

МИКОПЕСТИЦИДЫ: ПОНЯТИЕ И ЗНАЧЕНИЕ

Муравьева Марина Владимировна

1. ФГБОУ ВО «РГАУ — МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, РФ

Докт. экон. наук, профессор

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема развития рынка микопестицидов — биологических средств защиты растений на основе грибных микроорганизмов (микромикетов) или их метаболитов. Обоснована значимость микопестицидов как экологически безопасной альтернативы химическим пестицидам: они отличаются избирательностью действия, биоразлагаемостью и меньшим риском загрязнения агроэкосистем. Выделены ключевые причины актуальности исследования: экологические риски от применения химических пестицидов (загрязнение почвы и вод, угроза биоразнообразию); нарастание резистентности вредителей к химическим средствам; растущий спрос на органическую продукцию; необходимость обеспечения продовольственной безопасности при минимизации антропогенной нагрузки. Цель работы — сформировать целостное научное представление о рынке микопестицидов как перспективном сегменте биопестицидов. Задачи включают определение понятия «микопестициды», систематизацию знаний о их классификации, механизмах действия и прикладном потенциале, а также обоснование актуальности их внедрения в агропрактику. В обзоре проанализированы современные научные источники (в т. ч. работы Zaki et al., 2020 и Jiang & Wang, 2023), показывающие, что микопестициды занимают около 10 % глобального рынка биопестицидов, но их распространение сдерживают биологические, технологические и регуляторные барьеры (нестабильность активного вещества, сложность регистрации, недостаточная осведомленность участников рынка). Описаны исторические этапы развития микопестицидов, от первых открытий XIX века до современной коммерциализации, а также приведена типология грибных агентов (энтомопатогенные грибы, грибы-антагонисты) и основные критерии классификации микопестицидов. Сделан вывод, что микопестициды формируют динамично развивающийся сегмент СЗР; их дальнейшее совершенствование связано с углублением знаний о грибной физиологии, оптимизацией культивирования и формулирования, а также с разработкой стратегий комбинированного применения в устойчивом земледелии.

Ключевые слова микопестициды, биопестициды, микромикеты, защита растений, экологическая безопасность, резистентность вредителей, органическое земледелие, энтомопатогенные грибы, грибы-антагонисты, рынок биопестицидов, интегрированная защита растений, биодegradация, сельскохозяйственная экология, биологическая активность, классификация микопестицидов.

Для цитирования: Муравьева Марина Владимировна МИКОПЕСТИЦИДЫ: ПОНЯТИЕ И ЗНАЧЕНИЕ / Муравьева Марина Владимировна // Агрофорсайт. 2025. № 3— Саратов: ООО «ЦеСАин», 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.

Финансирование: исследование проводилось за счет собственных средств.

MYCOPESTICIDES: CONCEPT AND SIGNIFICANCE

Marina Vladimirovna Muravyova,

1. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy", Moscow, Russian Federation
Doctor of Economics, Professor

Abstract. This article examines the current development of the mycopesticide market—biological plant protection products based on fungal microorganisms (micromycetes) or their metabolites. The importance of mycopesticides as an environmentally friendly alternative to chemical pesticides is substantiated: they are selective in action, biodegradable, and pose a lower risk of contaminating agroecosystems. Key reasons for the relevance of the study are highlighted: environmental risks from the use of chemical pesticides (soil and water pollution, threats to biodiversity); increasing pest resistance to chemicals; and growing demand for organic products. The need to ensure food security while minimizing anthropogenic impacts. The aim of this study is to develop a comprehensive scientific understanding of the mycopesticides market as a promising segment of biopesticides. The objectives include defining the term "mycopesticides," systematizing knowledge about their classification, mechanisms of action, and potential

applications, and substantiating the relevance of their implementation in agricultural practice. The review analyzes current scientific sources (including Zaki et al., 2020 and Jiang & Wang, 2023), demonstrating that mycopesticides account for approximately 10% of the global biopesticides market, but their distribution is hindered by biological, technological, and regulatory barriers (instability of the active ingredient, registration difficulties, and insufficient awareness among market participants). The historical stages of mycopesticide development, from the first discoveries in the 19th century to modern commercialization, are described. A typology of fungal agents (entomopathogenic fungi, antagonist fungi) and the main criteria for mycopesticide classification are presented. It is concluded that mycopesticides form a dynamically developing segment of plant protection products; their further improvement is associated with a deeper understanding of fungal physiology, optimization of cultivation and formulation, and the development of strategies for combined use in sustainable agriculture.

Keywords: mycopesticides, biopesticides, micromycetes, plant protection, environmental safety, pest resistance, organic farming, entomopathogenic fungi, antagonist fungi, biopesticide market, integrated crop protection, biodegradation, agricultural ecology, biological activity, mycopesticide classification.

Введение

Микопестициды представляют собой биологические средства защиты растений, в основе которых лежат микроорганизмы грибного происхождения (микромикеты) либо продукты их метаболизма, обладающие фитопатогенной, инсектицидной, нематоцидной или гербицидной активностью. В отличие от синтетических пестицидов, микопестициды относятся к классу биопестицидов и характеризуются более высокой экологической безопасностью, избирательностью действия и способностью к биодegradации без формирования стойких токсичных остатков в агроэкосистемах. Их применение соответствует современным принципам интегрированной защиты растений, направленным на минимизацию антропогенной нагрузки при сохранении продуктивности агроценозов.

Изучение рынка микопестицидов является одним из перспективных направлений аналитики в сфере средств защиты растений, что связано с рядом условий: изменением мирового рынка, ориентированного на органическую продукцию, развитием биотехнологии. В настоящее время анализ рынка микопестицидов недостаточно изучен как в отечественной, так и зарубежной научной и аналитической литературе. Статья направлена как на краткое представление о микопестицидах, так и на рассмотрение их классификации как элемента сегментации рынка, так и на изучение состояния микопестицидов, что является базой в формировании представлений о текущем состоянии и будущих перспективах разработок микопестицидов.

Актуальность изучения микопестицидов связана с рядом причин:

Во-первых, необходимостью конкурентности с химическими пестицидами из-за экологических рисков и эффектом селективности. Широкое применение химических пестицидов приводит к серьёзным экологическим последствиям: загрязнению почвы, грунтовых и поверхностных вод, накоплению токсичных веществ в экосистемах. Кроме того, значительная часть ХСЗР достигают нецелевых организмов — полезных насекомых, птиц, рыб и других животных. Это нарушает биоразнообразие, снижает плодородие почвы и может приводить к долгосрочным изменениям в экосистемах. Микопестициды, в отличие от химических аналогов, обладают более высокой избирательностью действия, меньшей токсичностью для нецелевых организмов и способностью к биодegradации, что снижает риск загрязнения окружающей среды.

Во-вторых, проблема резистентности вредителей. Регулярное применение химических пестицидов способствует развитию устойчивости (резистентности) у вредителей, патогенных грибов и сорняков. Это происходит из-за естественного отбора: выжившие особи передают гены устойчивости следующим поколениям. В результате препараты теряют эффективность, что требует увеличения доз или поиска новых средств борьбы. Микопестициды действуют на несколько механизмов жизнедеятельности целевых организмов одновременно, что усложняет формирование резистентности.

В-третьих, рост спроса на экологически чистую продукцию. В мире наблюдается тенденция к увеличению потребления продуктов, произведённых с минимальным использованием химических веществ. Микопестициды могут способствовать развитию органического земледелия, так как считаются более безопасными для окружающей среды и здоровья человека при правильном применении.

В-четвертых, продовольственная безопасность. Потери урожая из-за вредителей, болезней и неблагоприятных условий могут достигать 26% мирового производства. Поиск эффективных и безопасных методов защиты растений критически важен для обеспечения продовольственной безопасности, особенно в условиях роста населения планеты. Микопестициды могут стать частью интегрированных систем защиты растений, снижая зависимость от химических средств.

Таким образом, исследование микопестицидов актуально как с практической, так и с научной точки зрения. Оно направлено на поиск баланса между необходимостью защиты растений и минимизацией негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, что особенно важно в условиях глобальных вызовов современности.

Цель статьи - сформировать целостное научное представление о рынке микопестицидов как перспективном сегменте биопестицидов: раскрыть их сущность, систематизировать знания о классификации, механизмах действия и прикладном потенциале, а также обосновать актуальность их изучения и внедрения в современную агропрактику.

Задачи статьи:

1. Дать чёткое определение понятия «микопестициды».
2. Представить развёрнутую классификацию микопестицидов по основным критериям как сегментов рынка.

Обзор источников

Как было отмечено выше научных исследований посвященных микопестицидам немного. Так <https://www.researchgate.net/> около 100 статей содержат информацию про микопестициды, в том числе с 2020 года 24 публикаций. В РИНЦ - всего 4 статьи. Это связано с тем, что в основном рассматривают потенциал энтопатогенных грибов в сфере защиты растений. При этом статьи которые характеризуют рынок микопестицидов практически нет.

В статье Zaki, Omran & Frederic, Weekers & Thonart, Philippe & Tesch, Erin & Kuenemann, Philippe & Jacques, Philippe (2020) «Limiting factors of mycopesticide development» (Biological Control. 144. 104220) анализируются ключевые ограничения развития микопестицидов: установлено, что микопестициды составляют лишь 10% глобального рынка биопестицидов (по данным на 2016 г.), несмотря на их экологичность и разнообразие механизмов действия (например, у грибов *Trichoderma harzianum* и Т.

atroviride — конкуренция за питательные вещества, прямой антагонизм, микопаразитизм, индукция устойчивости у растений), основным сдерживающим фактором является нестабильность активного вещества (грибных пропагул — спор, гиф), чувствительных к температуре, УФ-излучению, высыханию; значимую роль играет выбор типа пропагул (конидии, споридии) и способа их производства (твёрдофазная или погружная ферментация) — так, конидии, полученные методом твёрдофазной ферментации, более устойчивы к стрессам; серьёзным барьером выступает сложная и длительная процедура регистрации биопестицидов в ЕС, высокая стоимость производства, короткие сроки хранения и недостаточная осведомлённость фермеров и регуляторов о преимуществах микопестицидов; авторы предлагают пути преодоления ограничений: разработка новых субстратов и технологий твёрдофазной ферментации для повышения стабильности пропагул, упрощение процедуры регистрации в ЕС (присвоение статуса «вещества с низким риском»), улучшение формулировок для защиты грибных клеток от внешних факторов, повышение осведомлённости участников рынка; в целом статья подчёркивает, что сочетание биологических, технологических и регуляторных проблем сдерживает массовое внедрение микопестицидов, при этом их потенциал для снижения зависимости сельского хозяйства от химических средств защиты растений остаётся высоким.

В статье Jiang и Wang (2023) «The Registration Situation and Use of Mycopesticides in the World» (Journal of Fungi, 9:940) проанализирована ситуация с регистрацией микопестицидов (живых препаратов на основе грибных клеток — спор и гиф) в США, ЕС, Китае, Канаде и Австралии. Авторы прослеживают историю использования грибов для борьбы с сельскохозяйственными вредителями (начиная с 1880 г.), отмечают, что первый микопестицид (*Beauveria bassiana* под маркой Boverin®) был зарегистрирован в 1965 г. в СССР. В обзоре показано резкое увеличение числа зарегистрированных микопестицидов в последние годы: на текущий момент зарегистрировано 27 штаммов грибов в качестве инсектицидов, 53 — в качестве фунгицидов (нематоцидов) и 8 — в качестве гербицидов. Исследователи рассматривают ключевые проблемы отрасли (нестабильность эффекта, медленное действие, чувствительность к внешним факторам) и предлагают пути развития микопестицидов, подчёркивая их экологическую безопасность, низкие затраты на разработку по сравнению с химическими пестицидами (1–2 млн долларов против 250 млн долларов) и более короткий срок вывода на рынок (3–5 лет вместо 10 лет). Также отмечены различия в регуляторных подходах: в США EPA предъявляет менее строгие требования к регистрации биопестицидов и сокращает сроки рассмотрения заявок, в то время как на рынке ЕС микробные пестициды представлены слабее из-за жёсткой регуляторной политики.

Основная часть

1. Понятие «микопестицидов» и их история

Понятие микопестицидов охватывает широкий спектр препаратов, различающихся по таксономической принадлежности продуцента, механизму действия, форме выпуска и сфере применения.

Микопестициды представляют собой биологические средства защиты растений, функционирование которых базируется на естественных микробиологических процессах: паразитизме грибов по отношению к целевым вредным организмам, антагонистической

конкуренции за субстрат и синтезе вторичных метаболитов с биоцидными свойствами (включая микотоксины, гидролитические ферменты и антибиотики).

Их ключевыми отличительными признаками выступают: биологическая природа (в качестве активного компонента используются живые грибы либо их структурные элементы — споры и мицелий, а также продукты метаболизма), специфичность источника действующего вещества (грибы различных таксономических групп, в том числе энтомопатогенные виды *Beauveria bassiana*, *Metarhizium*, *Lecanicillium* и гиперпаразиты типа *Ampelomyces quisqualis*), а также многообразие механизмов действия, включающих прямое инфицирование целевого организма, продукцию токсических и ферментативных соединений, антагонистическое подавление патогенов и индукцию системной устойчивости у растений-хозяев.

Таблица 1. – Разграничение с другими группами пестицидов

Критерий	Микопестициды	Химические пестициды	Бактериальные пестициды	Вирусные пестициды
Происхождение	Грибы или их метаболиты	Синтетические химические соединения	Бактерии или их токсины	Вирусы
Активный компонент	Споры, мицелий, ферменты, микотоксины	Химические молекулы (например, неоникотиноиды, глифосаты)	Бактерии, бактериальные токсины (например, Bt-токсин от <i>Bacillus thuringiensis</i>)	Вирусные частицы
Механизм действия	Инфицирование, выработка токсинов, антагонизм, индукция устойчивости растений	Токсическое воздействие на целевые организмы	Инфицирование вредителей, выработка токсинов	Инфицирование насекомых, размножение внутри клеток
Скорость действия	Обычно медленнее, чем у химических	Быстрое действие	Может варьироваться, часто требует времени для развития инфекции	Требует времени для инфицирования и размножения вируса
Специфичность	Часто узкоспецифичны, действуют на определённые группы организмов	Могут иметь широкий спектр действия	Специфичны для определённых видов вредителей	Узкоспециализированы (например, вирусы насекомых поражают только конкретных хозяев)
Экологический профиль	Биоразлагаемы, меньше накапливаются в среде, но требуют особых условий хранения	Могут накапливаться в почве и воде, устойчивы в среде	Биоразлагаемы, но чувствительны к условиям среды	Биоразлагаемы, не накапливаются

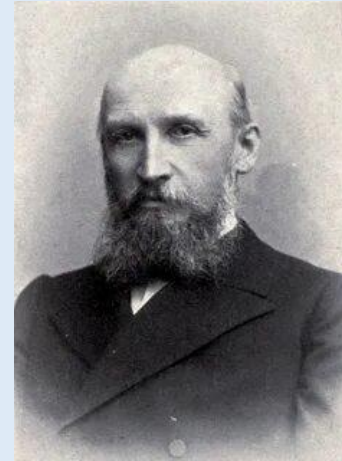
История и этапы развития микопестицидов в рамках энтопатологии

Этап зарождения. В XIX веке зарождение интереса к использованию грибов в качестве средств защиты растений было обусловлено развитием микологии и фитопатологии: хотя целенаправленные исследования микопестицидов как отдельной категории начались позднее, ряд ключевых открытий того периода заложил фундамент для их последующего изучения.



Генрих Антон де Бари
(нем. Heinrich Anton de Bary)

Немецкий миколог и фитопатолог Г. А. де Бари (1831–1888) впервые доказал, что грибы выступают не следствием, а причиной болезни растений, изучив цикл развития стеблевой ржавчины злаков и установив разнохозяйность её возбудителя.



Михаил Степанович Воронин
(1838–1903)

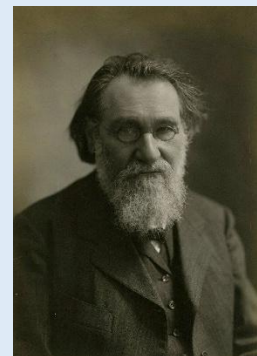
Русский учёный М. С. Воронин (1838–1903) подтвердил патогенную роль грибов, исследовав возбудителей ржавчины подсолнечника и килы крестоцветных, а также впервые выявил разнохозяйность в классе аскомицетов.



Агостино Басси
(итал. Agostino Bassi)

Итальянский ботаник и энтомолог Агостино Басси (1773–1856) в 1835 году в работе «*Del mal del segno, calcinaccio o moscardino : malattia che affligge i bachi da seta e sul modo di liberarne le bigattaje anche le più infestate*» продемонстрировал, что гриб *Beauveria bassiana* вызывает «белую мускардину» у тутового шелкопряда, нанося ущерб шелководству. А. Басси рекомендовал шёлковой промышленности использовать дезинфицирующие средства, изолировать заражённых гусениц тутового шелкопряда от здоровых и соблюдать гигиенические нормы.

Первым кто стал проводить опыты был И. И. Мечников. Он заинтересовался в 1879 г возбудителя «зелёной мюскардины» у личинок хлебного жука-кузьки (гриб *Metarhizium*). Также были найдены больные личинки свекловичного долгоносика. Это сразу приобрело экономическое значение для разработки, так как потери сахарной свеклы были значительными. Учёный не только идентифицировал патоген, но и разработал методику его искусственного разведения; для наработки и полевых испытаний препарата он привлёк И. М. Красильщика, который организовал биостанцию и создал первую заводскую установку для



Илья Ильич
Мечников

производства гриба — эта биоэнтомологическая станция в Смеле (Украина) действовала с 1883 по 1908 год. Станция была достаточно производительной: по расчетам [3] за 4 месяца станция производила 55 кг спор *Metarhizium anisopliae*. Сотрудники полученные споры смешивали с пылью и опыливали поля с сахарной свеклой. Через 10-14 дней смертность свекловичного долгоносика достигла 55-85 %. Интерес к разработке сельхозтоваропроизводителей после получения высокого урожая сахарной свеклы сразу упал. Хотя станция проработала 25 лет.

Исследования проводили и в США: в 1888 году Сиоу проводил опыты с белой мюскардиной *Beauveria globulifera* на пшеничном клопе *Blissus leucopterus* Say. Были розданы 50 тыс. пакетов с порошком гриба (он ввозился из Европы), но эксперимент не приобрел популярности.

Исследования после 1917 года проводились во Франции эмигрантом из России С. Метальниковым, который эффективно проводил исследование обработки микроорганизмами стеблевого мотылька и других вредителей, но в основном они создавались на основе бактерий (французский препарат «Спореин»).

Именно тогда формируются предварительные исследования в области энтопатологии. В настоящее время, в более узком направлении часть вопросов рассматривается ветеринарной энтомологией (при изучении болезней сельскохозяйственных насекомых: пчел, шелкопряда и т.д.), но она уходит в обратное – изучение насекомых, которые вызывает болезни у сельскохозяйственных животных.

Этап начальной коммерциализация (1960–1980-е годы). После 2 мировой войны изучение патологий насекомых становится популярным во многих странах. Целью становится разработка действенных биопрепаратов. Первым зарегистрированным микопестицидом стал Боверин (**Boverin** - основан на *B. bassiana*) в 1965 году, использовался в СССР. В 1981 году EPA зарегистрировало Мусар (на основе *Hirsutella thompsonii*) в США.

Современный этап (1990-е — настоящее время): Исследования сместились в сторону улучшения формулировки для улучшения стабильности полей. Регистрация значительно выросла: по всему миру зарегистрировано более 50 штаммов грибов, включая инсектициды, фунгициды и гербициды. По данным 2023 года регистрация микопестицидных продуктов достигает больше 450 по всему миру (рис. 1)

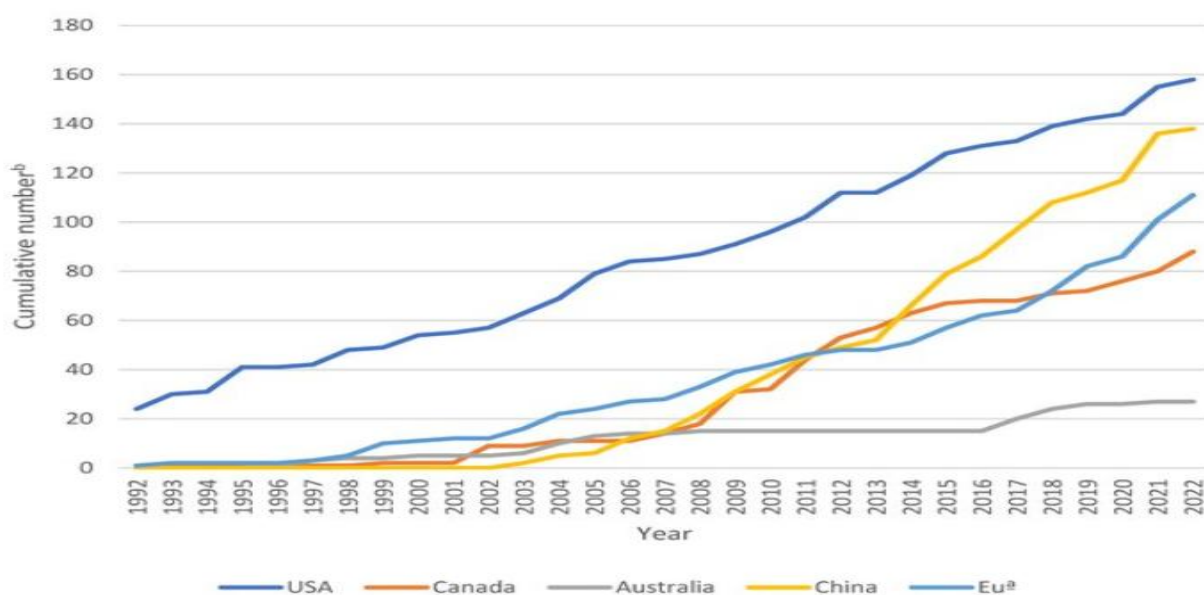


Рисунок 1.- Кумулятивная эволюция микопестицидных продуктов в США, Канаде, Австралии, Китае и Европейском союзе с 1992 по 2022 год.

Источник: [1]

Для разработки микопестицидов используют несколько типов грибов: энтомопатогенные грибы и грибы-антагонисты.

Энтомопатогенные грибы — грибы, которые убивают насекомых или серьезно выводят их из строя.

Грибы-антагонисты — например, грибы рода *Trichoderma*, которые подавляют возбудителя корневой, семенной и почвенной инфекции, а также предотвращают развитие болезней плодов и листьев при нанесении препарата на их поверхность.

Если охарактеризовать информацию о состоянии рынка микопестицидов, то о ее состоянии информация крайне противоречива. В статье Omran Zakia [7] объем рынка микопестицидов составляет 10 % от всего рынка биопестицидов (рис. 2)

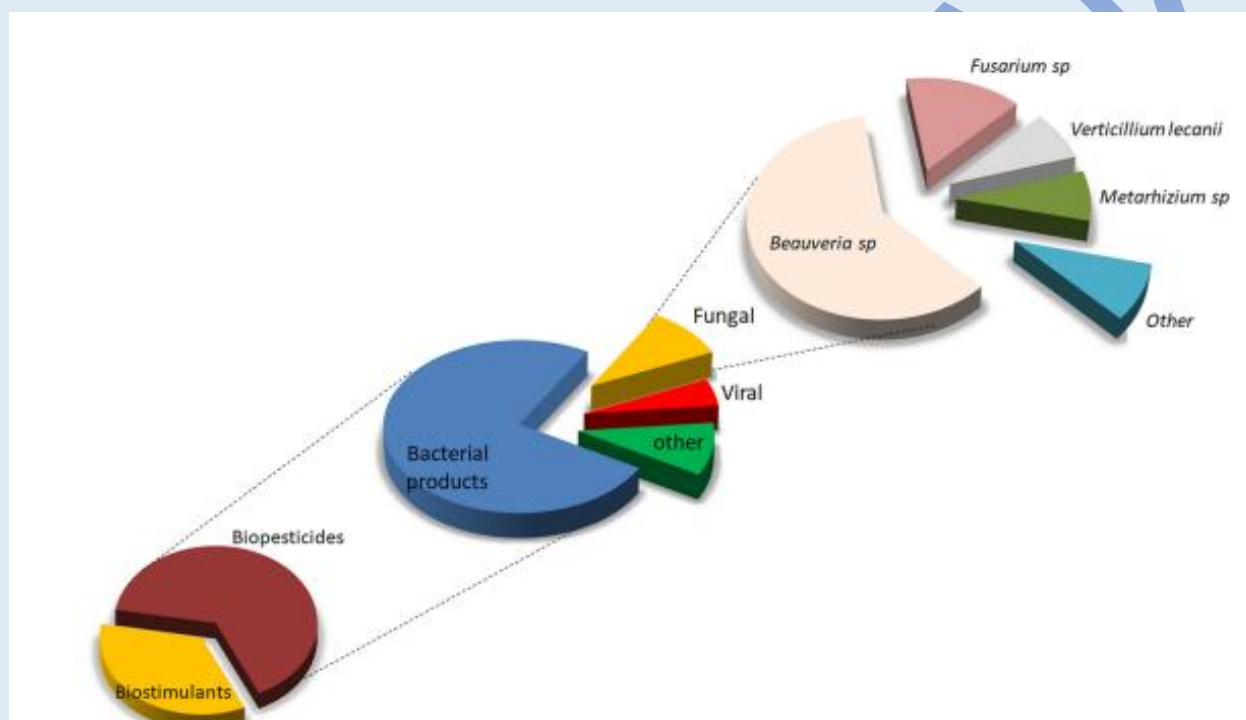


Рисунок 2. – Доля рынка биологических средств защиты растений. На долю микопестицидов приходится 10% биопестицидов, представленных на мировом рынке.

Источник: [7]

Классификация микопестицидов осуществляется по нескольким ключевым критериям. Некоторые критерии представлены на рисунке 3.

По таксономической принадлежности действующего агента:	<ul style="list-style-type: none">• аскомицетные;• базидиомицетные• дейтеромицетные.
По целевому объекту воздействия:	<ul style="list-style-type: none">• микроинсектициды• микрофунгициды• миконематоциды• микрогербициды
По механизму действия:	<ul style="list-style-type: none">• паразитические• антагонистические• метаболит-опосредованные
По форме препарата:	<ul style="list-style-type: none">• споровые суспензии• мицелиальные культуры;• ферментные экстракты;• гранулированные формы.
По способу применения:	<ul style="list-style-type: none">• почвенные внесения;• опрыскивания по вегетативной массе;• протравливание семян;• фумигация .
По спектру активности:	<ul style="list-style-type: none">• узкоспецифичные;• широкого спектра .

Рисунок 3. – Классификация микопестицидов

Выводы

Таким образом, микопестициды формируют динамично развивающийся сегмент средств защиты растений, объединяющий разнообразие биологических агентов и технологических решений. Их классификация отражает многогранность механизмов действия, таксономическое богатство грибных продуцентов и адаптивность к различным агротехническим приёмам. Дальнейшее совершенствование микопестицидных препаратов связано с углублением знаний о грибной физиологии, оптимизацией методов культивирования и формулирования, а также с разработкой стратегий их комбинированного применения в системах устойчивого земледелия.

Список источник

1. Берестецкий, А. О., Сокорнова, С. В. Получение и хранение биопестицидов на основе микромицетов // Микология и фитопатология. — 2009. — Т. 43, № 6. — С. 473–489.
2. Берестецкий, А. О., Рубижан, А. В., Сабашук, Ю. А., Сокорнова, С. В., Фролова, Г. М. Проблемы повышения эффективности и контроля качества биопестицидов на основе микромицетов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной наук: материалы III Международной научной конференции / науч. ред. В. С. Паштецкий. — 2018. — С. 107–108.
3. Вейзер, Я. Микробиологические методы борьбы с вредными насекомыми (Болезни насекомых) / пер. с чеш. М. П. Умнова; под ред. и с предисл. проф. М. С. Гилярова. — Москва : Колос, 1972. — 640 с.
4. Jiang, Yali, Wang, Jingjing. The Registration Situation and Use of Mycopesticides in the World // Journal of Fungi. — 2023. — Т. 9. — С. 940. — DOI: 10.3390/jof9090940.
5. Павлова, Н. А., Чернакова, Д. А., Фролова, Г. М., Сокорнова, С. В. Ростостимулирующая активность потенциальных микопестицидов // Современная микология в России: материалы 4 Микологического форума / Нац. акад. микологии, Общеросс. обществ. орг. — Москва, 2020. — С. 287–288.

6. Артюшкина, Т. В., Носова, А. В., Рыбаков, Ю. А. Инсектицидные препараты на основе энтомопатогенных грибов // Биотехнология. — 2023. — Т. 39, № 6. — С. 97–107. — URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=biotekh&y=2023&v=39&n=6&a=BioTekh2306003Artyushkina>.

7. Omran, Zakia, Weekers, Frederic, Thonart, Philippe, Tesch, Erin, Kuenemann, Philippe, Jacques, Philippe. Limiting factors of mycopesticide development // Biological Control. — 2020. — Т. 144. — С. 104220. — DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104220. — URL: [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/249751/1/Limiting factors of mycopesticide development.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/249751/1/Limiting%20factors%20of%20mycopesticide%20development.pdf).

References

1. Berestetsky, A. O., & Sokornova, S. V. (2009). Poluchenie i khranenie biopestitsidov na osnove mikromitsetov [Production and storage of biopesticides based on micromycetes]. *Mikologiya i fitopatologiya [Mycology and Phytopathology]*, 43(6), 473–489.

2. Berestetsky, A. O., Rubizhan, A. V., Sabashuk, Yu. A., Sokornova, S. V., & Frolova, G. M. (2018). Problemy povysheniya effektivnosti i kontrolya kachestva biopestitsidov na osnove mikromitsetov [Problems of improving the efficiency and quality control of biopesticides based on micromycetes]. In V. S. Pashtetsky (Ed.), *Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya agrarnoy nauki [Current state, problems and prospects for the development of agricultural science]* (pp. 107–108).

3. Veizer, Ya. (1972). *Mikrobiologicheskie metody borby s vrednymi nasekomymi (Bolezni nasekomykh) [Microbiological methods of controlling harmful insects (Insect diseases)]*. (M. P. Umnova, Trans.; M. S. Gilyarov, Ed.). Moscow: Kolos. (Original work published in Czech).

4. Jiang, Y., & Wang, J. (2023). The registration situation and use of mycopesticides in the world. *Journal of Fungi*, 9, 940. <https://doi.org/10.3390/jof9090940>

5. Pavlova, N. A., Chernakova, D. A., Frolova, G. M., & Sokornova, S. V. (2020). Roststimuliruyushchaya aktivnost potentsialnykh mikropestitsidov [Growth-stimulating activity of potential mycopesticides]. In *Sovremennaya mikologiya v Rossii: materialy 4 Mikologicheskogo foruma [Modern mycology in Russia: Proceedings of the 4th Mycological Forum]* (pp. 287–288). Moscow: National Academy of Mycology.

6. Artyushkina, T. V., Nosova, A. V., & Rybakov, Yu. A. (2023). Insecticidal preparations based on entomopathogenic fungi. *Biotechnologiya [Biotechnology]*, 39(6), 97–107. Retrieved from <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=biotekh&y=2023&v=39&n=6&a=BioTekh2306003Artyushkina>

7. Omran, Z., Weekers, F., Thonart, P., Tesch, E., Kuenemann, P., & Jacques, P. (2020). Limiting factors of mycopesticide development. *Biological Control*, 144, 104220. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104220>. Retrieved from [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/249751/1/Limiting factors of mycopesticide development.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/249751/1/Limiting%20factors%20of%20mycopesticide%20development.pdf)