



А. Н. Полтавский
К. С. Артохин

**Оценка токсической опасности
современных систем
химической защиты
полевых культур
(Моделирование деградации
пестицидов в почве)**



УДК [632.95.02+632.954]:504.5=047.36(035.3)

ББК 40.4

П52

Печатается по решению учёного совета Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета (протокол № 1 от 4 февраля 2020 г.)

Рецензенты:

профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов
Академии биологии и биотехнологии ЮФУ,
доктор биологических наук *О. С. Безуглова*;

ведущий научный сотрудник лаборатории биологического земледелия
и защиты растений, заместитель директора по научной работе ФГБНУ
«Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,
кандидат сельскохозяйственных наук *А. В. Гринько*

Полтавский, А. Н.

П52

Оценка токсической опасности современных систем химической защиты полевых культур (Моделирование деградации пестицидов в почве) : монография / А. Н. Полтавский, К. С. Артохин ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020. – 188 с.

ISBN 978-5-9275-3528-6

DOI: 10.18522/801273172

Монография посвящена математическому моделированию процессов деградации пестицидов в почве в масштабах полевых севооборотов, практикуемых в Ростовской области и Краснодарском крае. Используется метод имитационного моделирования на основе известных значений периодов полураспада действующих веществ в почве. Критерием сравнительной оценки систем химической защиты растений является агроэкотоксикологический индекс (АЭТИ), который вычисляется в динамике ежедекадно в течение всего года. Проанализированы 14 моделей 5–6- и 12-польных севооборотов, составленные на основе препаратов от разных производителей. Также для сравнения проанализирована одна система защиты яблоневое сада. Установлено, что наибольшее токсическое загрязнение вызывает гербицид глифосат, который рекомендуется убирать из систем защиты растений. При подборе разных пестицидов для решения одних и тех же задач контроля целевых объектов возможно существенно увеличить период, в течение которого на поле сохраняется незначительная токсическая опасность от 45 до 77 % времени севооборота.

Монография подготовлена в процессе работ по теме государственного задания Минобрнауки России № 6.6222.2017/БЧ: «Разработка стратегии, методов и технологий сохранения и рационального использования биологического разнообразия в условиях природных и урбанизированных территорий степной зоны европейской части России».

УДК [632.95.02+632.954]:504.5=047.36(035.3)

ББК 40.4

ISBN 978-5-9275-3528-6

© Южный федеральный университет, 2020
© Полтавский А. Н., Артохин К. С., 2020
© Оформление. Макет. Издательство Южного
федерального университета, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Защита растений в ландшафтной системе земледелия	7
1.1. Общие принципы стабилизации фитосанитарного состояния агробиоценозов	7
1.2. Интегрированная защита растений в рамках эколого- адаптивной концепции контроля численности вредных организмов	11
1.3. Снижение норм внесения инсектицидов против вредителей полевых культур	13
1.4. Пестициды в агроценозах и энтомофауна	15
1.5. Здоровая почва – основа устойчивого развития сельского хозяйства	17
2. Поведение пестицидов в почве	23
2.1. Химические группы пестицидов	23
2.2. Персистентность пестицидов	25
2.3. Оценка экологической опасности	30
2.4. Основы моделирования	33
2.5. Интегрированный экологический показатель	45
3. Моделирование токсических нагрузок на агроэкосистемы	50
3.1. Севообороты Ростовской области	50
3.1.1. Комплексные системы защиты полевых культур	56
3.1.2. Пятипольный хозяйственный севооборот	58
3.1.3. Шестипольный зернопропашной хозяйственный севооборот	78
3.1.4. Шестипольный зернопаропропашной севооборот	83
3.1.5. Проблема охраны опылителей	103
3.2. Севообороты Краснодарского края	106
3.2.1. Пятипольный зернопропашной севооборот	109
3.2.2. Двенадцатипольный зернопропашной севооборот	127
3.3. Деградация пестицидов в почве яблоневого сада	136
4. Результаты моделирования деградации пестицидов в почве	141
Список использованных источников	145
Приложения	151

1. ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ В ЛАНДШАФТНОЙ СИСТЕМЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

1.1. Общие принципы стабилизации фитосанитарного состояния агробиоценозов

В последние годы XX в. появились определённые предпосылки к переходу защиты растений на экосистемный уровень. Современной агробиологией перед учёными и практиками поставлена задача конструирования экологически устойчивых, высокопродуктивных, саморегулирующихся агроэкосистем и агроландшафтов.

Для удобства описания, исследования и моделирования экосистем их разделяют на единицы разных уровней и сложности. Первичной ячейкой агроэкосистемы является агроконсорция. В общем виде агроконсорция – это биокосная среда с комплексом организмов, состоящим из автотрофной ценоячейки и поселяющихся на ней фитофагов, зоофагов, фитопатогенов, присутствующих редуцентов, которые, взаимодействуя, объединяются в свои ценоячейки. В ней берёт начало биогеохимический круговорот вещества, протекает экосистемная жизнь, образуются биоценотические связи между организмами.

Агроконсорции устойчиво функционируют в течение вегетации растений и составляют, как ценозы полей (агроценозы), так и агробиогеоценозы, значительно большие, чем поля, территориальные образования. Агроценозы в полной мере не обладают устойчивостью и саморегуляцией целостного биогеоценоза [Подходы к конструированию агроэкосистем..., 2000]. Да и основная цель существования агроценозов – производство максимально возможного количества продукции в данных условиях – никак не совпадает с целями естественных саморегулируемых систем.

Сама по себе консорция, как мельчайшая ячейка, не является объектом воздействия в существующих технологиях сельского хозяйства. Объектом воздействия выступает агроценоз (всё поле целиком). Увлечение некоторых авторов излишним дроблением структур и уровней сложных систем возможно только для уточнения частных моментов взаимоотношений между трофическими звеньями в цепях питания. Дробление приводит к значитель-

ным ошибкам и искажениям в видении функционирования агроценозов (например, в вопросе о вредоносности сорняков).

В настоящее время сформировался новый подход к интегрированной защите растений, который предусматривает создание экологически стабильных агроценозов. Взаимоотношения между живыми организмами в них максимально приближены к таковым в естественных экосистемах. При проведении защитных мероприятий в сельском хозяйстве стали приниматься во внимание не только критерии опасности вредоносных организмов для сельскохозяйственных культур, но и наличие в агроландшафте полезных насекомых (в первую очередь энтомофагов и опылителей).

Экосистемный подход к защите растений предусматривает прежде всего сохранение на пахотных землях саморегулирующихся и самоорганизующихся целостных ранговых экосистем: агробиоценозов – многопольных образований, устойчиво функционирующих, сбалансированных по элементам питания полевых севооборотов. Важным элементом новой системы управления энтомоценозами является представление о системе триотрофа (растение – фитофаг – энтомофаг), в рамках которой находят приложение все управляющие воздействия на агроэкосистемы [Артохин, 2000; Воронин и др., 2002]. Такое несколько упрощенное и формализованное представление позволяет сузить для других целей формализации агроценоза и возможности принятия практических решений в обозримом круге факторов, способных влиять на урожай.

Некоторые авторы для исследования частных вопросов (например, вредоносности) выделяют даже очень маленькую часть агроценоза в виде всего лишь нескольких растений с сопутствующими консортами только одного уровня (вредителями или сорняками-конкурентами) [Зубков, 2014].

На агроландшафтном макроуровне защита растений может решать свои задачи путём влияния на характер землепользования. От контроля за вредителями на отдельных культурах она переходит к контролю в масштабе полевых экосистем в ранге агробиогеоценоза и агроландшафта [Подходы к конструированию агроэкосистем..., 2000].

Общепринятым считается положение о том, что человек регулирует агроэкосистемы. На самом деле он только управляет и модифицирует их в пределах саморегуляционных возмож-

ностей путём проведения агрономических мероприятий. Более того, агробиоценоз постоянно пытается исправить разрушенное в результате хозяйственной деятельности экологическое равновесие.

Популярная в настоящее время концепция органического земледелия основана на сокращении или полном отказе от применения синтетических минеральных удобрений, химических средств защиты растений и хранящихся продуктов урожая, регуляторов роста растений и генно-модифицированных организмов при максимальном использовании биопрепаратов и биотехнологий на всех стадиях и этапах сельскохозяйственного производства.

В рамках этой концепции строится биологическая защита растений от вредителей на основе использования биопрепаратов. Созданы новые классы пестицидов: биофунгициды – на основе грибов-антагонистов, действующих против грибов-возбудителей заболеваний растений и семян; биоинсектициды – на основе бактерий, вирусов и грибов, убивающих вредных насекомых.

Особым классом являются биологически активные вещества, регулирующие процессы жизнедеятельности фитопатогенов и повышающие иммунитет защищаемых растений и семян. Все биопрепараты делятся на две категории: биопестициды, которые основаны на использовании различных видов микроорганизмов и микроскопических грибов; и биоконтролирующие агенты, включающие виды насекомых-энтомофагов и нематод. В США зарегистрировано 70 биопестицидных агентов, в Китае – также 70, в России – 20 [Монастырский, 2016].

Постепенное улучшение экономических условий в России в конце XX – начале XXI столетия сопровождалось применением всё больших объёмов химических средств защиты растений и одновременным снижением применения биологических методов. В частности, к 1990 г. в СССР работали 1400 биофабрик и биолaborаторий по производству трихограммы, этот энтомофаг применялся на площади 18 млн га. Но в начале 90-х гг. XX в. начался кризис производства этого паразитоида. Причинами кризиса явились ликвидация государственной дотации отрасли (хотя практическое применение трихограммы не оценивалось экономически); снижение качества биоматериала (накопление нецелевых видов в культурах паразитоидов, рост рас с низкой жизнеспособностью и отсутствие постоянной селекции). Причём научные

исследования показали, что наибольшая эффективность от трихограммы может быть получена только в интегрированных системах в сочетании с другими энтомофагами, микроорганизмами, феромонами, регуляторами развития насекомых, агротехническим методом [Исмаилов и др., 2000].

Однако у биологических методов имеется целый ряд технологических недостатков: относительно невысокая эффективность по сравнению с пестицидами, замедленное действие, жесткие требования к культуре производства, хранению и технологии применения. Поэтому российские сельхозтоваропроизводители предпочитают использовать химический метод. Тем не менее в Ростовской области в 2001 г. биометод был применён уже на 340 тыс. га, что составляет 17 % от общего объёма химических обработок.

Несмотря на настойчивые попытки отказаться от применения пестицидов для защиты сельскохозяйственных культур от вредных организмов, химический метод остаётся пока наиболее рентабельным и технологичным. При этом пестициды являются мощным средством не только контроля численности вредителей, но и причиной разрушения экологического равновесия, а также несут токсикологическую опасность для человека.

Для уменьшения негативных воздействий на окружающую среду защита растений в ландшафтной системе земледелия базируется на трёх принципах: 1) агроэкологической адресности; 2) интегрированности; 3) многовариантности.

Реализация принципа адресности систем защиты предполагает их построение на основе объективного фитосанитарного анализа, причём не для административных образований, а для макро- и микрорегионов с однородными показателями (климатических зон, севооборотов, ландшафтов, полей).

Интегрированность защиты растений предполагает научно обоснованное применение, в зависимости от конкретной фитосанитарной обстановки, оптимального сочетания технологических операций по защите растений, включая агротехнический, химический и биологический методы управления.

Многовариантность определяется разнообразием регионов, агроландшафтов, полей, фитопатогенов, условиями развития растений, свойствами сортов, себестоимостью продукции, разными экономическими возможностями производителей, насыщенно-

стью рынка средствами защиты растений, требованиями экологической безопасности. В каждом конкретном случае разрабатывается оптимальная технология контроля за вредными объектами.

1.2. Интегрированная защита растений в рамках эколого-адаптивной концепции контроля численности вредных организмов

Для разработки систем интегрированной защиты растений необходим целый комплекс мер, включающих селекционную работу по выведению устойчивых к вредителям и болезням растений, агротехнические мероприятия в рамках районированных севооборотов, химическую и биологическую защиту растений.

Внедряемая в России в течение ряда лет безотвальная обработка почвы не вызвала, как ожидалось, положительных изменений в энтомокомплексах на полях озимой пшеницы. После некоторых колебаний трофической структуры энтомофауны в первые годы внедрения безотвальной обработки соотношение основных компонентов агроценозов стабилизируется на уровне, мало отличающемся от характерного для отвальной обработки [Подходы к конструированию агроэкосистем..., 2000].

Результаты исследований, проведённых в разных климатических зонах страны, показывают, что удобрения также оказывают некоторое влияние на степень развития вредителей, но оно недостаточно сильное, чтобы коренным образом изменить видовой состав или вредоносность фитофагов. В любом случае, внесение удобрений проводится без учёта их воздействия на энтомокомплексы. В сельскохозяйственной практике в расчёт принимаются только содержание NPK в почве и растении, осадки и планируемый урожай.

Реально действующим фактором, контролирующим численность насекомых в агроценозах, являются инсектициды. Как показано выше, существует три стратегии применения пестицидов: 1) нормативная – без учёта степени развития вредных и полезных для экосистем насекомых; 2) интегрированная – в зависимости от плотности популяций вредных и полезных видов на конкретном поле; 3) ландшафтная – с учётом фитосанитарного состояния всего агробиоценоза.

Современное состояние интегрированной стратегии в России и по всему миру оценивается как критическое. Причины этого кризиса и экономические, и теоретические, и оперативные, и информационные. В частности, указывается, что «искусственно завышенные рыночные стандарты – главное препятствие на пути разработки и внедрения в производство плодов и овощей экологически обоснованных программ управления...», в результате чего «...производитель, уступая требованиям рынка, как правило, делает ставку на применение высокотоксичных универсальных пестицидов и вновь оказывается в порочном кругу...» [Сугоняев, Ниязов, 2004]. Это происходит из-за массовой гибели энтомофагов и развития резистентности у вредителей. Как результат – снижение рентабельности производства сельскохозяйственной продукции.

Математизация программ контроля за вредителями привела к созданию сложных компьютерных моделей. Но попытки заложить в основу моделей взаимодействие в триотрофе «растение – фитофаг – энтомофаг» в изменяющихся условиях среды не увенчались успехом. Процессы, которые протекают в столь сложных биологических системах, определяются как хаос, «то есть изменения, имеющие неопределённый характер и мало поддающиеся прогнозированию» [Там же].

При следовании адаптивным принципам контроля за вредителями инсектициды включаются в процессы управления агроценозами в качестве дополнительного регулирующего фактора, повышающего эффективность естественной регуляции динамики численности вредителей. При этом наибольшего внимания заслуживают технологии возделывания культуры, которые оказывают управляющее влияние на агроценоз. Сочетание управляющих и регулирующих воздействий позволяет подойти к оптимизации состояния агроценоза с учётом требований сельскохозяйственной практики.

Изложенные теоретические предпосылки показывают, что интегрированная защита растений в своей основе должна базироваться на стратегии управления фитосанитарным состоянием агроценозов как сложных, саморегулирующихся экологических систем.

Для принятия адекватных мер в процессе управления агроценозами первостепенное значение имеет мониторинг вредных

объектов, который должен помочь агроному-практику составить верное представление о степени воздействия вредителей, сорняков и болезней на культуру.

Принципы управления позволяют существенно снизить токсическое воздействие пестицидов на агроценозы. Это актуально как с экономической, так и с экологической точки зрения. В то же время выбор землепользователем технологии защиты определяется многими обстоятельствами, в том числе: производственной задачей, региональной фитосанитарной обстановкой, рельефом и климатом, типами почв, площадью пашни и севооборотами. В масштабах конкретных севооборотов реализуется часть принципов контроля за вредными объектами. Поэтому оценку систем защиты растений и, соответственно, уровней токсических нагрузок целесообразно проводить на примере рекомендованных для условий региона севооборотов.

1.3. Снижение норм внесения инсектицидов против вредителей полевых культур

На первом этапе разработки интегрированных систем защиты растений главным теоретическим достижением был отказ от стратегии истребления вредителей, а основной задачей – разработка порогов вредоносности для определения целесообразности проведения защитных мероприятий [Новожилов, 1975]. Основной методологический инструмент регламентации проведения защитных мер предусматривает обработку только тех полей, где численность фитофагов превышает ЭПВ.

ЭПВ можно рассматривать и как элемент экологического нормирования по сдерживанию экологической угрозы со стороны пестицидов. Эффективность большинства современных препаратов при нормативном применении составляет почти 100 %. Это доказано для большинства основных вредителей [Артохин, 2001а, б]. Такая высокая эффективность избыточна, когда численность вредителя на поле превышает ЭПВ в 3–4 раза.

Экологическим обоснованием норм расхода инсектицидов по *эколого-адекватному методу* (ЭАМ) выступает количественная зависимость эффективности препарата от нормы его расхода. Наиболее удобной моделью для описания этой зависимости является асимптотическая функция. Например, зависимость эф-

фактивности инсектицида лямбда-цигалотрин (Y) от нормы расхода (x) в отношении опасного вредителя – клопа вредная черепашка – описывается уравнением: $Y = 2,56 \cdot \ln(x) + 87,5$. Для инсектицида имидаклоприд зависимость в отношении саранчовых описывается уравнением $Y = 10,38 \cdot \ln(x) + 65,15$. Эффективность имидаклоприда составила 91–100 % при нормативном применении, и только при снижении до 1/16 нормы биологическая эффективность снизилась до 67 %.

Аналогичная зависимость инсектицида дельтаметрин против перелётной саранчи описывается уравнением $Y = 18,95 \cdot \ln(x) + 40,64$. Биологическая эффективность 91 % была получена при 1/8 нормы расхода, что является удовлетворительным результатом. Только при снижении нормы дельтаметрина в 16 раз эффективность снизилась до неприемлемых 55 % [Артохин и др., 2013].

В XXI в. в России продолжают регистрироваться высокотоксичные для пчёл инсектициды из группы неоникотиноидов [Список пестицидов и агрохимикатов, 2019]. Существуют экологические регламенты применения этих препаратов по температуре и пространственной изоляции в 5 км от пасек медоносных пчёл. Но одиночные пчёлы-опылители в этих регламентах никак не учитываются. Сама регистрация неоникотиноидов против личинок клопа – вредной черепашки является нарушением экологических ограничений по применению данных препаратов: выше 15 °С их применять нельзя, но в период борьбы с черепашкой не бывает температур ниже 15 °С. Иначе говоря, пространственную изоляцию в отношении одиночных пчёл при таком регламенте осуществить невозможно. Долгое игнорирование этих обстоятельств привело к тому, что летом 2019 г. в областях Центральной России была отмечена массовая гибель медоносной пчелы. Причиной было названо бесконтрольное применение неоникотиноидов (www.apeworld.ru).

Были выявлены факты отрицательного влияния неоникотиноидов (Конфидор, Актара, Моспилан, Калипсо) на опылителей и урожай энтомофильных культур. Обработка посевов против личинок вредной черепашки на территории одного хозяйства приводит к гибели одиночных пчёл и отсутствию опылите-

лей даже в соседних хозяйствах и снижению урожая подсолнечника и люцерны. Поэтому для экотехнологий необходим полный запрет применения неоникотиноидов в агроэкосистемах в период лёта пчёл (с мая по август для юга России) [Игнатова, Артохин, 2012a].

Возможно также существенное снижение норм расхода гербицидов. Так, было установлено, что виды семейства капустных (Brassicaceae) имеют высокую чувствительность к гербицидам класса сульфонилмочевин. Поэтому была проверена возможность применения гербицидов с нормой расхода препаратов в 2–3 раза меньше норматива. Результаты по биологической эффективности гербицидов оказались одинаковыми в отношении доминирующих крестоцветных сорняков: горчица полевая, дескурения Софьи, ярутка полевая. Поэтому экологически нецелесообразно использовать во всех случаях полную норму гербицида [Игнатова, Артохин, 2012б].

При выборе гербицида необходимо учитывать не только спектр его действия и эффективность, но и его последствие в севообороте, особенно в отношении пропашных культур. Если весной использовать препараты с длительным периодом сохранения в почве и на следующий год на этом поле планируется посев свёклы, рапса или подсолнечника, то вероятны проблемы последствия. Для снижения токсического эффекта возможны различные схемы применения гербицида.

Кроме того, было установлено, что дробное внесение гербицидов пониженными нормами снижает эффект прямой фитотоксичности на защищаемую культуру, а также отдаляет во времени применение гербицида от последующей чувствительной культуры, чем достигается экологическая стабилизация продуктивности агроэкосистемы в целом [Там же].

1.4. Пестициды в агроценозах и энтомофауна

В СССР в 60-х гг. XX в. для защиты растений широкомасштабно применялись высокотоксичные хлорорганические инсектициды: 4,4'-дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДТ), а в 70–80-х гг. – гексахлорциклогексан (ГХЦГ), вплоть до 1986 г.,

когда их использование было официально запрещено. Гамма-гексахлорциклогексан (линдан) и смесевые препараты линдана с фосфоритной мукой были официально запрещены к применению 13 марта 1990 г. Их остатки продолжали использоваться некоторыми хозяйствами ещё некоторое время для выработки накопленных запасов.

Данные токсикологического мониторинга о резком снижении уровней содержания опасных для человека и природы хлорорганических пестицидов (вплоть до следовых количеств) в воде рек бассейна Азовского и Чёрного морей [Zhulidov et al., 2003] подтверждают отсутствие использования хлорорганики для защиты растений в XXI в.

К началу 90-х гг. XX в. ассортимент средств борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур был представлен 74 действующими веществами и 169 препаратами. Значительно снизилось число фосфорорганических соединений. Были запрещены для применения карбаматы: Севин и Сайфос. Значительные изменения произошли в ассортименте пиретроидов, число действующих веществ которых увеличилось до 12. Появились также инсектициды принципиально нового механизма действия – ингибиторы синтеза хитина: дифлубензурон (Димилин) и феноксикарб (Инсегар); неоникотиноиды: имидаклоприд (Конфидор), ацетамиприд (Моспилан), тиаметоксам (Актара).

В XXI в. на смену старым пестицидам приходит всё большее число новых препаративных форм. Все они характеризуются гораздо меньшей токсичностью для людей, меньшим накоплением в буферной системе почвы, самыми разными сроками распада на нетоксичные компоненты (от нескольких суток до 3–4 месяцев), различной подвижностью в почве и в растениях. Широкое разнообразие пестицидов, хотя и менее токсичных для окружающей среды, создало новую ситуацию в экомониторинге. Пестициды превратились в мощный, постоянно действующий экологический фактор.

Актуальным направлением работы становится долгосрочная агроэкологическая регуляция соотношения полезных и вредных видов насекомых в агроценозах. Помимо чисто энтомологических исследований требуется оценка влияния технологий защиты растений на формирование агроэкосистем.

1.5. Здоровая почва – основа устойчивого развития сельского хозяйства

Деградация почвы – распространённое явление во всём мире. Хотя качество почвы может быть улучшено путём рекультивации, большинство антропогенных воздействий прямо или косвенно приводит к деградации почвы.

Деградация почв и снижение почвенного плодородия ведут к уменьшению запасов гумуса и основных питательных веществ – NPK и микроэлементов, изменению кислотности почв, переуплотнению почв, ухудшению структуры и гранулометрического состава, переувлажнению почв, засолению почв, их разрушению и утрате в результате водной и ветровой эрозии, а также при масштабных строительных и горнодобывающих работах.

Обычно выделяют физическую (эрозия, запечатывание, уплотнение и т. д.) и химическую (засоление, химическое загрязнение) деградацию почвы. Наиболее распространённым типом антропогенного воздействия на окружающую среду остаётся техногенное химическое загрязнение.

Страны Евросоюза являются крупнейшими потребителем пестицидов в современном мире (табл. 1.1, 1.2). В конце XX в. нагрузка пестицидов была меньше на полях, занятых травами и фуражной зеленью, и составляла 1 кг/га. Нагрузки в диапазоне 1–5 кг/га были характерны для фуражной кукурузы, зерновых и масличных культур. Пестициды в высоких дозах применялись для обработки винограда, овощных и плодовых культур, цветочных луковец, картофеля и сахарной свёклы [Бутовский, 2010].

В течение последних пяти лет на мировом рынке химических средств защиты растений (СЗР) практически не наблюдалось роста. По данным исследований компании «Клеффманн Групп», за период с 2015 г. рынок рос в среднем на 0,7 % ежегодно и в конце 2018 г. достиг уровня 55,3 млрд долл. США. По предварительным оценкам, в 2019 г. мировой рынок СЗР достигнет уровня 55,7 млрд долл. США. Ожидается, что к 2020 г. темп роста рынка ускорится, однако это ускорение не будет обеспечено за счёт Северной Америки или Европы. Основными драйверами роста на сегодняшний день являются рынки Азии и Латинской Америки [Манукян, 2020].

Таблица 1.1

Общие продажи пестицидов в 10 странах ЕС (в тоннах активно действующего вещества) [Kohsiek et al., 1994]

Страна	Дезинфектанты	Фунгициды	Гербициды	Инсектициды
Бельгия	900	2160	4770	360
Дания	76	1555	4506	289
Франция	4807	49775	36075	6657
Германия	–	10151	14756	4558
Греция	640	10384	3411	2818
Италия	–	27934	9234	3941
Нидерланды	9830	4063	3271	1554
Португалия	–	21288	1055	587
Испания	4518	33496	6360	2643
Великобритания	76	5522	19625	690

Примечание. Дезинфектанты – протравители семян и средства обработки посадочного материала.

Североамериканский рынок СЗР уже достаточно давно стагнирует. Это вызвано прежде всего тем, что практически весь потенциал роста рынка исчерпан. В случае с Европой рынок СЗР также стагнирует и даже начал падать. Это связано с ужесточением экологического законодательства. Например, во Франции наблюдается серьёзный спад, в основном из-за принимаемых программных мер, которые имеют название «План Экофито» и предусматривают сокращение объёма применения пестицидов в масштабах страны. Кроме того, с европейского рынка выводится довольно большое количество действующих веществ.

По данным «Клеффманн Групп», Франция пока ещё сохраняет статус крупнейшего в Европе рынка СЗР, однако он падает, в то время как российский рынок СЗР растёт огромными темпами, и можно ожидать, что в ближайшие годы Россия возглавит этот рейтинг (рис. 1.1).

Разрушительность воздействия пестицидов на почвенные экосистемы зависит от их химических свойств. Стойкость пестицидов в почве может сильно варьироваться: от нескольких часов (фумиганты, нематоциды) до десятилетий (хлорорганические). Их токсичность может влиять на одну группу или на широкий спектр организмов.

Таблица 1.2

**Средняя величина нагрузки пестицидов на различных культурах
во Франции (кг/га) [Koshiek et al., 1994]**

Культура	Дезинфектанты	Фунгициды	Гербициды	Инсектициды
Плодовые	–	–	–	1,12
Овощи	–	4,50	1,19	0,42
Зерновые	0	0,36	1,07	0,17
Масличные	0	0,52	2,51	0,67
Картофель	0	1,97	0,94	0,14
Сахарная свёкла	0,14	2,20	6,26	0,37
Кукуруза	0	–	2,69	0,53
Виноград	2,67	39,1	2,81	0,48

Некоторые пестициды могут аккумулироваться и концентрироваться в телах почвенных организмов и передаваться по трофическим цепям. После попадания пестицидов в окружающую среду они претерпевают ряд превращений в результате распада (разложения), сорбции, накопления растениями и миграций. Эти процессы в значительной степени определяют выщелачивание пестицидов и их миграцию в грунтовые воды.

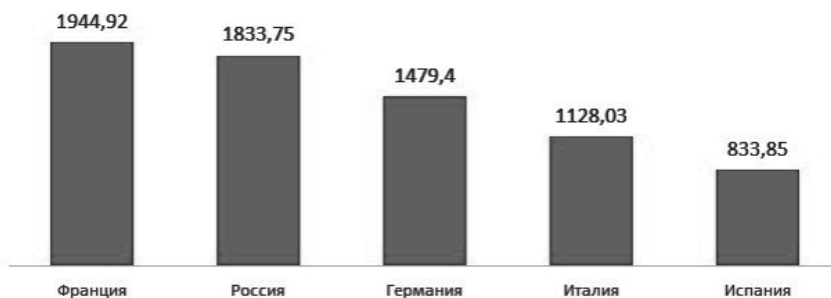


Рис. 1.1. ТОП-5 крупнейших рынков СЗР в Европе, данные AgroGlobe by Kleffmann Group, млн долл. США (объемы продаж СЗР в ценах EXW в 2018 г.)

На сегодняшний день Россия является наиболее быстро растущим рынком СЗР в мире. По данным исследований компа-

нии «Клеффманн Групп», в 2019 г. российский рынок пестицидов вырос на 28 %, превысив уровень в 160 млрд руб. (рис. 1.2).

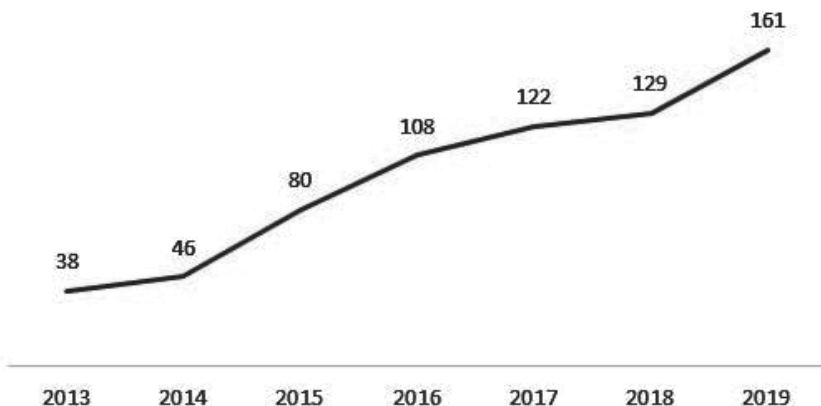


Рис. 1.2. Рост рынка пестицидов в России во втором десятилетии XXI в. (млрд руб.)

Основным драйвером роста российского рынка СЗР в 2019 г. была интенсификация сельскохозяйственного производства. По данным Минсельхоза России, в 2019 г. посевные площади под зерновыми увеличились на 0,5 млн га, под масличными – на 0,6 млн га, по большей части за счёт расширения площадей под подсолнечником и соей, посевные площади под сахарной свёклой остались практически на уровне 2018 г. Незначительно выросли посевные площади под кукурузой на зерно.

Рост посевных площадей под данными культурами послужил благоприятным фактором для экстенсивного роста применения СЗР, в частности, это способствовало росту рынка гербицидов, составляющих половину всего российского рынка СЗР.

С другой стороны, немаловажный вклад внесло усиление процессов интенсификации применения СЗР на посевах. Данный фактор особенно повлиял на рынок фунгицидов и инсектицидов. Последний в 2019 г. стал исключением ввиду усложнившейся ситуации с вредителями, особенно на посевах рапса. Например, объёмы применения инсектицидов против капустной моли

в 2019 г. выросли более чем в 7 раз, что является рекордным для данной культуры. При этом многие производители пестицидов сообщали о дефиците продукции на складах. Ажиотажный спрос на инсектициды приводил к тому, что хозяйства в панике покупали всё, что попадалось под руку, чтобы уберечь свои посевы от полного уничтожения, некоторые хозяйства вводили 2–3 дополнительные инсектицидные обработки.

В отличие от инсектицидов, рост рынка фунгицидов более связан с качественными факторами, такими как необходимость поддержания требуемого качества зерна на экспорт, повышения урожайности за счёт интенсификации производства. По данным исследований компании «Клеффманн Групп», за последние 7 лет доля посевов зерновых культур, на которых применялся хотя бы один фунгицид, выросла с 24 до 44 % в 2019 г. Для сравнения: в Польше аналогичный показатель превышает 80 %, что свидетельствует о наличии потенциала для роста данного рынка в России в будущем.

Ожидается, что в ближайшие годы российский рынок пестицидов будет продолжать активный рост, поддерживаемый как экстенсивными, так и интенсивными факторами. В первом случае политика Минсельхоза России по стимулированию вовлечения законсервированных площадей в оборот будет способствовать появлению новых площадей, на которых будут применяться пестициды. Во втором случае план Минсельхоза по увеличению экспорта сельскохозяйственной продукции до 45 млрд долл. США, на достижение которого планируется выделить 407 млрд руб. за 6 лет, будет также стимулировать интенсификацию производства как для повышения урожайности культур, так и для улучшения качественных характеристик продукции сельского хозяйства [Манукян, 2020].

В России применение пестицидов в расчёте на 1000 га общей площади территории совпадает с основными районами земледелия и максимальной распаханностью территории. Снижение объёмов применения пестицидов после распада СССР положительно сказалось на природной среде сельскохозяйственных регионов. Наиболее ярким подтверждением этого факта являются хлорорганические инсектициды, которые широко использовались в СССР в 1960–1985 гг. Подсчитано, что в сельскохо-

зайятвенных регионах юга Российской Федерации за период 1946–1990 гг. всего было внесено до 500 т ДДТ в пределах каждого широтно-меридионального градуса, что в среднем составило до 60 кг/га. Затем, с 1965 по 1990 г., уровень применения хлорорганики постепенно снизился в 10 раз. В XXI в. в стоках Дона и других южных рек уже не обнаруживается даже следов хлорорганики [Li et al., 2004].

Здоровая почва, в противоположность деградированной, антропогенно нарушенной, загрязнённой или больной (кондуктивной), выступает в социо- и экосфере в качестве: а) постоянно действующего фактора устойчивого функционирования экосферы, обеспечивающего биологическую продуктивность природных и антропогенных биогеоценозов, разнообразие и эволюцию её биоты; б) аккумулятора энергии и биофильных элементов, стабильно обеспечивающего потенциальную биопродуктивность наземных экосистем, их непрерывное функционирование в качестве глобального источника (и резервуара) биофильных элементов и разнообразной биоты; в) связующего звена биологического и геологического круговорота веществ и энергии; г) уникальной средообразующей, средозащитной и оздоравливающей биоэкосистемы.

Эти функции здоровой почвы непрерывно поддерживают происходящие в ней процессы – биологические, биогеохимические, физико-химические и информационные. В агро- и социосфере именно они обеспечивают экологичность сопряжённых с почвой сред. Здоровье почвы, в конечном счёте, определяет здоровье и качество жизни самого человека [Соколов и др., 2016].

Риски применения пестицидов в сельском хозяйстве вызывают озабоченность во всех экономически развитых странах мира. Так, на специальном заседании Научного комитета Евросоюза по вопросам здравоохранения и экологических рисков (European Food Safety Authority) был принят специальный документ, в котором подчёркивается актуальность кумулятивного и синергического действия пестицидов [Toxicity and Assessment..., 2011]. В России в настоящее время эта проблема решается методами математического моделирования содержания пестицидов в почве после их применения на разных культурах.