем исходное вещество [15]. Токсическое действие протекает на клеточном уровне и выражается в нарушении пестицидами жизненно важных процессов (например, фотосинтеза) посредством разрушения клеточных структур (например, хлоропластов) [17].

Пестициды и животные

Три категории животных организмов, на которые воздействуют пестициды:

1. организмы, для борьбы с которыми применяется препарат;
2. организмы, против которых препарат не применяется, но которые оказались в месте обработки и подверглись воздействию препарата (например, полезные насекомые);
3. организмы, получившие некоторое количество вещества через трофические цепи.

Пути поступления пестицидов в организм животного:

1. через органы дыхания;
2. через кожные покровы;
3. через пищеварительный тракт [17].

Через органы дыхания пестициды проникают в результате вдыхания воздуха, содержащего некоторое количество вещества. Целый ряд организмов может оказаться в непосредственной близости к месту обработки. Это может вызвать их отравление и гибель. Такое часто происходит с мелкими организмами, например, грызунами или птицами.

Принцип действия некоторых пестицидов – такой их вид называют фумиганты – заключается в проникновении через дыхательные пути в организм и его уничтожении. Например, таким веществом является метилбромид, или бромистый метил, который запрещен к применению во многих странах.

Существуют препараты, принцип действия которых основан на проникновении именно через наружные покровы. Их называют контактными инсектицидами, например, фуфанон. Но если тело организма покрыто восковым слоем, то проникновение таких препаратов сильно осложняется. Например, взрослые особи щитовок*, защищенные восковым щитком, не погибают после обработки водными суспензиями* или эмульсиями фосфорорганических инсектицидов. Высокоустойчивы к пестицидам яйца насекомых, цисты нематод, благодаря малой проницаемости их защитных оболочек [17].

Чаще всего в организм животного пестицид попадает через пищеварительный тракт. Остаточные количества препарата, применяющегося для обработки сельскохозяйственных культур, могут быть накоплены в органах растения либо находиться на поверхности и при поедании могут попасть в организм травоядных, а затем и хищников.

ЧТО ПРОИСХОДИТ С ПЕСТИЦИДАМИ В ЖИВОТНОМ ОРГАНИЗМЕ?



Отравление организма

Все процессы, связанные с метаболизмом пестицида, происходят в клетке. При поступлении яда через наружные покровы процесс метаболизма у насекомых протекает в основном в жировом теле, где активность ферментов очень велика. При метаболизме протекают процессы окисления, гидролиза и восстановления яда и слияние его с другими соединениями. Продукты превращения будут выводиться через органы выделения, у насекомых, например, это мальпигиевы сосуды [17].

В животном организме скорость превращения пестицида идет быстрее, чем в растениях, грибах, бактериях. И в каждом животном организме этот процесс не идет строго определенным путем. Одно и то же соединение может вовлекаться в разные реакции, в результате которых будут образовываться разные продукты обмена. Одни реакции могут обезвреживать, другие активировать токсический эффект пестицида. Токсический эффект действия на любой организм обуславливается тем, что пестициды угнетают деятельность ферментов и это ведет к отравлению.

На организмы, с которыми борются, пестициды оказывают действие тремя путями:

- организмы накапливают это вещество до смертельных концентраций;
- вещество взаимодействует с клеточными структурами, которые имеются только у уничтожаемого организма;
- вещество повреждает химическую систему, жизненно важную для данного вида и не имеющую большого значения для остальных видов [17].

Распространение пестицидов по пищевым цепям

Остатки препаратов, применяемых человеком, благодаря высокой активности циркулируют в биосфере по пищевым цепям.

Можно выделить следующие схемы передвижения пестицидов:

- воздух – растения или почва – растения – травоядные животные – человек;
- почва или вода – зоо-, фитопланктон – рыба – человек.

В конечных звеньях трофической цепи концентрация пестицидов может достигать очень высоких значений и влиять на здоровье особей и целых популяций. Рассмотрим пример: пестициды, растворенные в морской воде, накапливаются в донных отложениях или поглощаются планктоном (фито- и зоо) и накапливаются в его организме. Планктон, в свою очередь, служит пищей для веслоногих рачков. Питаясь планктоном, рачки потребляют и накопившиеся в нем пестициды, причем в таких количествах, которые в десятки раз превышают содержание этих же веществ в самом планктоне. Почему? А потому, что для их питания нужно много планктона. Далее по цепи питания рачки поедаются рыбами, т.е. происходит последующее накопление уже в организмах рыб (рис.3). Результатом этого выступает снижение сопротивляемости болезням, ухудшение репродуктивных функций, и в итоге уменьшение рыбных популяций. А проследив дальше по цепи питания, например, обнаружим проблему размножения коричневого пеликана, который поедает рыбу [16]. В подтверждение этих слов нужно вспомнить такой случай: в Калифорнии (США) озера обрабатывали пестицидами, родственными ДДТ для борьбы с комарами. После двух обработок карпы, добытые в озере, содержали количество препарата в 1250 раз превышающее его концентрацию в воде, а хищные рыбы, соответственно, в 2500 раз.

У теплокровных животных наблюдается передача некоторого количества пестицида при вскармливании животных материнским молоком.



Рис. 3. Концентрирование пестицидов в пищевой цепи в океане

Последствия нахождения пестицидов в окружающей среде

Влияние пестицидов на окружающую среду может быть:

- локальным;
- региональным;
- глобальным.

Локальное направлено непосредственно на объект, сопутствующие организмы, почву и воду. Региональное обусловлено распространением влияния пестицидов на весь ландшафт, глобальное – на крупные территории (например, материки) и на всю планету.

Главному «полезному свойству» пестицидов – уничтожению организмов, нежелательных для человека – сопутствует ряд негативных последствий, связанных с нахождением их в окружающей среде. В первую очередь, это кумулятивное действие, т.е. способность накапливаться в природных средах, в т.ч. и в живых организмах. К тому же остаточные количества пестицидов, накопившись, способны мигрировать за пределы обработанной территории с воздушными потоками, природными водами, живыми организмами, загрязняя другие территории.

Опасно не столько накопление или миграция пестицидов в воздушной, водной, почвенной средах, сколько проникновение в живые организмы и отравление, гибель, изменения этих организмов на генетическом, клеточном, организменном и популяционном уровнях.

Отравление и гибель, заболевания организмов, не подвергающихся уничтожению

Применение пестицидов основывается на таком свойстве, как избирательная токсичность, т.е. опасность для одних организмов и безопасность для всех остальных. Избирательная токсичность основана на биохимических процессах, специфичных для разных организмов. Например, некоторые гербициды нарушают процесс фотосинтеза, характерный лишь для растений, поэтому нетоксичны для животных. Фосфорорганические инсектициды не угнетают рост растений, так как воздействуют на нервную систему животных. Но граница между опасностью и безопасностью часто очень тонкая, поэтому правило не всегда работает, и они могут приводить к гибели не только нежелательных для человека организмов, но часто и необходимых нам: насекомых-опылителей (пчел, муравьев), почвообитающих организмов (дождевых червей, многоножек, полезную микрофлору) [17].

Ухудшение здоровья и возникновение заболеваний на протяжении жизни обусловлено проявлением такого свойства пестицидов, как биоаккумуляция, т.е. способность пестицидов накапливаться в организме и вызывать токсический эффект. Например, пестициды, накопленные в организме в результате питания птиц рыбой, подавляют деятельность ферментов, которые контролируют обмен кальция в организме. В итоге скорлупа яиц становится тонкой и легко повреждается при механических воздействиях, поэтому в популяции появится мало птенцов. Некоторые гербициды способны вызывать частичную стерилизацию насекомых [16].

Появление устойчивых к пестицидам форм уничтожаемых организмов

При длительном применении пестицидов в сельском хозяйстве и медицине может происходить снижение их эффективности. Организм приспосабливается выживать и размножаться в присутствии пестицида, который раньше подавлял его развитие. Такое явление называют резистентностью.

Ученые установили, что возникновение резистентности является частью микроэволюции*. Основано это на том, что у отдельных особей возникает пониженная чувствительность к действию пестицидов за счет появления мутаций*. В результате нормальные организмы погибают, мутировавшие – остаются и продолжают размножаться, производя потомство, обладающее такими же свойствами. У паутиных клещей

резистентность развивается через 5-10 поколений, т.е. через 2-3 года. Примером возникновения резистентности может служить известный среди населения препарат «Каратэ», применявшийся у нас в основном для борьбы с колорадским жуком. Очень быстро развивается устойчивость к пестицидам у таких сорных растений, как осот полевой, яснотка, фиалка полевая и др. Препарат, к которому выработались такие свойства, становится неэффективным и непригодным для использования. Устойчивость может развиваться к одному, двум или целой группе пестицидов, иногда – к нескольким пестицидам из разных по химическому строению или механизму действия групп. Поэтому ученым постоянно приходится разрабатывать новые препараты. А это влечет за собой дополнительные затраты на их разработку, цены на новые препараты становятся еще выше, а следовательно, повышаются затраты на производство сельхозпродукции и, соответственно, их стоимость. Для борьбы с резистентностью используют методы чередования пестицидов различной химической природы в течение вегетационного периода и по годам [17].

Глубокое нарушение связей в экосистеме

Как известно, нет вредных и полезных организмов, каждый из существующих занимает определенное место в экосистеме и выполняет свою функцию. Изменение одного компонента экосистемы неизбежно приведет к изменению всех остальных. Например, в результате уничтожения нарушится численное соотношение между нежелательными для человека организмами и их естественными врагами (например, птицами). В результате будет наблюдаться снижение численности последних вслед за уменьшением объектов, которыми они питаются. Если нарушение превысит пределы устойчивости, то экосистема деградирует и разрушится. Наиболее опасны нарушения на уровне продуцентов, так как в результате возникают нарушения во всех остальных трофических уровнях.

Освободившаяся после уничтожения одного вида организмов экологическая ниша* никогда не будет пустовать, и на место уничтоженных могут прийти такие же с соседних территорий или совсем другие виды, которые могут быть еще более опасны для сельскохозяйственных культур. Например, отмеченное в ряде стран массовое размножение красного плодового клеща при обработке ДДТ плодовых связывают с гибелью хищных клещей тифлодромид, а кровяной тли – с уничтожением паразита тли афелинуса [15].

Существует также свойство живых организмов восстанавливать исходную численность популяции после каких-либо сильных воздействий за счет выработанных эволюцией механизмов регуляции. Поэтому, даже после обработки полей в ответ на резкое снижение численности популяции произойдет повышение рождаемости и вторичная вспышка количества уничтоженных ранее организмов. С другой стороны, прекращение длительного применения тех или иных пестицидов может также вызвать вспышку размножения организмов, длительное время угнетаемых пестицидами. Однако данные положения не являются правилом. Не всегда популяции полезных организмов способны в достаточно короткие сроки восстановить свою структуру.