

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

## **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ ОТ СТРЕССОВ**



*Рекомендовано в качестве учебного пособия Ученым Советом  
агрономического факультета ФГБОУ ВО «Казанский  
государственный аграрный университет»*

Издательство  
Казанского государственного аграрного университета  
2020

УДК 632.937

ББК 44.9

Б-64

ISBN 978-5-905201-96-7

Авторы-составители:

Л.З. Каримова, В.А. Колесар, Р.И. Сафин, Г.К. Хузина

**Б-64 Биологическая защита растений от стрессов / Л.З. Каримова, В.А. Колесар, Р.И. Сафин, Г.К. Хузина – Казань: Изд-во Казанского государственного аграрного университета, 2020. – 128 с.**

В учебном пособии рассмотрены вопросы эффективной защиты растений от абиотических, биотических и антропогенных стрессов с использованием биологического метода защиты. Особое внимание обращено на механизмы положительного действия биологических препаратов на повышение устойчивости растений к стрессам. Дается описание систем биологической защиты ряда сельскохозяйственных культур от стрессов, а также рекомендации по эффективному их применению в растениеводстве.

Пособие предназначено для обучения аспирантов и студентов агрономического направления высших учебных заведений, а также для повышения квалификации специалистов, работающих в области защиты растений и растениеводства.

*Рецензенты:*

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по учебно-методической и научно-исследовательской работе ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса, (г. Казань)

*В.Н. Фомин*

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодоовощеводства ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», (г. Казань)

*Ф.Ш. Шайхутдинов*

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,  
технолог АО Фирма «Август» (г. Казань)

*О.В. Шибеева*

ISBN 978-5-905201-96-7



9 785905 201967

© Авторы-составители, составление, 2020  
© Казанский государственный аграрный университет, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
Глава 1	<b>Стрессы растений и их значение при производстве продукции растениеводства.....</b>	<b>8</b>
1.1	Абиотические стрессы растений и продуктивность сельскохозяйственных культур.....	12
1.2	Инфекционные болезни растений как биотические стрессы растений.....	20
1.3	Антропогенные стрессы растений, связанные с загрязнением окружающей среды.....	26
Глава 2	<b>Методы защиты растений от действия стрессов...</b>	<b>32</b>
Глава 3	<b>Биологические препараты для защиты растений от стрессов на основе микроорганизмов.....</b>	<b>42</b>
3.1	Основные группы биологических агентов биопрепаратов.....	44
3.2	Механизмы положительного влияния биологических агентов на защиту растений от стрессов.....	45
3.3	Биологические препараты на основе бактерий.....	52
3.4	Биологические препараты на основе грибов.....	55
3.5	Препараты на основе продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.....	56
3.6	Комплексные биопрепараты на основе консорциумов микроорганизмов.....	57
3.7	Особенности производства и применения биопрепаратов на основе микроорганизмов.....	59
Глава 4	<b>Ботанические пестициды для защиты растений от стрессов.....</b>	<b>67</b>
4.1	Ботанические фунгициды.....	68
4.2	Ботанические инсектициды.....	70
4.3	Ботанические стимуляторы роста растений.....	72
4.4	Получение и применение ботанических пестицидов...	73
Глава 5	<b>Биостимуляторы растений и контроль стрессов....</b>	<b>75</b>
5.1	Препараты на основе водорослей .....	76
5.2	Препараты на основе гидролизатов белков и свободных аминокислот.....	81

5.3	Препараты на основе гуминовых веществ.....	88
5.4	Другие группы биостимуляторов природного происхождения.....	94
Глава 6	<b>Системы биологической защиты растений от стрессов.....</b>	<b>97</b>
6.1	Зерновые культуры.....	101
6.2	Зернобобовые культуры.....	106
6.3	Рапс.....	110
6.4	Картофель.....	112
6.5	Сахарная свекла.....	115
Глава 7	<b>Перспективы развития биологической защиты растений от стрессов.....</b>	<b>119</b>
	ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	123
	ПРИЛОЖЕНИЕ.....	125

## ВВЕДЕНИЕ

Современное растениеводство сталкивается со значительными вызовами. Рост численности населения нашей планеты при невозможности значительного увеличения площади пашни и продолжающихся процессах деградации почв ставят задачу разработки агротехнологий, позволяющих при минимальных затратах обеспечивать устойчивое увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур. Все большее влияние на сельскохозяйственное производство оказывают глобальные климатические изменения, приводящие, в том числе, к увеличению как частоты проявления, так и к росту ущерба от опасных агроклиматических явлений (засухи, заморозки и т.д.). В этих условиях, одним из наиболее доступных резервов повышения урожайности сельскохозяйственных культур является снижение потерь, обусловленных развитием различных стрессов у растений.

Потери урожайности от вредных биологических объектов (вредителей, болезней и сорных растений), абиотических стрессов (засухи, гипоксии, дефицита элементов минерального питания и т.д.) и загрязнения окружающей среды различными ксенобиотиками достигают значительного уровня, а в некоторых случаях урожай теряется полностью. При этом снижаются и качественные характеристики получаемой продукции. Современные интегрированные системы защиты растений (ИСЗР) базируются на применении комплекса мероприятий, среди которых особое место занимает биологическая защита растений. В основе биологической защиты лежат природные механизмы контроля вредных объектов и повышения устойчивости растений к абиотическим и антропогенным стрессам. Важнейшим направлением биозащиты является применение биопрепаратов на основе тех или иных микроорганизмов (бактерий, грибов, вирусов и т.д.) и продуктов их жизнедеятельности. В настоящее время в РФ и в мире созданы, промышленно выпускаются и массово применяются биопрепараты для контроля болезней и вредителей различных сельскохозяйственных культур. Кроме того, большое значение в растениеводстве приобретают биопрепараты на основе микроорганизмов, обеспечивающих решение задачи

повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды и решения задачи оптимизации минерального питания.

Эффективность биологической защиты от инфекционных (биотические стрессы) и неинфекционных (абиотические стрессы) болезней растений определяется, в первую очередь, биологическим агентом препарата. В связи с этим, поиск новых биологических агентов (видов, штаммов) для создания перспективных биофунгицидов имеет важнейшее научно-производственное значение. Кроме того, значительное место в биологической защите имеет разработка приемов, обеспечивающих стабильный эффект, независимо от условий окружающей среды.

Значительным резервом в биологической защите растений от стрессов являются ботанические пестициды. Использование продуктов, получаемых из растений, для контроля стрессов позволяет не только снизить затраты на проведение защитных мероприятий, но и способствует повышению экологической безопасности производства.

В последние годы в практике растениеводства, всё большее распространение получило применение различных биостимуляторов природного происхождения – аминокислот, гуминовых веществ, хитозана и т.д. Наряду со стимуляцией ростовых процессов, большинство из них обладают выраженным эффектом в повышении устойчивости растений к неблагоприятным факторам.

Использование без учета агробиологических особенностей и агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур отдельных препаратов для контроля стрессов растений не всегда дает ощутимый эффект. В связи с этим особое значение приобретает системный подход в организации применения биологических средств защиты от стрессов тесно увязанных с фазами развития и состоянием культурных растений. Разработка биологических систем контроля стрессов растений приобретает важное производственное значение. Особое место данный подход имеет для органического земледелия, где использование химических средств защиты растений (пестицидов) ограничено или полностью запрещено, поэтому применение биопрепаратов практически не имеет альтернативы.

Авторы настоящего учебного пособия попытались обобщить основные подходы к биологической защите растений от стрессов.

В пособии рассмотрены основные группы биопрепаратов, а также представлены возможные варианты биологических систем защиты от стрессов для ряда сельскохозяйственных культур. Учебное пособие предназначено как для студентов, обучающихся по агрономическим направлениям подготовки, так и для специалистов, работающих в сельскохозяйственных предприятиях.

Учебное пособие подготовлено в рамках реализации проекта «Разработка современных биологических систем защиты растений от биотических, абиотических и антропогенных стрессов, а также технологий их применения в адаптивной земледелии» ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы».

## Глава 1

# СТРЕССЫ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Среди наиболее острых глобальных проблем современного сельского хозяйства особое значение приобретают вопросы адаптации производства к растущим рискам (природным, геополитическим, производственным и т.д.). К числу таких природных рисков относятся и отмечаемые климатические изменения, многие из которых несут потенциальную угрозу для производства продукции растениеводства, что требует адаптации агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур для минимализации возможных потерь.

Растения в ходе своей жизни находятся в тесном взаимодействии с различными факторами внешней среды, что отражается на всем комплексе биохимических и физиологических реакций организма, в том числе влияет и на продукционные процессы у сельскохозяйственных культур. Характер воздействия различных экологических факторов на растения определяется особенностями взаимодействия в системе *генотип: окружающая среда* (G (genome) x E (environment) interactions), а также интенсивностью и временем действия фактора на организм. В некоторых случаях влияние различных экологических факторов в системе *генотип: окружающая среда* приводит к негативному воздействию на растительный организм, в том числе к возникновению различных метаболических перестроек в обмене веществ, т.е. к возникновению **стрессов**.

Понятие «стресса» имеет достаточно большое количество различных дефиниций и толкований, но, чаще всего, сводится к *отклонению от оптимальных условий* для роста и развития живого организма. В более узком толковании, под «стрессом» иногда понимают условия, которые превышают устойчивость (резистентность) организма и вызывают повреждения тканей или ингибирование роста растений. В современной науке термин «стресс» используется для описания воздействия определенного внешнего фактора – **стрессора** (стрессовое воздействие, стрессовые нагрузки, стрессовый фактор и т.д.), а также и для отражения комплекса

**ответных (специфических и неспецифических) реакций** самого организма (stress response).

Стрессы вызывают широкий спектр **ответных реакций**, таких как – изменения экспрессии генов, клеточного метаболизма, характера течения биохимических и физиологических процессов и т. Д.

Столкнувшись со стрессовыми условиями, влияющими на их рост и развитие в течение всего жизненного цикла, растения должны быть способны воспринимать, обрабатывать и преобразовывать различные внешние воздействия в адаптивные реакции, позволяющие снизить отрицательный эффект от стресса. Понимание скоординированных ответных реакций растительного организма на стрессовые факторы включает в себя описание механизмов, происходящих на клеточном и молекулярном уровнях. Эти механизмы включают многочисленные компоненты, которые организованы в сложные **пути (pathways)** и **сети (networks)** от восприятия сигнала о воздействии до ответных физиологических реакций. Основная задача при изучении таких процессов заключается в том, чтобы понять, как происходит стимулирование клетки к соответствующему ответу на стресс и какие механизмы позволяют ей адаптироваться к действию неблагоприятных внешних факторов.

**Стрессор (стрессорный фактор)** – определенный фактор внешней среды, способный оказывать выраженное воздействие на организм, в т.ч. приводить к развитию различных повреждений, снижению продуктивности или к гибели растения (его частей). При этом гибель растения или его частей происходит в том случае, если отрицательное действие стрессора превосходит защитные ресурсы организма.

С точки зрения характера воздействия на организм, обычно выделяют следующие группы стрессорных факторов:

1. **физические**, связанные с влиянием различных физических явлений (температура, влажность, радиация и т.д.);

2. **химические**, обусловленные действием различных химических веществ и соединений (тяжелые металлы, избыток или недостаток элементов питания и т.д.);

3. **биологические**, возникающие под влиянием вредных биологических объектов (вредителей, фитопатогенов, растений-конкурентов и т.д.).

В зависимости от природы стрессовых факторов сложилось разделение стрессов на *абиотические*, *биотические* и *антропогенные* которые, во многих случаях, развиваются совместно, нанося значительный урон продуктивности сельскохозяйственных растений. Так абиотические стрессы (засуха, высокие или пониженные температуры, засоленность) способствуют возникновению и распространению инфекционных болезней, вредителей и сорных растений. В связи с этим, существует разделение стрессов на:

- *единственные* (single) или *монофакторные* – вызываемые действием одного стрессора;
- *многократные индивидуальные* (multiple individual), вызываемый стрессами одной группы (например, только абиотические стрессы)
- и *комбинированные* (combined) вызываемые действием различных стрессов, относящихся к разным группам (абиотические, биотические, антропогенные).

В большинстве случаев, отмечается, что при комбинированном стрессе под влиянием абиотических и антропогенных стрессоров увеличиваются риски поражения растений некоторыми инфекционными болезнями. Однако, при комбинированном стрессе не всегда отмечается суммарный (аддитивный) отрицательный эффект от действия сразу нескольких стрессоров, т.к. характер ответных реакций растений на абиотический и биотический стресс могут быть различными, как могут различаться и взаимоотношения между разными стрессовыми факторами между собой. Так, активация образования *абцизовой кислоты* (АБК или АВА) (один из механизмов ответа растений на абиотический стресс) и образование *жасмоновой кислоты* (ЖК или JA) (сигнал для преодоления биотических стрессов, в частности повреждения вредителями) могут оказывать негативное воздействие друг на друга. Для прогноза характера взаимодействия между разными типами стрессов предложена концепция «матрицы» (*stress matrix*), которая позволяет, в определенной мере, оценить возможный характер воздействия комбинированного стресса на растения, в том числе и на его продуктивность.

Реакция растений на стресс обычно включает в себя следующие фазы: а) *тревога* (первичная стрессовая реакция); б) *адаптация*; в) *истощение*. С учетом того, что на всех фазах реакции растения нуждается в энергии, они вынуждены тратить продукты фотосинтеза (ассимиляты) на эти цели, что оказывает отрицательное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур. На каждой из вышеперечисленных фаз реакции на стресс, в клетках протекают особые биохимические и физиологические процессы, в зависимости от которых растения преодолевают действия стрессорного фактора или погибают.

Степень воздействия стрессора (сила стресса) на растения определяется скоростью развития процесса, а также интенсивностью влияния фактора. В большинстве случаев, при медленном действии стрессора адаптация растений идет значительно лучше, чем при быстром (кратковременном) и интенсивном воздействии.

В ходе эволюции, у растений сформировался целый комплекс различных приспособлений для защиты от стрессов – анатомо-морфологические особенности (структурные приспособления), специальные биохимические и физиологические механизмы адаптации и т.д. Значительный вклад в адаптацию к стрессам вносит и сообщество микроорганизмов (*микробиом*), тесно связанных с растениями.

Особое значение изучение характера воздействия различных типов стрессов (в том числе и комбинированных), а также разработка эффективной стратегии управления ими на основных сельскохозяйственных культурах приобретают в условиях отмечаемых глобальных климатических изменений, сопровождающихся ростом температур воздуха и распространением засух.

Вредоносность стрессов растений значительна. По оценке ряда исследователей, мировые потери от абиотических и биотических стрессов достигают до 50% урожая, а сокращение ущерба хотя бы наполовину, позволит значительно снизить остроту проблемы мирового голода. Существенные потери от стрессов отмечаются и в растениеводстве России. В связи с этим, разработка эффективных систем защиты растений от стрессов имеет важное народно-хозяйственное значение. Значительную роль при этом играет быстро

развивающаяся в последние годы области физиологии растений – **фитострессология**, изучающая физиологические закономерности приспособления растений к экстремальным факторам внешней среды.

### **1.1 Абиотические стрессы растений и продуктивность сельскохозяйственных культур**

Растения подвержены влиянию различных экстремальных условий среды, влияющих на темпы роста, развития и величину урожайности. Абиотические стрессы растений обусловлены действием факторов, не связанных с живыми объектами. Наиболее важные абиотические экологические факторы для формирования продуктивности растений обычно относят к трем основным группам: а) *климатические* (агрометеорологические); б) *эдафические* (почвенные); в) *топографические* (условия рельефа агроценоза).

По данным академика А.А. Жученко (2001), в мире только порядка 10% пашни, на которых культурные растения не подвержены влиянию стрессов. В большинстве случаев, при выращивании сельскохозяйственных культур они подвергаются действию различных абиотических стрессов. Так, кислые почвы с токсичной концентрацией *Al* и *Mg* занимают около 40% площади мировой пашни. Засолены порядка 10% пахотных угодий, минеральному стрессу подвержены – 20%, засухам – 26% и морозам – до 15% посевных площадей.

Наиболее сильное отрицательное воздействие абиотические стрессы оказывают на фотосинтез растений. Так под их влиянием, уменьшается поступление в листья углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и ограничивается ассимиляция углерода, необходимого для формирования органических веществ для роста и развития растений. Особенно чувствительна к этому *Фотосистема II (PSII)* и запуск процессов подавления ее активности (*фотоингибирование*) снижает эффективность ее работы, повышая при этом образования активных форм кислорода (АФК или ROS). Кроме того, комбинированный эффект от непрерывного светового потока и абиотического стресс ускоряют выработку различных АФК, имеющих синергетическое влияние на ингибирование фотосинтеза. Производство АФК, особенно пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) и синглетного кислорода ( $^1\text{O}_2$ ),

инактивирует трансляция белка pre-D1, необходимого для восстановления белка D1 в ядре реакционного центра PSII.

Растения выработали разнообразные механизмы для сохранения своего фотосинтетического аппарата в условиях стресса, поэтому изучение показателей фотосинтетической деятельности может быть использован для оценки устойчивости (толерантности) генотипов (сортов, гибридов) сельскохозяйственных культур, а также при изучении активности различных антистрессовых препаратов, в том числе и для биологической защиты.

У растений, развивающихся в обычных условиях уровень АФК строго контролируется антиоксидантными системами. Однако, как правило, стрессовые условия увеличивают образование АФК, при этом их производство, превышает антиоксидантную способность клетки, в результате чего может возникнуть окислительный стресс. Клеточная антиоксидантная ферментативная система включает в себя целый ряд ферментов, работающих в хлоропластах, пероксисомах (микротельцах), цитозоле. Увеличение антиоксидантной активности традиционно связывают со стрессоустойчивостью, поэтому приемы стимулирующие такую активность повышают устойчивость растений к стрессам, в том числе и за счет улучшения защиты *Фотосистемы II*.

Воздействие на растения абиотических стрессоров вызывает в растениях целый ряд ответных неспецифических реакций, что связано с включением сигнальных систем клетки. В настоящее время, достаточно подробно изучена роль фитогормонов в регуляции и в повышении устойчивости растений к абиотическим стрессам. Показано, что при адаптации растений к новым условиям меняется гормональный баланс. Предполагают, что увеличение эндогенной абсцизовой кислоты (АБК) способно подавлять синтез м-РНК и соответствующих им белков и индуцировать работу генов, контролирующих синтез новых белков, влияющих на формирование у растений стрессоустойчивости. Значительную роль в ответах на стресс играет такой гормон как этилен. В целом, снижение под влиянием стресса уровня гормонов стимуляторов и накопление ингибиторов приводит к замедлению ростовых процессов, т.к. энергетические и пластические ресурсы растений расходуются на поддержание структур клеток в новых условиях.

У растений имеются механизмы «*базовой или врожденной устойчивости*» (*basal tolerance*), которая является результатом адаптации их к условиям окружающей среды и, часто ограничена географически и временными рамками. Она обусловлена сохранением определенных изменений в геноме, приводящее к улучшению защиты и адаптации к стрессовым условиям.

Реакции растений на абиотические стрессовые условия приводят к активации нескольких биохимических путей (*biochemical pathways*), что приводит к образованию различных защитных соединений, т.е. к так называемой «*индуцированной устойчивости*» (*induced tolerance*). Абиотические стрессы оказывают влияние на метаболизм первичных и вторичных соединений. Относительно первичных продуктов метаболизма, изменения в накоплении *углеводов, аминокислот и полиаминов* являются одними из основных ответов у растений, подверженных различным абиотическим стрессам. В ходе реакции на стресс, образуется и большое количество вторичных метаболитов (*каротиноиды, флавоноиды, полифенольные вещества* и т.д.), производимых в малых количествах. Все эти соединения имеют несколько функций в зависимости от их химической структуры и свойств – антиоксидантные, антимикробные, сигнальные и др. (рис. 1). Изучение механизмов образования данных веществ имеет существенное значение при описании характера воздействия различных препаратов для повышения устойчивости растений к стрессам.

Значительный интерес представляет концепция «памяти» (усиления), которая подразумевает, что предыдущее воздействие стресса делает растение менее восприимчивым к возможному будущему стрессу. Так как, абиотические стрессовые условия возникают неоднократно в течение всей жизни растения, поэтому растительные организмы «помнят» прошлые события и используют предыдущий опыт для создания надежного ответа на стресс. Причем этот механизм может включать несколько гормональных сигнальных путей и антиоксидантных систем. По всей видимости, метилирование эпигенетической ДНК представляет собой вероятный механизм, лежащий в основе этого эффекта «памяти», который может быть наследуем, представляя важный механизм, способствующий адаптации к стрессам. Практическое применение данных подходов

может быть связано с использованием различных внешних воздействий на растение, в том числе специальных препаратов, для достижения устойчивости к разным стрессам.



Рис. 1 – Классы соединений и их роль в ответах растений на абиотические стрессы (по *Arbona et al.*, 2017)

К наиболее распространённым и оказывающим значительный ущерб урожаю сельскохозяйственных культур, абиотическими стрессорам относятся:

- *снижение доступности и дефицит воды*, что приводит к развитию осмотического стресса (особенно при засухе);
- *снижение доступности кислорода*, что ведет к развитию его недостатка (**гипоксии**) или полного отсутствия (**аноксии**);
- *экстремальные температуры* (как максимальные (нагрев или тепловой шок), так и минимальные (охлаждение));
- *высокая концентрация солей в зоне корней*, что приводит к развитию солевого стресса;
- *снижение доступности макро- и микроэлементов (питательных веществ)* в почве;

- *различные ионы в почве*, обладающие токсичным действием на живые организмы (тяжелые металлы, пестициды и т.д.);
- *интенсивное воздействие света*;
- *переуплотнение почвы* (почвенный стресс), оказывающее отрицательное влияние на рост корней и т.д.

### ***Осмотический стресс***

Как правило, данный тип стресса, развивается в условиях недостатка воды, особенно при развитии засухи. Ущерб от засух может быть огромным. В истории России известны целый ряд катастрофические засух, отмечаемых в 1571, 1891, 1921, 1972 годах. При этом не только погибал урожай, но и увеличивалась смертность населения, в том числе и от голода и болезней. Последняя острая засуха 2010 года нанесла значительный ущерб. Только в Республике Татарстан ущерб от засухи оценивался в 30 млрд. руб. Существенным вызовом для всего мира становится рост как количества проявления, так и ущерба от засухи, связанного с глобальное потеплением.

Развитие засухи вызывает сложную систему различных ответных реакций в растениях, в том числе – закрытие устьиц, снижение тургора, изменение состава листового газа и снижение интенсивности фотосинтеза, что приводит к снижению урожайности. Дефицит воды приводит к развитию осмотического стресса для растений. Для запуска ответных реакций на данный стресс у растений имеются специальные рецепторы – ***осмосенсоры*** (osmosensors), своеобразные «датчики засухи». В настоящее время предложено несколько механизмов первичного восприятия (сигнализации) растений на дефицит воды. В частности, у растений ион кальция выступает в качестве основного регулятора начальных реакций на осмотическое давление. Первым событием, наблюдаемым после воздействия осмотическим стрессом, является быстрое увеличение концентрации цитозольного свободного  $Ca^{2+}$ . В качестве осмосенсоров выступают специфические белки. Посредством генетического скрининга и функционального анализа, такие белки являющиеся осмосенсорами для кальциевого канала, были идентифицированы в растениях арабидопсиса и отнесены к двум независимыми группам (CSC1 и OSCA1). Кроме того, плазматическая мембрана клетки содержит несколько ферментов – рецептороподобных киназ (RLKs), которые

контролируют целостность клеточной стенки. Благодаря их активности, отмечаемый при недостатке воды *плазмолиз* (отделение плазматической мембраны от клеточной оболочки) приводит к увеличению фосфорилирования последующих целевых белков. Необходимо отметить, что рецептороподобные киназы (RLKs) рассматриваются как важные регуляторы в нескольких реакциях растений на абиотические стрессы.

Передача сигнала от рецептора (осмосенсора) на соответствующий ген для его экспрессии (запуска) осуществляется с помощью вторичных мессенжеров ( $\text{Ca}^{2+}$  и др.).

Дальнейшие ответы клетки на осмотический стресс представляют собой каскад реакций которые могут связаны с образованием (АБК-связанные) или нет (АБК-независимые) абсцизовой кислоты.

В ходе адаптации растений к осмотическому стрессу в клетках образуются специфические вещества – осмопротекторы, защищающие цитоплазматические биополимеры от разрушения. К числу таких осмопротекторов относятся моно- и олигосахариды, аминокислоты (пролин и др.), бетаины, многоатомные спирты (маннитол, сорбитол, и др.). Осмопротекторы или организмы их продуцирующие активно используется при создании биологические препаратов для защиты от стрессов. Кроме того, в условиях водного дефицита, происходит образование различных *стрессовых белков*. Индуктором синтеза таких белков может быть АБК, что приводит к образованию так называемых Rab-белков (АБК-чувствительные белки). При нормальном водоснабжении их нет в растениях, но дефицит воды приводит к накоплению АБК, что индуцирует синтез этих гидрофильных белков. Часть из них (*осмотин, белки-дегидрины*), удерживающих воду и ионы. Другие (*шапероны и ингибиторы протеаз*) препятствуют разрешению белков и нуклеиновых кислот в клетках, подверженных осмотическому стрессу. Третьи (*протеазы и убиквитины*) разрушают продукты денатурации белков, опасных для клетки. Наконец, белки *аквапорины*, отвечающие за перенос воды через мембраны, увеличивают водную проводимость *тонопласта*.

Значительные изменения в условиях засухи происходят в гормональном обмене растений. В частности, как отмечалось выше, увеличивается количество таких стрессовых фитогормонов, как АБК и этилен. Накопление абсцизовой кислоты (АБК) вызывает закрывание

устьиц и снижает транспирацию. В тоже время, цитокинины, напротив, открывают устьяца, что в условиях засухи ведет к увеличению испарения. Учет таких особенностей позволяет использовать в биологической защите растений от стресса или сами фитогормоны или организмы, которые их продуцируют.

### ***Снижение доступности кислорода (гипоксия и аноксия)***

Временный дефицит (гипоксия) или отсутствие (аноксия) кислорода часто развиваются в условиях затопления (например, раннее весной на озимых культурах) или при переуплотнении почв (при этом, снижается доля почвенного воздуха и изменяется его состав). В большинстве случаев, данный процесс преимущественно затрагивает корневую систему. Ущерб от гипоксии и аноксии может быть значительным, особенно на озимых зерновых культурах при развитии процессов «вымокания». В результате недостатка кислорода в растениях нарушаются процессы дыхания, что приводит к дефициту энергии для метаболических процессов и накоплению продуктов неполного окисления (спирты, органические кислоты), оказывающих отрицательное влияние на клетку. Недостаток АТФ приводит к уменьшению поглощения корнями минеральных веществ и воды, что приводит к преждевременному старению или даже к гибели растения или его отдельных органов.

Так же, как и при осмотическом стрессе, при недостатке кислорода в растениях возникает целый каскад ответных реакций, позволяющих адаптироваться к данным условиям. Важнейшую роль при этом играют такие механизмы как: а) накопление специфических метаболитов (малата, сукцината, аланина и т.д.; б) образование антиоксидантов (токоферола) для разрушения продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в) образование специфических стрессовых белков; г) перестройка в гормональном статусе растений и т.д. Так, под влиянием гипоксии в корнях падает содержание гормонов роста (ауксинов, гиббереллинов, цитокининов) и увеличивается накопление ингибиторов роста (АБК, этилен, жасмоновая кислота). Понимание таких процессов, также позволяет разрабатывать практические приемы биологического контроля гипоксии и аноксии у культурных растений.

### ***Экстремально высокие температуры***

Как отмечалось выше, изменения климата, в первую очередь, ведут к росту температуры, которая в некоторых случаях может достигать значительных величин в период вегетации растений. Воздействие жары на растения умеренного климата может приводить к развитию теплового стресса, поэтому ***жароустойчивость (термотолерантность)*** культурных растений имеет важное значение для адаптации растениеводства к климатическим изменениям. Под влиянием высоких температур в растениях происходит повреждение мембран, денатурация белков, торможение фотосинтеза, нарушение характера течения и других физиологических процессов, что ведет к потере урожайности и качества продукции. При этом воздействие высоких температур может сопровождаться и дефицитом воды, что часто происходит при острых засухах. При сильном и продолжительном воздействии высоких температур у растений наступает ***тепловой шок***, сопровождающийся разрушением ферментов, плазмолизом в клетках и образованию ***некрозов***, т.е. участков мертвой ткани в виде пятен.

Биохимические механизмы адаптации растений к высоким температурам включают в себя: а) образование в клетках осмопротекторов – пролина, бетаина, гидрофильных олигопептидов и т.д.; б) накопление органических кислот, связывающих аммиак, образующийся при распаде белков; в) образование антиоксидантов для разрушения ПОЛ; г) образование ***белков теплового шока*** (БТШ или HSP (Heat shock proteins)) и др. В настоящее время известно порядка пяти групп БТШ, в частности – БТШ-90, БТШ-70, БТШ-60, БТШ-20 и БТШ-8.5.

Образование БТШ начинается уже через 15 мин после воздействия высокой температуры (теплового шока) и достигает максимума в течение первых 2,5 часов. Белки теплового шока относятся к разным группам (низко- или высокомолекулярным) и выполняют различные функции по адаптации растений к высоким температурам. В большинстве случаев они являются ***шаперонами***, т.е. участвуют в восстановлении нативной структуры белков и нуклеиновых кислот, поврежденных под воздействием высокой температуры.

### ***Экстремально низкие температуры***

При низких температурах в растениях развивается ***низкотемпературный стресс (cold shock)***. Особенно часто это наблюдается на озимых культурах под влиянием сильных морозов и при развитии заморозков, приводящих к повреждению растений в весенний период или в начале лета. В связи с этим, морозостойкость для озимых культур и холодоустойчивость теплолюбивых культур к заморозкам имеет важное практическое значение. Под влиянием низких температур происходит повреждение мембран, нарушается фотосинтез, дыхание, увеличивается содержание свободных радикалов и т.д. При сильном воздействии клетки погибают, что при низких температурах обусловлено и образованием кристаллов льда, как внутри, так между клетками растений.

К основным биохимическим механизмам адаптации растений к низким температурам можно отнести:

- накопление в клетках веществ криопротекторов (сахара, осмолитики и т.д.);
- образование специфических белков антифризов, препятствующих образованию льда;
- образование стрессовых белков холодового ответа (COR-белки);
- изменение состава липидов мембран и др.

Учет данных механизмов позволяет разрабатывать специальные препараты и приемы для повышения морозо- и холодоустойчивости растений.

## **1.2. Инфекционные болезни растений как биотические стрессы**

Среди наиболее важных биотических стрессов растений особое место занимают инфекционные болезни, вызываемые различными биологическими объектами. К числу фитопатогенных организмов (биотических стрессоров) относятся – *грибы и грибоподобные организмы* (ГПО), *бактерии и бактериоподобные организмы* (БПО), *вирусы и вироиды*.

Инфекционные болезни культурных растений – одна из основных причин потерь урожая в мировом земледелии. Ежегодные потери по данной причине суммарно оцениваются в 14,1% от потенциального

урожая, что эквивалентно количеству продуктов необходимых для почти 800 млн. чел. По данным специалистов Всероссийского НИИ фитопатологии, в России за период 1990-2010 гг., только от болезней яровой и озимой пшеницы, потери зерна составили суммарно 85,7 млн. т зерна или примерно по 15% от урожая ежегодно. В Республике Татарстан потери урожая от болезней на зерновых культурах достигают в среднем 12,1 %. Наряду с отрицательным действием на урожайность, фитопатогенные организмы могут оказывать негативное воздействие и на качественные характеристики продукции, в том числе и приводить к накоплению в ней токсичных для человека соединений. Ситуация с инфекционными болезнями растений имеет тенденцию к ухудшению, что во многом связано с глобальными климатическими изменениями. Ю.Т. Дьяков (2015) выделяет несколько наиболее важных последствий отмечаемых изменений климата на развитие инфекционных болезней: а) продвижение болезней в северном направлении, где они раньше отсутствовали или не имели существенного значения; б) усиление вредоносности как за счет улучшения сохранности первичной инфекции, так и за счет роста агрессивности патогенов при снижении иммунитета растений.

Устойчивость к фитопатогенам (*фитоиммунитет*) определяется целым набором различных приспособлений, препятствующих как проникновению возбудителя внутрь организма, так и дальнейшему его развитию (колонизации) в тканях растений. С этой точки зрения разделяют две категории *естественного (врожденного) фитоиммунитета* – пассивный и активный. В первом случае (пассивный иммунитет) речь идет о *фитоантицепинах* (или *фитонцидах* – летучих соединений с антимикробным действием), анатомо-морфологических, биохимических и иных приспособлениях препятствующих закреплению патогенов на поверхности растений и последующему их проникновению внутрь тканей. Во втором случае (активный иммунитет), в ответ на заражение патогеном запускается комплекс реакций для подавления как непосредственно роста самого патогена, так и на нейтрализацию его механизмов нападения (токсинов, ферментов, физиологически активных веществ). К числу факторов (механизмов) активного иммунитета растений относятся:

– реакция сверхчувствительности (СВЧ-реакция), заключающаяся в быстрой гибели клеток в месте проникновения

патогена и являющейся частным случаем программированной клеточной смерти (PCD – programmed cell death);

- образование фитоалексинов – липофильных низкомолекулярных антибиотические вещества, образующихся в ответ на заражение;

- активизация различных ферментов оксидаз (пероксидаза, полифенолоксидаза и т.д.);

- образование защитных **PR-белков** (Pathogenesis related (PR) proteins), относящихся к различным классам (PR-1, PR-2, PR-3, PR-4 и т.д.) и различающихся по механизму воздействия на патогены. Например: белки класса PR-1 отвечают за проявление системной устойчивости и токсичны для многих грибов; PR-2 белки ( $\beta$ -1,3-глюканазы), расщепляют глюканы клеточной стенки грибов; белки PR-3 класса (хитиназы) «разрезают» клеточные стенки фитопатогенных грибов; белки PR-4 класса (гевеин-подобные белки), вызывают «склеивание» латекса при повреждениях и т.д.

С точки зрения изучения механизмов влияния биопрепаратов на контроль биотических стрессов, особое значение имеют вопросы биохимии и молекулярной биологии иммунитета растений к патогенам.

Молекулярные механизмы активного иммунитета растений к заражению их патогенами включают в себя следующие этапы: 1) распознавание растением патогена; 2) передача сигнала от рецептора на гены устойчивости); 3) экспрессия генов устойчивости; 4) образование и запуск факторов активного иммунитета.

На этапе распознавания существенное значение имеют связанные с микробом молекулярные шаблонные рецепторы растений или **MAMP** (*microbe-associated molecular pattern receptors*), которые реагируют на определенные соединения – **элиситоры** или **PAMP** (*pathogen-associated molecular patterns*) патогенов. Важнейшими из таких элиситоров являются:

1. Олиго- и полисахариды патогенного и растительного происхождения (хитин, пектин, глюканы и т.д.).
2. Липополисахариды бактериального происхождения.
3. Продуцируемые микроорганизмами вещества (токсины, факторы вирулентности, эргостерол и т.д.).

4. Специфические белки патогенов (бактериальный флагелин, капсидные белки вирусов, элиситины грибов и т.д.) и др.

Рецепторы МАР представляют собой киназы (фосфотрансферазы), т.е. ферменты, катализирующие перенос фосфатной группы от молекулы АТФ на различные субстраты. При этом МАР делятся на две группы: а) связанные с рецептором киназы (RLKs) (receptor-like protein kinases (RLKs)); б) гистидин киназы (*histidine kinase*) и другие

рецепторы. Однако у фитопатогенов имеются специальные белки **эффекторы** (*effectors*), подавляющие активность рецепторов и запуск факторов активного иммунитета растений.

К элиситорам не связанными с патогенами можно отнести:

1. непатогенные формы микроорганизмов, в том числе живущие в тканях растения (**эндофитные** бактерии или грибы).

2. ионы металлов (Cu, Mn, Zn и т.д.), абиотические стрессы и т.д.

Для передачи сигнала от рецептора на ген растения используют различные вторичные **мессенджеры** (посредники) – **ионы  $Ca^{+2}$ ; пероксид водорода ( $H_2O_2$ ); салициловая кислота (СК), жасмоновая кислота (ЖК) и этилен.** В ходе эволюции у растений сформировались несколько сигнальных систем:

1. **Циклоаденилатная сигнальная система** – включается при взаимодействии элиситора с белковым рецептором плазмолеммы и активацией фермента аденилатцикланазы, контролирующей синтез цАМФ из АТФ, в результате идет образование PR-белков и фитоалексинов.

2. **МАР-сигнальная система** – включается при взаимодействии элиситора с рецепторами плазмолеммы, при этом активизируются МАР-киназы, что приводит к фосфолированию белков и активации в ядре генов защиты, в том числе СВЧ-реакции.

3. **Кальциевая сигнальная система** – включается при активации элиситорами фосфолипазы, что приводит к образованию жасмоновой кислоты и экспрессии генов устойчивости.

4. **НАДФН-оксидазная сигнальная система** – начинает работать при активации элиситорами НАДФН-оксидазы плазмолеммы, что приводит к накоплению активных форм кислорода (АФК) и  $H_2O_2$ , т.е. к окислительному взрыву, при этом большую роль играет салициловая кислота (СК).

5. **NO-синтезазная сигнальная система** – включается при активации элиситорами синтеза окиси азота.

6. **Липоксигеназная сигнальная система и др.**

Упрощенная схема индукции активного иммунитета растений представлена на рис. 2.

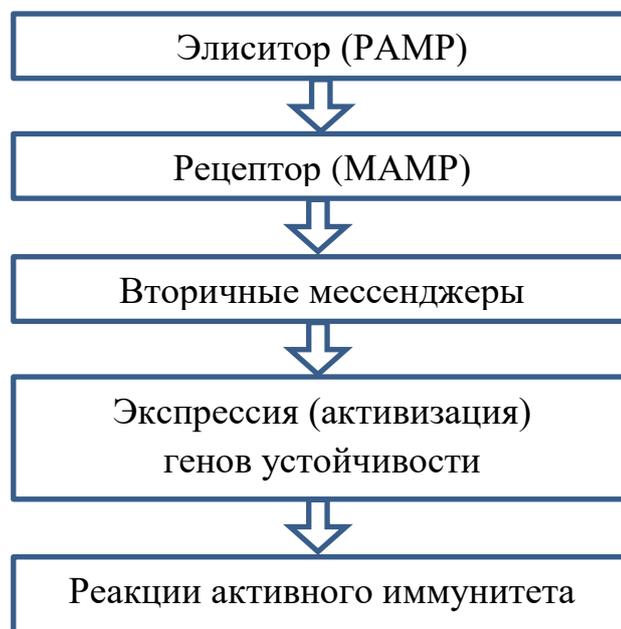


Рис.2 – Упрощенная схема индукции активного иммунитета растений фитопатогенами

С точки зрения особенности индукции системной устойчивости, у растений выделяются – **Системная приобретенная устойчивость** (СПУ или SAR (systemic acquired resistance)) и **Системная индуцированная устойчивость** (СИУ или ISR (induced systemic resistance)).

В случае СПУ особую роль играет салициловая (*орто*-гидроксибензойная) кислота, при этом в результате процесса происходит активизация PR белков. Системное воздействие оказывается локально в месте проникновения патогена и на все растение по сосудистой системе.

Запуск СИУ осуществляется жасмоновой кислотой и этиленом, при этом не происходит активизация PR белков. Воздействие также носит локальный и системный характер.

Для оценки механизмов воздействия фитопатогенов на растения и для оптимизации системы защиты, особое значение имеет

разделение возбудителей заболеваний в зависимости от их типа паразитизма. При этом, выделяются **некротрофные, биотрофные и гемибитрофные** патогены растений.

*Биотрофный тип* определяется как рост и питание возбудителя в живой растительной ткани. Биотрофные патогены колонизируют растение в режиме, который можно охарактеризовать как скрытый, при этом стараются уклоняться или подавлять защитные ответы хозяина.

*Некротрофный тип* предполагает питание за счет мертвых клеток растений.

*Гемибитрофные патогены* вначале устанавливают биотрофное взаимодействие с хозяином, но на более поздних стадиях патопроцесса, переходят на *некротрофию*.

Различия между данными типами, во многом, определяют основные реакции как пассивного, так и активного иммунитета растений, а также стратегию и тактику подбора средств защиты растений, в том числе и биологических. В частности, существуют отличия между патогенами из различных трофических групп по типу ответных реакций активного иммунитета, а также по воздействию на гормональный обмен растений, экспрессию различных генов, ряд биохимических процессов и т.д. Так, системная приобретенная устойчивость (СПУ), индуцируемая салициловой кислотой, эффективна против биотрофных патогенов, а системная индуцированная устойчивость (СИУ), запускаемая жасмоновой кислотой и этиленом, эффективна против некротрофных патогенов.

Наряду с врожденным иммунитетом, у растений возможен **приобретенный** или **индуцированный** иммунитет, возникающий под влиянием различных внешних (как правило не связанных с патогеном) воздействий и не передающийся по наследству. При этом запускаются механизмы активного врожденного иммунитета еще до заражения патогеном, т.е. происходит иммунизация растений. Вещества, обладающие таким эффектом, называют **иммунизаторами** растений. Важнейшими из них являются различные микроэлементы, слабовирулетные штаммы патогенов, а также различные непатогенные микроорганизмы, что дает возможность использовать их для повышения устойчивости растений к биотическим стрессам.

### 1.3 Антропогенные стрессы растений, связанные с загрязнением окружающей среды

Антропогенные стрессы связаны в той или иной мере с деятельностью человека. Важное практическое значение имеют антропогенные стрессы обусловленные попаданием в природу **ксенобиотиков**, т.е. чужеродных для растений химических веществ. К числу таких ксенобиотиков можно отнести пестициды, отходы производств, пластики и т.д.

В растениеводстве особенно остро стоит проблема токсичного действия химических пестицидов на растения, вызывающие как повреждения (ожоги) непосредственно после обработки и оказывающее отрицательное влияние через продолжительный промежуток времени (последствие). Такие виды стрессов часто называют **фитотоксичностью пестицидов**. Наибольшую опасность, с этой точки зрения, представляют **гербициды** – пестициды для контроля травянистых сорных растений.

Ожоги гербицидами достаточно распространенный тип антропогенного стресса на сельскохозяйственных культурах. При этом характер воздействия на растения определяется механизмом действия действующего вещества (д.в.) гербицида. В частности, среди гербицидов выделяются следующие основные механизмы токсичного действия на сорные растения:

1. ингибирование фотосинтеза (фотосистем I и фотосистем II);
2. ингибирование процессов синтеза хлорофилла и каротиноидов;
3. нарушение процессов биосинтеза незаменимых аминокислот;
4. нарушение гормонального статуса растений;
5. нарушение дыхания и др.

В зависимости от этого механизма различается и характер токсичного действия гербицида на культурные растения. Особую опасность представляют препараты гормонального действия (производные арилоксиалкилкарбоновых кислот или группы 2,4-Д), оказывающие при нарушении технологии их применения быстрый отрицательный эффект на растения (рис. 3).



Рис. 3 – Действие гормональных гербицидов на культурные растения (деформации органов)

В связи с этим, выделяют особые *ятрогенные болезни* – неинфекционные болезни, связанные с отрицательным воздействием на культурные растения химических средств защиты растений (даже в случае если они рекомендованы к применению на данной культуре), при неправильном их применении. Причинами ятрогенных болезней являются: несоблюдение сроков обработки; завышение дозы препаратов; нарушение технологии обработки и т.д. В тяжелых случаях, особенно при ошибках при выборе препаратов, возможна полная гибель посевов от ожогов гербицидами.

Механизмы адаптации культурных растений к токсичному действию гербицидов определяются характером их влияния на биохимические и физиологические процессы растительного организма.

Особую опасность для урожая сельскохозяйственных культур представляет последствие гербицидов на последующие культуры севооборота. Дело в том, что у ряда гербицидов д.в. может длительное время (иногда несколько лет) находиться в почве в неизменном виде или в виде продуктов распада, сохраняя при этом фитотоксичность для культурных растений. К числу гербицидов, обладающих выраженной способностью оказывать последствие на последующие культуры севооборота относятся: а) производные сульфонилмочевин; б) имидазолиноны; в) хлороацетанилиды, триазины, триазиноны и др.

Гербициды группы **сульфонилмочевин** относятся к числу наиболее распространенных (известно более двадцати д.в. данной группы) и широко применяемых средств контроля сорных растений. Отличаются действием в небольших (граммовых) дозах, а также малой токсичностью для человека и теплокровных. Основным механизмом гербицидного действия препаратов группы – нарушение фитогормональной регуляции (**гиперцитокиноз**), что приводит к хлорозу, деградациии хлорофилла, дефолиацией листьев. Кроме того, они нарушают активность фермента **ацетолактатсинтетазы**, участвующей в синтезе ряда незаменимых аминокислот. Особенностью д.в. данных препаратов является высокая персистентность в почве, что, в следствии высокой фитотоксичности для двудольных растений, создает опасность поражения последующих культур. Особенно чувствительны к последствию сульфонилмочевин – *рапс, сурепица, сахарная свекла, гречиха* и др. Потери урожая данных культур от фитотоксичного действия достигает 15-20%, а в некоторых случаях и больше. По данным академика Ю.Я. Спиридонова (2009) на дерново-подзолистый почвах (в кислый условиях) детоксикация сульфонилмочевин происходит быстрее, чем на нейтральных черноземных почвах. С точки зрения опасности проявления отрицательного последствия он ранжируются производные сульфонилмочевин в следующий ряд: хлорсульфурон  $\geq$  триасульфурон  $\geq$  метсульфурон-метил  $>$  сульфометурон-метил  $>$  просульфурон  $\geq$  римсульфурон  $\geq$  никосульфурон.

Гербициды группы **имидазолинонов** ингибируют синтез ацетолактат синтетазы, что приводит к нарушению образования аминокислот валина и изолейцина и как следствие к нарушению образования белков и нуклеиновых кислот. Применяются на бобовых культур (горох, соя и т.д.). Отличаются длительным фитотоксичным действием на ряд двудольных растений – сахарную свеклу, рапс и др. Так последствие имазетапира на чувствительные культуры сохраняется в течении 3 лет, а в некоторых случаях и больше.

Гербицидный стресс по отношению к чувствительным сельскохозяйственным культурам во многом определяется сортовыми особенностями и действием абиотический стрессовых факторов (засухи, теплового шока и т.д.). Проявление такого стресса

обусловлено образование под влиянием гербицида активных форм кислорода (АФК или ROS), таких как супероксид радикалов ( $O^{2-}$ ), гидроксил радикалов ( $OH^{\cdot}$ ), перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) и синглетного кислорода (singlet oxygen  $^1O_2$ ), которые в свою очередь вызывают повреждения мембран, инактивацию ферментов и другие фитотоксичные реакции.

Среди мер, снижающих последствие гербицидов, рекомендуется строгое соблюдение технологии применения данных препаратов (прежде всего норм расхода и сроков применения), соблюдение ограничения по чередованию культур в севообороте, а также повышение микробиологической активности загрязненных почв. В связи с этим, возникает перспектива использования различных биопрепаратов для внесения в почву с целью снижения фитотоксичности.

Другим примером антропогенного стресса у культурных растений может служить фитотоксичность ряда фунгицидов. При этом, отмечаются такие явления как снижение интенсивности фотосинтеза, падение содержания пигментов в листьях, нарушения в обмене веществ и т.д. Примером фитотоксичного действия фунгицидов может служить выраженный ретардантный эффект при обработке семян триазольными протравителями.

В контроле антропогенных стрессов, связанных с применением химических средств защиты растений, большое внимание уделяется вопросам использования различных антистрессовых препаратов, к которым относятся гуматы, микроудобрения, а также биопрепараты.

### ***Вопросы для самостоятельной работы по главе 1***

- 1. Понятие стресса у растений. Виды стресса у растений.*
- 2. Экологические факторы, вызывающие стресс у растений.*
- 3. Особенности абиотические стрессов растений.*
- 4. Осмотический стресс у растений. Механизмы адаптации растительного организма к нему. Засухоустойчивость.*
- 5. Особенности действия высоких температур на растения. Тепловой шок. Механизмы адаптации.*
- 6. Особенности действия низких температур на растения. Холодовой шок. Механизмы адаптации.*

7. *Инфекционные болезни растений как биотические стрессы растений.*
8. *Категории иммунитета. Активный врожденный иммунитет и его механизмы.*
9. *Молекулярные механизмы активного иммунитета растений. СПУ и СИУ растений.*
10. *Искусственный (индуцированный) иммунитет растений к инфекционным болезням.*
11. *Фитотоксичность гербицидов как антропогенный стресс растений. Особенности последствия гербицидов и приемы его предупреждения.*

### ***Литература для самостоятельной работы по главе 1***

#### *Учебники и учебные пособия:*

1. Гужвин, С.А. Физиология и биохимия растений: учебное пособие / С.А. Гужвин, В.Д. Кумачева, Р.А. Каменев. – Персиановский: Донской ГАУ, 2019. – 172 с.
2. Кошкин, Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Агрономия», «Садоводство», «Агрохимия и агропочвоведение» по программам магистратуры /Е. И. Кошкин. – Москва: Дрофа, 2010. – 638 с.
3. Кузнецов, В.В. Физиология растений: учебник для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – Москва: Высшая школа: Абрис, 2011. – 783 с.
4. Федулов, Ю. П. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды: учеб. Пособие / Ю. П. Федулов, В. В. Котляров, К. А. Доценко. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 64 с.
5. Фундаментальная фитопатология / С.Ф. Багирова, В.Г. Джавахия, Ю.Т. Дьяков и др. – Москва: Красанд, 2012. – 508 с.

#### *Научные статьи и обзоры*

Жученко, А.А. Адаптивная селекция растений (эколого-генетические основы) Монография, II том. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – С.785-1490.

Максимов, И.В. Трофические группы фитопатогенов: механизмы взаимодействия и коэволюция с хозяевами / И.В.Максимов, Л.Г.Яруллина // Материалы VII Всероссийской микологической школы-конференции с международным участием «Биотические связи грибов: мосты между царствами». Сборник докладов и тезисов. – М.: ЗБС МГУ, 2015. – С.39-49.

Спиридонов, Ю.Я. К вопросу о последствии сульфонилмочевинных гербицидов в почвах РФ и пути снижения их

отрицательного действия на культурные растения / Ю.Я. Спиридонов // Вестник защиты растений. – 2009. – № 3. – С. 10–19.

Amrhein, N. Plant response to stress/ K. Apel, S. Baginsky, N. Buchmann et al. // ETH Zurich Research Collection. – 2012. – 156 p. /doi.org/10.3929/ethz-a-009779047

Dresselhaus Thomas and Huckelhoven Ralph. Biotic and Abiotic Stress Responses in Crop Plants // Agronomy. – 2018, 8. – 267.

Pandey, P. Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits/ P. Pandey, V. Irulappan, M. V. Bagavathiannan and M. Senthil-Kumar // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Vol. 8.– Article 537/ doi: 10.3389/fpls.2017.00537

## Глава 2

# МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ СТРЕССОВ

Для контроля и снижения отрицательного влияния различных стрессов на формирование урожая и качество сельскохозяйственных культур используется системный подход, нашедший свое отражение в концепции *Интегрированного управления стрессами* (Integrated stress management) или *Интегрированной системы защиты растений от стрессов*. Теоретической основой такого подхода является использование в практической деятельности различных механизмов, позволяющих снизить воздействие стрессора на растительный организм. Для этих целей используются современные омиксные подходы, важнейшими из которых являются:

- а) **геномика** (Genomics), прежде всего функциональная, для поиска генетических ресурсов устойчивости растений к стрессам;
- б) **протеомика** (Proteomics) – поиск путей экспрессии генов для управления белками, участвующими в реакциях ответа на стресс;
- в) **метабомика** (Metabolomics) – изучение изменений в метаболизме растений под влиянием стресса и использование таких знаний в системах контроля и др.

Для практической реализации таких подходов используются различные методы повышения устойчивости растений к стрессам, важнейшими из которых являются:

- **селекционный метод**, т.е. создание устойчивых к стрессам генотипов (сортов, гибридов) сельскохозяйственных культур;
- **агротехнический метод**, основанный на использовании приемов полевой агротехнологии (нормы, сроки и технологии посева; приемы ухода за растениями, поливы и т.д.);
- **химический метод**, основанный на использовании специальных средств защиты растений от вредных объектов (пестициды) или для повышения устойчивости растений (иммунизаторы);
- **биологический** или **биотехнологический** метод, основанный на использовании живых организмов или продуктов их жизнедеятельности для контроля стрессов.

**Селекция новых сортов**, устойчивых к стрессам относится к числу основных в системе защиты растений. Как и другие свойства растений, устойчивость к различным стрессам контролируется генами. Стратегии реагирования растений на абиотические и биотические стрессы включают различные изменения на молекулярном, клеточном, биохимическом и физиологическом уровнях. Эти механизмы ответов на стресс обычно контролируются несколькими ключевыми генами, кодирующими транскрипционные активаторы и репрессоры, которые в свою очередь регулируют активность нижестоящие генов и ответы на изменения индуцированные стрессом. Исследования последних лет позволили выявить ключевые механизмы генетической регуляции ответных реакций растений, связанных с воздействием абиотическими и биотическими стрессоров. Все большее внимание привлекают белки **транскрипционные факторы** (transcription factors – **TF**) являющиеся центральными регуляторами экспрессии генов. Основной функцией **TF** является их способность связывать определенные последовательности ДНК и взаимодействовать с различными белками в транскрипционных комплексах, которые регулируют экспрессию огромного числа генов. **TF** играют существенную роль в ответных реакциях растений на воздействие факторов окружающей среды. Выделяют несколько семейств **TF** (ERF/DREB, WRKY, MYB, NAC и bZIP), которые участвуют в реакциях на стресс, соответственно многие гены контролирующие образование **TF** связаны с повышенной устойчивостью у сельскохозяйственных растений.

**Пример:**

У растений в условиях засухи происходит экспрессия двух групп генов: а) гены кодирующие функциональные белки ответа, а также ферменты; б) гены, контролируемые **TF**. Транскрипционные факторы группы DREB могут активировать до 12 функциональных генов засухоустойчивости, что приводит к увеличению содержания аминокислоты пролина, играющей важную роль к повышению устойчивости к таким абиотическим стрессам, в том числе осмотическому.

Повышение устойчивости растений к стрессу путем манипулирования экспрессией генов **TF** открывает новые возможности в селекции сельскохозяйственных культур с более

высокой стрессоустойчивостью. В частности, в данном направлении ведется работа по созданию новых генотипов биотехнологическими методами – методами генной инженерии (генно-модифицированные сорта и гибриды) и редактирования генома (*CRISPR/CAS9*). В данных направлениях достигнуты значительные успехи по созданию генотипов культурных растений, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессам. Необходимо дополнительно отметить, что имеются сведения об индукции транскрипции некоторых **TF** (*WRKY70* и др.) различными микроорганизмами (*Bacillus*, *Streptomyces* и др.), в том числе используемых в биологической защите растений. Данный процесс может быть одним из механизмов в повышении устойчивости растений к стрессам под влиянием биопрепаратов.

Кроме данного направления, в селекции на устойчивость к стрессам активно используются методы, основанный на использовании генов устойчивости к патогенам и вредителям, а также на анализе **локусов количественных признаков (QTL)**. В частности, у мягкой пшеницы были обнаружены области хромосом где расположены QTL, в том числе и связанных с ответными реакциями на засуху и засоление.

Среди **агротехнических методов** повышения устойчивости растений к стрессам значительная роль отводится оптимизации минерального питания. Выше отмечалось, что сам по себе дефицит или избыток тех или иных элементов минерального питания является стрессом для растений. Однако и при других видах стрессов значение обеспеченности макро- и микроэлементами для успешных ответных реакциях растений крайне велико. Достаточно давно описана положительное влияние внесения сбалансированных доз фосфорных и калийных удобрений на повышение устойчивости растений к низким температурам, засухе, а также к инфекционным заболеваниям. Значительная роль в контроле стрессов играют различные микроэлементы, причем механизмы положительного их влияния могут быть различными (табл. 1). В частности, ряд микроэлементов выступают в качестве элиситоров не связанных с патогенами (см. главу 1).

Таблица 1 – Влияние микроэлементов на устойчивость растений к инфекционным болезням

Микроэлемент	Степень влияния на иммунитет растений	Механизм влияния
Медь (Cu)	+++	Активизация ферментных систем растений, СПУ (SAR)
Цинк (Zn)	+++	Активизация ферментных систем растений, СПУ (SAR)
Марганец (Mn)	+++	Активизация ферментных систем растений, СПУ (SAR)
Железо (Fe)	++	Активизация ферментных систем
Молибден (Mo)	++	Ферментные системы
Бор (B)	++	Гормональный обмен

Примечание: +++ – сильное; ++ – среднее.

В последние годы все большее распространение в растениеводстве получили некорневые подкормки, при которых макро- и микроэлементы вносятся при опрыскивании. Данный прием позволяет оказывать оперативное воздействие на растения, в том числе и находящиеся в состоянии стресса.

К *химическим препаратам* для повышения устойчивости к стрессам относят различные группы химических соединений. Многие из них относятся к регуляторам роста (фиторегуляторам), обладающим способностью воздействовать на гормональный обмен растений. Характер такого влияния может быть обусловлен различными механизмами, важнейшими из которых являются: а) увеличение образования гормона под влиянием обработки; б) стимулирование или подавление синтеза гормона и систему его инактивации; в) воздействие на транспорт гормонов; д) вмешательство в работу гормон-рецепторного комплекса и др. В результате применения таких веществ у растений повышается устойчивость к абиотическим стрессам (засухе, низким температурам и т.д.). К числу таких препаратов относятся:

– синтетические препараты с цитокининовой активностью (тидазурон и др.);

– brassinosteroids (эпибрасинолид и др.);

- синтетические аналоги фитогормонов (ауксинов, гибберелинов, АБК и др.);
- этиленвыделяющие препараты (гидрел, дигидрел и др.);
- органические кислоты (салициловая, сульфо- и метилсалициловая, бензойная, янтарная и др.)
- гидроксикоричные кислоты, в том числе растительного происхождения (препарат Циркон и др).

Обнаружена защитная роль ретардантов хлорхолинхлорида и холинхлорида в повышении устойчивости фотосинтетического аппарата к влиянию ультрафиолетового облучения и высоким температурам.

Достаточно подробно описано влияние меламиновой соли бис (оксиметил) фосфиновой кислоты (препарат Мелафен) на механизмы положительного действия данного вещества в сверхмалых концентрациях на физиологические процессы растений, в том числе и на устойчивость к различным стрессам. В целом, улучшение энергетического обмена клеток растений под влиянием данного соединения позволяет значительно повысить адаптивную способность растений, увеличить урожайность и качественные характеристик продукции.

Значительный интерес представляют различные препараты на основе кремния. К их числу относятся препараты – *Мивал-Агро*, *Силацин*, *Энергия-М* и др. На многих сельскохозяйственных культурах показано положительное влияние применения кремнийсодержащих препаратов на повышение устойчивости к различным стрессам.

Одним из распространенных препаратов для повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям является *Крезацин* (ортокрезоксисукусной кислоты триэтаноламмониевая соль), широко применяемый на различных сельскохозяйственных культурах.

Для химической иммунизации растений от инфекционных болезней используются такие соединения как *Фосэтил алюминия* (Fosetyl Al), *Пробеназол* (активизирует СПУ в растениях), *неорганические фосфаты* ( $K_2HPO_4$ ,  $K_3PO_4$ ) (индуцируют СПУ), *2,6-дихлоризоникотиновая кислота* (индуцирует СИУ) и др.

Развитие *биологических методов* в контроле стрессов растений – одно из основных направлений в повышении устойчивости мирового земледелия в эпоху глобальных климатических изменений.

В уточнении терминологии, используемой в биологической защите растений важное значение имело утверждение соответствующих государственных стандартов – ГОСТ 21507-2013 «Защита растений. Термины и определения», ГОСТ Р 57079-2016 «Биотехнологии. Классификация биотехнологической продукции»; ГОСТ Р 56694-2015 «Возобновляемые источники сырья. Сельскохозяйственные ресурсы. Термины и определения» и др.

Согласно ГОСТ 21507-2013 под *биологической защитой растений* понимается: «... система мероприятий по защите растений ... от вредных организмов путем применения биологических препаратов или использование регуляторной и истребительной деятельности естественных врагов вредных организмов...»

В ГОСТР57079–2016 указывается, что *биологические средства защиты растений* (biological plant-protecting agents) – это: «...биопрепараты, используемые для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений, сорняками, вредителями зерна и зернопродуктов. Представляют собой: микробиологические препараты на основе микроорганизмов (бактерий, грибов, вирусов) и продуктов их жизнедеятельности: препараты из растений, экстрактов растений и прочих природных субстратов...». При этом понятие *биопрепарата* означает, что это препарат: «действующим веществом которого является микроорганизм или продукт его жизнедеятельности (ГОСТ 21507-2013). Аналогично под термином *биопестициды* подразумеваются «...биологические средства защиты растений ..., представляющие собой живые объекты или естественные биологически высокоактивные химические соединения, синтезируемые живыми организмами (ГОСТ Р 56694-2015).

Главным достоинством биологической защиты растений является ее высокая экологическая безопасность при небольших затратах. Однако, высокая зависимость эффективности биологической защиты от внешних (прежде всего погодных) условий во многом сдерживает внедрение данного метода в практику растениеводства.

Одним из направлений биологической защиты растений становится применение различных препаратов природного

происхождения, выступающих в качестве элиситоров для запуска ответных реакций на действие абиотических и биотических стрессов. К числу наиболее ценных элиситоров устойчивости к стрессам относятся различные группы микроорганизмов, обладающие способностью индуцировать различные ответные реакции растения на внешнее воздействие. Такие микроорганизмы получили название *микроорганизмов биостимуляторов (biostimulant microorganisms)*.

Использование *микроорганизмов биостимуляторов* растений активно разрабатывается в мировой науке как альтернатива химическим средствам защиты растений. Обсуждаются способы расширения спектра защитных свойств биопрепаратов за счет их комбинирования со стимуляторами роста. Рассматриваются генно-инженерные подходы, когда в геном эффективных в защите растений штаммов *Escherichia coli*, *B. Subtilis*, *B. Megaterium*, *P. Fluorescens* встраивают гены, кодирующие белки, ответственные за формирование устойчивости к тем или иным биотическим и абиотическим факторам. Искусственное внедрение в ткани растений микроорганизмов с трансформированными генами, может иметь перспективы для фиторемедиации почв загрязненных нефтедобычей, тяжелыми металлами, а также для деструкции органических загрязнителей. Рассматривается вопрос о возможности использования таких микроорганизмов для деструкции микотоксинов фитопатогенов.

Кроме микроорганизмов, к биостимуляторам биологического происхождения также относятся препараты на основе водорослей, гуминовых кислот, аминокислот, гидролизатов белков и т.д.

В США, ЕС и Канаде препараты биологического происхождения делят на 3 группы – биопестициды (Biopesticides,) биостимуляторы (Biostimulants) и биоудобрения (Biofertilizers)

В США к **биопестицидам** относятся – микробиологические (Microbials) препараты (на основе бактерий, грибов); биохимические (Biochemical) природные вещества, такие как растительные экстракты, феромоны и семиохимикаты, а также Plant-incorporated protectants (PIPs) (генно-модифицированные растения производящие в себе средства защиты).

В ЕС выделяются «микробные пестициды», семиохимикаты и ботанические пестициды на основе экстрактов.

К **биостимуляторам** в ЕС относят препараты биологического происхождения способные «...стимулировать естественные процессы в интересах потребления и эффективности использования питательных веществ растениями, толерантности их к абиотическим стрессам, а также улучшения качества сельскохозяйственных культур». В Германии их называют «plant strengtheners» – усилители растений, что по смыслу более связано с термином «антистрессовые препараты».

Под термином «**биоудобрение**», в основном, в мире понимаются препараты на основе различных микроорганизмов. Вместе с тем, к данному термину близко понятия органо-минеральных удобрений (ОМУ), под которыми в ЕС понимается «... комплексное удобрение, полученное в результате промышленного смешивания одного или нескольких неорганических удобрений с одним или несколькими органическими удобрениями и/или органическими улучшителями почвы в твердые формы (за исключением сухих смесей) или жидкостей. В конечном продукте органический С и минеральные питательные вещества должны присутствовать в каждой единице». В РФ под термином ОМУ, в первую очередь понимаются удобрения на основе гуминовых кислот различного происхождения и минеральных удобрений. Однако, в последние годы появилось большое количество других видов ОМУ, в том числе на основе хелатов металлов элементов минерального питания растений с лигандами органического (биологического) происхождения. Такие препараты, часто также называют биоудобрениями.

Таким образом, препараты биологического происхождения для контроля стрессов можно разделить на три группы (биопестициды, биостимуляторы и биоудобрения), причем очень часто, достаточно трудно разделить конкретные средства биологической защиты по данным группам в связи с разнообразным их действием на растения.

С учетом того, что биологическая защита от стрессов динамично развивается во всем мире, развитие данного направления (с учетом значительных временных затрат на селекцию растений) имеет существенное значение для растениеводства и является одним из наиболее актуальных направлений в агробиотехнологии в России.

## ***Вопросы для самостоятельной работы по главе 2***

1. Понятие об интегрированной системе защиты растений от стрессов.
2. Основные направления в контроле стрессов растений.
3. Особенности селекции растений на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам.
4. Современные направления в селекции растений к стрессам.
5. Агротехнические методы повышения устойчивости растений. Значение минерального питания в повышении устойчивости растений к стрессам.
6. Химические препараты для повышения устойчивости растений.
7. Особенности биологической защиты растений от стрессов.
8. Классификации биопрепаратов для повышения устойчивости к стрессам в России и в мире.

## ***Литература для самостоятельной работы по главе 2***

### *Учебники и учебные пособия:*

1. Кошкин, Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Агрономия», «Садоводство», «Агрохимия и агропочвоведение» по программам магистратуры /Е. И. Кошкин. – Москва: Дрофа, 2010. – 638 с.
2. Лухменев, В. П. Средства защиты растений от вредителей, болезней и сорняков: учебное пособие / В. П. Лухменев, А. П. Глинушкин; под редакцией В. П. Лухменева. – Оренбург: Оренбургский ГАУ, 2012. – 596 с.
3. Штерншис, М. В. Биологическая защита растений: учебник / М. В. Штерншис, И. В. Андреева, О. Г. Томилова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 332 с.
4. Федулов, Ю. П. Рост и развитие растений: учебное пособие / Ю. П. Федулов, В. В. Котляров, К. А. Доценко, А. Я. Барчукова, Я. К. Тосунов, Ю. В. Подушин.– Краснодар: КубГАУ, 2013. – 85 с.
5. Юрин, В.М. Минеральное питание, физиология стресса и адаптации растений: учебно-методическое пособие // В.М. Юрин, В.В. Демидчик и др. – Минск: БГУ, 2014. – 103 с.

### *Научные статьи и обзоры*

- Лисицын, Е.М. Использование маркерной селекции в создании моделей сортов зерновых культур, устойчивых к абиотическим стрессам/ Е.М. Лисицын//Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2018, том 64, №3. С. 4-12.

Козлов Ю.В., Самсонова Н.Е. Использование соединений кремния при выращивании зерновых культур/ Ю.В. Козлов, Н.Е. Самсонова // Плодородие. – 2009. – № 6. – С. 20-22.

Колмыкова, Т.С. Эффективность регуляторов роста растений при действии абиотических стрессовых факторов / Т.С. Колмыкова, А.С. Лукаткин //Агрехимия. – 2012. – № 1. – С. 83–94.

Yakhin, O.I., Lubyarov, A.A., Yakhin, I.A., and Brown, P.H. (2017). *Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. Frontiers in Plant Science* 7:2049. Doi: 10.3389/fpls.2016.02049.

## Глава 3

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ  
ОТ СТРЕССОВ НА ОСНОВЕ МИКРООРГАНИЗМОВ**

В понимании механизмов биологической защиты сельскохозяйственных культур от стрессов под влиянием различных биопрепаратов на основе микроорганизмов, существенное значение имеет изучение особенностей взаимодействия между растениями и микробиомом.

**Фитобиом** (Phytobiomes) – это система живых организмов, связанная с растениями. Такие системы могут включать в себя – другие растения и животных (насекомые, нематоды и т.д.), а также широкое разнообразие различных микроорганизмов (так называемый растительный **микробиом** (*plant microbiome*) или ассоциированное с растениями микробиологическое сообщество). Благодаря разнообразным динамическим процессам, участники микробиома играют важнейшую роль в обеспечении иммунитета и продуктивности растений, качественных характеристик продуктов питания.

По современным представлениям, развитие технологий управления микробиомом растений является ключевым в обеспечении повышения как продуктивности, так и экологической безопасности растениеводства. В связи с этим, изучение микробиома растений представляется одной из основных задач при разработке биологических систем защиты растений от стрессов.

Роль микробиома в жизни растений многообразна. Во многих исследованиях показано его влияние на иммунитет к инфекционным болезням; потребление элементов питания и обмен веществ организма растений хозяина; устойчивость к различным абиотическим стрессам. В ряде работ указывается, что с учетом своей роли, микробиом корней является «вторым геномом» растений. Значительный интерес представляет изучение зависимости между микробиомом растений и человека.

С точки зрения биологической защиты, технологии практического применения микробиома открывают значительные перспективы. В частности, имеются сведения об успешном переносе (трансплантации) микробиома диких видов на культурные, с целью

контроля ряда инфекционных заболеваний. Использование таких подходов в создании консорциумов биологических агентов для биологической защиты от патогенов показывает высокую эффективность на различных сельскохозяйственных культурах. Использование анализа микробиома различных органов растения позволяет адаптировать биологическую защиту в отношении многих трудно контролируемых патогенов. Учитывая то, что микроорганизмы обитают в сложных экосистемах, другим аспектом развития данного направления становится анализ микробиома основанный на метагеномных или метатранскриптомических профилях, что дает возможность лучше понять особенности функционирования сообществ по сравнению с отдельными видами микробов. Первые практические шаги по активному использованию микробиома для защиты растений включают в себя обработку семян и прямое нанесение специализированных консорциумов на поверхность листьев.

Среди микробиома, с точки зрения получения новых биопрепаратов, существенное значение имеют микроорганизмы полезные для роста и развития растительного организма (*plant beneficial microbes*). Функции и локализация таких микроорганизмов могут быть различными.

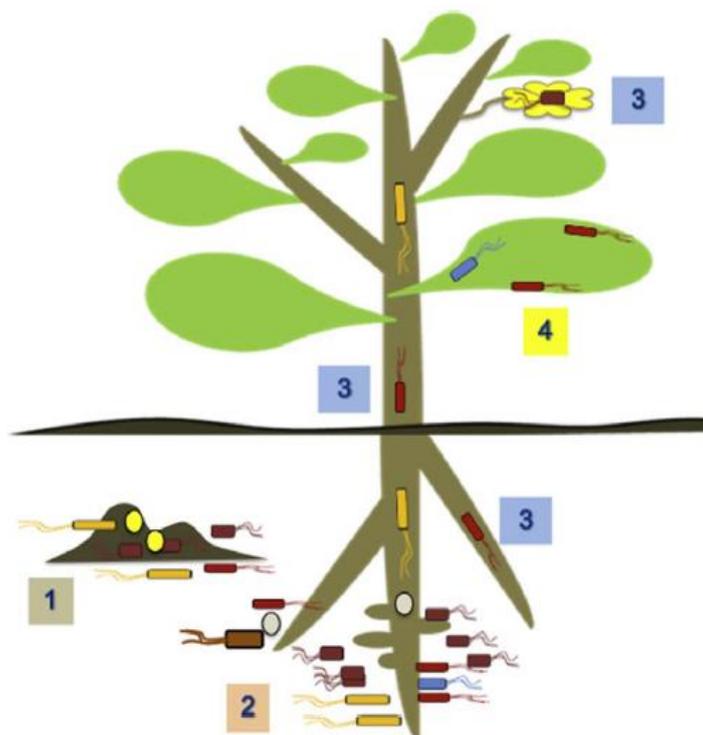


Рис. 4 – Микробиом растений (по Orozco-Mosqueda et al, 2018)

Условные обозначения: 1) **микробиом почвы** вне ризосферы корней (корневые метаболиты не могут влиять на микробы, но микробы, тем не менее, могут оказывать влияние на корни растений); 2) **ризосфера** – узкая зона почвы прилегающая к корням, где находятся многочисленные микроорганизмы подверженные влиянию экссудатов растений; 3) **эндосфера** – внутренние области тканей растений, населенных **эндофитными микроорганизмами**; 4) **филлосфера** – микроорганизмы, заселяющие поверхность и апопласт тканей листьев.

Как отмечают К. Hawkes, E. Connor (2017), **изучение микробиома растений – важнейшее направление в агрономии** и практическое использование этих знаний может стать эффективным инструментом для улучшения роста растений и повышения толерантности к стрессам в дополнении к традиционным подходам к селекции растений.

### 3.1. Основные группы биологических агентов биопрепаратов

Основным направлением в биологической защите растений является использование биопрепаратов на основе различных **биологических агентов** (biological control agents (**BCAs**)). Потенциальные BCAs известны из различных групп живых объектов (археи, бактерии, грибы и т.д.).

Таблица 2 – Основные группы биологических агентов

Группа	Описание
Бактерии и бактериоподобные организмы	Бактерии, стимулирующие рост растений и защищающие от патогенов
Непатогенные микроскопические грибы (микробицеты)	Широкий спектр видов грибов, которые не обладают патогенным воздействием на растения (например, <i>Trichoderma</i> spp.)
Арбускулярные микоризные грибы	Общий тип эндомикоризных грибов, который формирует симбиотическую связь с корнями растений (например, <i>Rhizophagus irregularis</i> ).
Простейшие и нематоды	Животные организмы, не являющиеся вредителями, но способствующие росту растений.

При этом число используемых биоагентов для создания биопрепаратов постоянно растет. Например, в 1979 году в США был зарегистрирован только один биоагент и биопрепарат на его основе, то уже к началу XXI использовались уже 14 видов бактерий и 12 видов микромицетов. Основными видами *BCAs* применяемыми в биологической защите растений от болезней в мире стали бактерии родов *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, а также грибы родов *Ampelomyces*, *Candida*, *Coniothyrium*, *Trichoderma*.

Однако, в большинстве стран мира практическая защита растений от абиотических и биотических стрессов, в основном базируется, на биопрепаратах в которых в качестве биологического агента выступают бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и грибы рода *Trichoderma*.

### **3.2. Механизмы положительного влияния биологических агентов на защиту растений от стрессов**

Как отмечалось выше, в биологической защите растений от абиотических и биотических стрессов используются различные микроорганизмы или продукты их жизнедеятельности. При этом характер влияния их может выражаться в различных механизмах, основными из которых являются:

а) **биологическая и экологическая активность (*biological or ecological mode of action*)** – обычно проявляется в хищничестве или в подавление развития других видов (антагонизм);

б) **физическое воздействие** – при этом микроорганизмы создают физические барьеры или занимают пространство, что препятствует развитию фитопатогенных организмов;

с) **химическое или биохимическое воздействие** – при этом микроб выделяет различные продукты метаболизма, которые оказывают влияние как на само растение, так и на генетические и функциональные свойства вредного организма.

Изучение механизма контроля болезней при использовании *BCAs* особенно бурно развивалось в последние годы, что связано с широким использованием современных методов (молекулярно-генетических, информационных и т.д.) в изучении различных групп микроорганизмов. Наиболее общие механизмы положительного

действия ВСАs при использовании для защиты растений включают в себя – **конкуренцию, антибиотики, паразитизм, индуцированную устойчивость и стимуляцию роста растений**, а также с узкоспециализированный механизм – **гиперпаразитизм и блокирование активности ферментов патогенов**. Как правило, биологический контроль заболеваний одним ВСА может включать несколько механизмов действий, обеспечивающих более высокую эффективность. Причем активность ВСАs проявляется в филлосфере, ризосфере, в семенах и послеуборочных растительных остатках, т.е. часто носит пролонгированный характер.

Рассмотрим основные механизмы активности биологических агентов при применении их в защите от стрессов.

### ***1. Конкуренция за жизненное пространство и питательные ресурсы***

Как биологические агенты, так и патогены конкурируют друг с другом за питательные вещества и жизненное пространство, необходимые для выживания. Этот процесс конкуренции между возбудителем и агентом биологического контроля, при котором патогены исключаются из сообщества микроорганизмов из-за истощения пищевой базы или физической невозможности развития на данном месте (участке) является одним из основных для многих **ВСАs**.

Наиболее изученным механизмом такого действия биологических агентов является образование сидерофоров (низкомолекулярные гидроксаматы,  $\alpha$ -гидроксикарбоксилаты, катехолы и пиовердины), связывающих ионы железа и других металлов в недоступные для патогенов форму **хелатов**. У некоторых **ВСАs** имеется специализированные мембранные рецепторы которые распознают и связывают Сидерофор-*Fe*-комплекс. Однако, этот положительный эффект имеет свои ограничения, в частности при использовании на кислых почвах и при высоких концентрациях железа.

На основе данного механизма контроля в качестве биоагентов современных биофунгицидов активно используются ризосферные микроорганизмы, в частности различные штаммы бактерии рода *Pseudomonas*.

## **2. Выделение антибиотиков**

Производство антибиотиков и ингибирующих метаболитов микроорганизмами хорошо изучен как механизм их действия на фитопатогенные объекты. Микроорганизмы обычно продуцируют антибиотики в ходе своего роста и развития, используя их для повышения конкурентоспособности за ресурсы. В настоящее время описаны такие антибиотики у биологических агентов, как амфизин, 2,4-диацетилфторглюцинол, оомицин А, феназин, пиолеторин, пирролнитрин, тензин, типонол и циклические липополисахариды производимые *Pseudomonas* spp.; грамицидин S, олигомицин А, канозамин, итурин, цвиттермицин А и ксантобакцин продуцируемые *Bacillus*, *Streptomyces* и *Stenotrophomonas* spp.; глиотоксин и пептаиболы, продуцируемые *Trichoderma* spp. Достаточно подробно описаны гены и сигнальные системы (GacA/GacS или GrrA/Grrs, RpoD, RpoN, RpoS, prsA и др.), отвечающие за выделение антибиотиков у биологических агентов биопрепаратов, а также системы их авторегуляции. Данные исследования позволяют вести целенаправленную селекционную работу по отбору эффективных штаммов *BCAs* продуцентов антибиотиков. Кроме антибиотиков, интерес представляют продуцируемые некоторыми (*Muscador albus*, *M. Roseus*) биологическими агентами антипатогенные летучие соединения, в том числе спирты, сложные эфиры, кетоны, кислоты и липиды, показывающие высокую **фумигантную активность** (токсичное действие на вредные организмы посредством летучих соединений).

Скрининг на выделение антибиотиков и других токсичных для патогенов веществ один из обязательных элементов при создании новых биопрепаратов для защиты растений от стрессов.

## **3. Паразитизм и выделение экстрацеллюлярных (внеклеточных) литических ферментов**

Паразитизм и связанное с ним производство внеклеточных литических ферментов биологическими агентами имеет существенное значение в биоконтроле патогенов. У ряда бактерий это может варьироваться от простого прикрепления бактериальных клеток к гифам патогенных микромицетов с минимальной деградацией мицелия, до полного лизиса и разрушения клеточных стенок гриба. К

внеклеточным литическим ферментам бактерий относятся – различные хитиназы, протеазы, глюконазы и др.

Для грибных биологических агентов, процесс паразитизма включает в себя ряд фаз, при котором происходит взаимодействие между гифами патогена и гриба *BCAs*. Данный механизм хорошо изучены для наиболее известного рода микромикетов, относящихся к группе *BCAs*, *Trichoderma* spp. Данные процесс включает – обнаружение, направленный рост, контакт и соединение с мицелием патогена (иногда связанные с производством аппрессориев), скручивание или выравнивание гиф микопаразита вокруг хозяина, проникновение в клетки патогена с последующей их деградацией. Значительную роль в реализации такого процесса играет распознавание мицелия хозяина (обнаружение специфических низкомолекулярных олигосахаридов патогена) и последующая активность внеклеточных литических ферментов.

#### **4. Индуцированная устойчивость (искусственный иммунитет растений)**

В многочисленных исследованиях было показано, что многие *BCAs* (бактерии, грибы, вирусы и т.д.) обладают способностью индуцировать системную и локальную устойчивость растений к патогенам. Такой эффект описан для бактерий *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Lysobacter enzymogenes*, а также для грибов *Trichoderma* spp., микоризных грибов, дикариотичных изолятов *Rhizoctonia* и некоторых грибоподобных организмов.

Механизмы индукции резистентности к стрессам под влиянием *BCAs* связаны как с системно индуцированной (СИУ), так и системно приобретенной (СПУ) устойчивостью. Так, салициловая кислота (SA), является одним из основных механизмов в СПУ растений под влиянием гриба *Trichoderma harzianum*. Элиситерами в запуске реакций устойчивости к стрессам под влиянием биологических агентов у бактерий выступают – липосахариды, сидерофоры, жгутики или флагеллин, летучие соединения, салицилаты, циклический белок сиринголин, антибиотики. Для грибов рода *Триходерма* в качестве элиситоров выступают 22 kDa ксилоназа, 18 kDa сериновая протеиназа и др.

Использование микроорганизмов для повышения устойчивости растений к абиотическим и биотическим стрессам (искусственный или приобретенный иммунитет) через стимуляцию системного ответа растений одно из наиболее перспективных направлений в интегрированной защите сельскохозяйственных культур.

### **5. Стимулирование роста и развития растений (*Plant-growth promotion*)**

Наиболее изученными микроорганизмами данной группы являются **ризосферные бактерии стимуляторы роста растений** (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria – PGPR*). Влияние PGPR на растения многообразно и включает – регулирование гормонального статуса и минерального питания, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам, а также взаимодействие с другими группами микроорганизмов. Существует много видов бактерий относящихся к PGPR – виды *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Azobacter*, *Variovorax*, *Azosprillum*, *Serratia* и др. Данные микроорганизмы являются источником для разработки новых биопрепаратов и устойчивого развития растениеводства в глобальном масштабе.

Стимуляция образования под влиянием PGPR различных гормонов – важнейший механизм их положительного действия на растения. Способность многих PGPR синтезировать ауксины достаточно хорошо изучена. При этом отмечается положительное действие, в первую очередь, на рост и развитие корневой системы растений, в том числе на ветвление, глубину проникновения и развитие корневых волосков, что оказывает положительное влияние на адаптацию растений к недостатку влаги и минеральных элементов. Однако данный эффект затрагивает и надземные органы. Образование цитокининов описанное для некоторых видов ризосферных бактерий способствует росту биомассы побегов, аналогичный эффект оказывают продуцируемые PGPR гиббереллины. Влияние данных микроорганизмов на этилен растений носит сложный и многогранный характер, что обусловлено ролью данного фитогормона в жизни растений. Особый интерес представляет выделение PGPR абсцизовой кислоты (АБК), роль которой в повышении устойчивости растений к водному стрессу описана выше, что открывает новые перспективы по

поиску биологических агентов биопрепаратов для повышения засухоустойчивости растений. Активизация роста и развития растений в условиях засухи относится к числу реакций адаптации ризосферных микроорганизмов к неблагоприятным условиям, что может быть использовано при разработке **антистрессовых агротехнологий производства** продукции растениеводства.

В связи с особенностями действия PGPR обычно делят на **биоудобрения** (увеличивающие доступность элементов питания для растений), **фитостимуляторы** (продуценты фитогормонов), **ризоремедиаторы** (разрушающие органические вещества загрязняющие почву (поллютанты)) и **биопестициды** (контролирующие болезни, через образование антибиотиков и антигрибных метаболитов) (E. Somers et al., 2004). Однако для многих биопрепаратов на основе данных микроорганизмов трудно выделить преимущественный тип активности, т.к. они обладают комплексным действием (рис. 5).



Рис. 5 – Возможные механизмы действия ризосферных бактерий стимуляторов роста растений (PGPR)

К числу организмов стимулирующих рост и развития растений относят *эндофитные организмы* (грибы, бактерии), образующие с растениями прочные *мутуалистические* ассоциации и живущие в тканях растительного организма.

Эндофитные микроорганизмы можно встретить практически на каждом растении на Земле. Мутуалистические отношения в системе растение -эндофит носят взаимно выгодный характер, т.к многие эндофиты обладают выраженным антагонизмом к фитопатогенам и обеспечивают защиту растения хозяина от инфекционных болезней и абиотических стрессов. Способность колонизировать внутренние ткани хозяина сделала эндофитов, чрезвычайно ценными для сельского хозяйства, в том числе и в качестве инструмента повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Эндофитные микроорганизмы, которые находятся в тканях живых растений являются относительно малоизученными и потенциальными источниками биоагентов для использования в сельском хозяйстве. Например, многие корневые эндофитные микроорганизмы рассматриваются как перспективные альтернативы для защиты растений и оптимизации минерального питания в системах устойчивого и органического земледелия. В связи с этим, поиск, идентификация и использование эндофитов или продуктов их жизнедеятельности для контроля стрессов растений и повышения урожайности сельскохозяйственных культур становится все более масштабным во всем мире.

К числу наиболее удачных примеров использования эндофитных микроорганизмов в защите растений от болезней различной этиологии можно отнести биопрепарат Фитоспорин-М на основе эндофитной бактерии *Bacillus subtilis* ВНИИСХМ 128 (26Д), который активно используется на различных культурах. На высокую ценность эндофитов семян с точки зрения поиска перспективных биоагентов указывают многие исследователи. Именно поэтому, выделение эндофитных микроорганизмов и оценка их активности имеет важное значение при создании биологических препаратов для защиты растений от биотических и абиотических стрессов.

### **6. Гипервирулентность**

Узкоспециализированный способ действия ВСАs основанный на использовании гиповирулентных изолятов патогенных микромицетов, содержащих миковирусы. Когда гиповирулентные изоляты вводят в инфицированные растительные ткани, в которых находится изоляты вирулентного патогена, вирусы могут передаваться через гифальные анастомозы, что приводит к распространению вирусной инфекции и снижению заболеваемости. Классический пример этого процесса представляет собой гиповирулентные изоляты *Cryphonectria parasitica*, содержащие некапсулированные двухцепочечные РНК-вирусы семейства вирусов Нуровиридае, которые были использованы для контроля микозов каштана.

### **3.3 Биологические препараты на основе бактерий**

Биологические препараты на основе бактерий занимают лидирующую позицию среди биологических средств защиты растений от стрессов. При этом используются различные виды бактерий и бактериоподобных организмов, важнейшими из которых являются представители родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и *актиномицеты*. Различные штаммы таких бактерий активно используются в промышленной биотехнологии при производстве биопрепаратов для защиты растений.

#### ***Бактерии рода Pseudomonas и биопрепараты на их основе***

Бактерии рода *Псевдомонас* (*Pseudomonas* spp.) являются обычными обитателями почвы, воды и поверхности различных органов растений. Они принадлежат к грамотрицательным *Proteobacteria*.

Многие *Псевдомонады* находятся в комменсальных отношениях с растениями, используя их выделения для своего питания и развития, при этом оказывая положительное влияние на ряд процессов в растительном организме.

Представители данного рода – *P. Fluorescens*, *P. Aureofaciens*, *P. Chlororaphis* и др. являются чрезвычайно эффективными антагонистами хозяйственно значимых фитопатогенов. Они способны синтезировать пиоллютеорин, пирролнитрин и 2,4-

диацетилфлороглюцин. У них были обнаружены гены, контролирующие выделение токсичных для фитопатогенов феназина, пирролнитрина и пиолотеорина. Кроме того, они выделяют ингибирующие развитие патогенов сидерофоры, внеклеточные энзимы (хитиназы, целлюлазы, протеазы, глюканазы и т.д.), обладающие широкой биологической активностью.

Многие представители рода *Псевдомонас* являются типичными ризосферными бактериями стимуляторами роста растений (PGPR). Под влиянием ряда *Pseudomonas* происходит образование индолил-3-уксусной кислоты (*ауксинового гормона*), что оказывает сильное ростостимулирующее влияние.

В целом, представители данной группы отличаются различными механизмами положительного действия на растения, поэтому многие из них, в частности различные штаммы бактерии рода *Pseudomonas* – *Pseudomonas fluorescens*, *P. Syringae*, *P. Aureofaciens* *P. Ceracia* и т.д. (Боронин, 1998; Акимова и др., 2009). Высокая эффективность их использования показана в отношении контроля наиболее хозяйственно важных патогенных микромицетов – *Fusarium*, *Alternaria*, *Ascochyta*, *Botrytis*, *Sclerotinia*, а также оомицетов – *Phytophthora*, *Peronospora* и т.д. (Свешникова, 2002; Lindow, Leveau, 2002; Ganeshan, Kumar, 2005; Марченко, 2017).

На основе таких штаммов были разработаны различные биофунгициды: Ризоплан (Институт генетики и цитологии АН Республики Беларусь), Псевдобактерин-2 (Институт биохимии и физиологии микроорганизмов РАН, г. Пущино, Московская обл.), «Агат-25-К» (ТОО «БИО-БИЗ и Ко, г. Москва), «Бинорам» (Институт генетики и цитологии СО РАН, г. Новосибирск), «БиоВайс» (ООО «Планта-Плюс», г. Томск) и др.

В защите растений от стрессов в России и в Татарстане активно используются *Pseudomonas aureofaciens*, штамм BS1393 (Псевдобактерин-2, Ж, ПС); *Pseudomonas aureofaciens*, штамм ИБ-51 (Елена, Ж); *Pseudomonas fluorescens*, штамм АР-33 (Ризоплан, Ж) и др.

### ***Бактерии рода Bacillus и биопрепараты на их основе***

Аэробные бактерии рода *Bacillus*, образующие эндоспоры (aerobic endospore forming bacteria – АЕФВ), находят широкое применение в различных областях сельского хозяйства. Такие их

особенности, как – многослойная клеточная стенка, образование *эндоспор*, секреция антибиотиков, сигнальных молекулы и внеклеточных ферментов, способствуют их широкому применению в защиты растений от стрессов.

Основными механизмами стимулирования роста и развития растений под влиянием бацилл являются:

- производство фитогормонов;
- перевод в доступную для растений форму соединений фосфора;
- производство сидерофоров и антибиотиков;
- ингибирование синтеза этилена растений;
- индукции системной устойчивости растений к патогенам.

Наиболее часто для создания биопрепаратов используются различные штаммы бактерии *Bacillus subtilis*. Так на ее основе были созданы – на основе штамма 26-Д препарат Фитоспорин-М; штамма В-10 ВИЗР препарат Алирин-Б; штамма ИПМ-215 препарат Бактофит; штамма М-22 ВИЗР препарат Гамаир; штамма ВКМ-В-2604D + ВКМ-В-2604D препарат Витаплан; штамма Ч-13 препарата БисолбиСан и др.

Кроме *Bacillus subtilis*, в качестве биоагентов биофунгицидов используются виды – *Bac. Mojavensis*, *Bac. Pumilus*, *Bac. Atrophaeus* и др.

На основе штамма OPS-32 бактерии *Bacillus amyloliquefaciens* был создан и промышленно выпускается биопрепарата Органика С (ООО «Органик Парк»).

Особое место среди представителей рода занимает вид *Bacillus thuringiensis* (Bt) широко применяемый в производстве **биоинсектицидов** – биологических препаратов против насекомых. В частности, таких как Битоксибациллин, Лепидоцид, Биостоп и др. В последние годы было установлено, что некоторые штаммы данной бактерии наряду с инсектицидной активностью, обладают способностью подавлять развитие ряда фитопатогенов и обладают выраженным ростостимулирующим воздействием на растения, что дает возможность создавать биопрепараты с полифункциональной активностью.

### ***Актиномицеты и биопрепараты на их основе***

Актиномицеты – грамположительные, аэробные и разветвляющиеся бактерии (бактериоподобные организмы), способные продуцировать полезные вторичные метаболиты, включая различные антибиотики, экзогенные ферменты, разрушающие клеточные стенки патогенных грибов и т.д.

На базе актиномицетов (преимущественно рода *Streptomyces*) созданы и используются в различных системах защиты препараты Алирин С, Микостоп и др.

### **3.4 Биологические препараты на основе грибов**

Известно множество различных микроскопических грибов (микромикетов) обладающих свойствами биологических агентов (BCAs). К числу таких микромикетов относятся:

- грибы рода *Trichoderma* – эффективен в контроле фитопатогенных микромикетов из родов *Botrytis cineria*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* и др.);

- *Ampelomyces quisqualis* – гиперпаразит мучнисторосяных грибов;

- *Chaetomium globosum* и *C. Cupreum*, – проявляющие активность против возбудителей корневых гнилей, вызываемых *Fusarium*, *Phytophthora* and *Pythium* ;

- *Gliocladium virens* – подавляющий развитие почвенных патогенов;

- *Coniothyrium minitans* – микопаразит *Sclerotinia* и др.

Наиболее распространенным грибным биоагентами биопрепаратов являются микромикеты рода *Trichoderma* (телеоморфа *Нурокреа*), которым уделяется особо пристальное внимание. Интерес к ним обусловлен особенностями их действия на патогены. Так, они могут действовать как *антагонисты* (конкурируя за питательные вещества и пространство). Обладают активностью как регуляторы роста и индукторы системой устойчивости, выделяют антибиотики и действуют напрямую на мицелий патогенных грибов (микопаразитизм). Грибы рода *Trichoderma* spp. Выделяют высокоэффективные сидерофоры хелатизирующие железо и делающего его недоступным для патогенов.

Высокая экологическая пластичность и биологическая эффективность сделали препараты на основе *Trichoderma* spp. Одними из наиболее популярных среди биопрепаратов в мире.

В РФ из препаратов на основе *Trichoderma* spp. Созданы – Стернифаг (*Trichoderma harzianum*, штамм ВКМ F-4099D); Трихоцин (*Trichoderma harzianum*, штамм Г 30 ВИЗР); Триходерма Вериде 471 (*Trichoderma viride*, штамм 471), Оргамика Ф (*Trichoderma asperellum*, штамм ОРФ-19) и др.

Для контроля насекомых, достаточно давно используются биоинсектициды на основе энтомофторового гриба *Beauveria bassiana*. На его основе в РФ созданы препараты Биослип, Биостоп, Зеленый барьер и др. В последние годы было обнаружено, что применение препаратов на основе данного микромицета приводит к активизации окислительных ферментов, стимулирует образование пигментов в растений, что также говорит о полифункциональном действии *Beauveria bassiana* на растения.

### **3.5 Препараты на основе продуктов жизнедеятельности микроорганизмов**

Применение биопрепаратов на основе живых культур микроорганизмов не всегда дает положительный эффект. Микроорганизмы биологические агенты биопрепаратов находятся под постоянным влиянием различных экологических факторов, что приводит к значительным колебаниям их активности. Именно высокая зависимость эффективности биологической защиты от внешних условий во многом сдерживает внедрение данного метода в практику растениеводства. Например, хозяйственная эффективность использования биофунгицида Фитоспорин –М (*Bacillus subtilis* 26Д) на яровой пшенице колебалась в пределах 2,6-143% (Ласточкина и др., 2017).

Одним из возможных путей решения данной проблемы является использование не самих микроорганизмов, а продуктов их жизнедеятельности. Наиболее ярко данный подход был реализован в препарате *Альбит*. В основе данного биопрепарата – поли-бета-гидроксимасляная кислота, получаемая из почвообитающей *Bacillus megaterium*. Кроме того в препарат добавляются ряд удобрений с

макро- и микроэлементами (калий азотнокислый, магний сернокислый, калий фосфорнокислый, карбамид) а также хвойный экстракт. С учетом того, что в составе препарата не живая культура бактерии, а продукты ее метаболизма, эффективность его применения проявляется при различных погодных условиях.

Механизм действия Альбита на растения очень многогранен. В частности, под его влиянием происходит активизация НАДФН-оксидазной системы растений, что стимулирует образование ряда оксидаз (супероксид-дисмутаза, пероксидаза и т.д.). Данные механизм позволяет Альбиту повышать устойчивость растений к целому ряду абиотических стрессов – засухе, тепловому шоку, заморозкам и т.д. Очень эффективно применения препарата для снятия фитотоксичного действия гербицидов на культурные растения. Кроме того, Альбит выступает в качестве элиситора и запускает реакции системно-приобретенной устойчивости (СПУ), т.е. является своеобразным биологическим иммунизатором растений к инфекционным болезням. Все эти свойства, способствовали широкому применению данного препарата в сельскохозяйственном производстве на разных культурах. Наиболее ярко данные свойства проявились в условиях экстремальной засухи 2010 года в Поволжье, где применение Альбита позволило значительно повысить урожайность полевых культур даже в условиях острого дефицита влаги.

Другим примером реализации данного подхода является биопрепарат **Агат-25 Новый**. В основе препарата – продукты жизнедеятельности двух бактерий – *Pseudomonas aureofaciens* H16 и *Bacillus megaterium*. Активными ингредиентами препарата выступают –  $\alpha$ -глутаминовая кислота,  $\alpha$ -аланин, 3-индолилуксусная кислота и поли-бета-гидроксимасляная кислота. В результате применения данного препарата у культурных растений отмечается выраженный ростостимулирующий эффект, а также повышение устойчивости к абиотическим стрессам и инфекционным болезням.

### **3.6 Комплексные биопрепараты на основе консорциумов микроорганизмов**

В большинстве биопрепаратов в качестве биоагента выступает только один микроорганизм. Однако в природе на растения влияют не

отдельные виды, а целые группы (консорциумы) организмов. С учетом роли микробиома в жизни растений, достаточно давно делаются попытки создать препараты, включающие в себя несколько биоагентов из разных групп. Достоинства таких препаратов очевидны. Применение различных микроорганизмов с разными механизмами действия позволяет расширить спектр положительного воздействия на растения и надежно контролировать фитопатогенов. Не случайно все большее внимание уделяется созданию комплексных биопрепаратов для «ризосферной инженерии», т.е. искусственной колонизации корней культурных растений специально подобранными консорциумами, позволяющими не только управлять продуктивностью растений, но и оказывать положительное влияние на плодородие почвы. «Синтетические» (искусственные) консорциумы бактерий и грибов обладают потенциалом для создания новых микробных сообществ, а совместное применение различных микробов может активировать новые положительные эффекты, не полученные при использовании только отдельных видов.

Однако, не всегда при использовании различных биоагентов в одном препарате происходит синергетический эффект. Часто между ними начинают проявляться процессы конкуренции за ресурсы, т.е. антагонизм. Кроме того, различные группы микроорганизмов предъявляют разные требования к условиям культивирования, что затрудняет разработку общей технологии производства биопрепаратов на основе консорциумов.

Среди возможных направлений создания биопрепаратов на основе нескольких биоагентов можно выделить использование в качестве носителей природных агроминералов и веществ. В частности, в Татарском НИИ агрохимии и почвоведения, были созданы устойчивые консорциумы на основе азотфиксирующих (*Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas brassicacearum*) и фосфатмобилизующих (*Sphingobacterium multivorum*, *Achromobacter xylosoxidans*) бактерий и наноструктурных форм сапропеля и фосфоритов (Мотина и др., 2017).

Другим направлением получения препаратов на основе консорциумов микроорганизмов является создание биопрепаратов с использованием гуминовых веществ. Примером таких биопрепаратов может служить – **Уникальный гумус +**, содержащий наряду с

гуминовыми кислотами, несколько видов бацилл, актиномицетов, азотфиксирующих и других бактерий, а также гриб *Trichoderma asperellum*.

На основе консорциума микроорганизмов создан препарат **Биокомпозит-коррект**, который обладает способностью подавлять развитие фитопатогенов, стимулировать рост растений и т.д. Данный препарат используется как для обработки семян, так и опрыскивании.

Вышеперечисленные примеры показывают, что достаточно перспективным направлением в использовании консорциумов биоагентов является применение их с различными природными веществами, агроминералами, различными экстрактами и т.д.

### **3.7 Особенности производства и применения биопрепаратов на основе микроорганизмов**

Биологический агент может обладать высокой эффективностью в лабораторных условиях, но не показать результат при в практическом применении. Значительная роль в достижении нужного эффекта при применении биопрепаратов принадлежит технологии его получения, а также **промышленной форме (формуляции)**.

Производство биопрепаратов достаточно сложный биотехнологический процесс, который можно разделить на четыре основные фазы: **ферментацию, экстракцию, очистку, приготовление и упаковку**.

#### **Ферментация**

Наиболее часто при производстве биопрепаратов используется **жидкофазная ферментация**, которая отличается простотой и экономичностью, но в некоторых случаях сохранность и эффективность биологических агентов при таком способе может быстро снижаться. При применении **твердой ферментации** можно добиться большей выживаемости биоагентов и более длительных сроков хранения готовых препаратов, но при этом способе увеличиваются затраты, связанные с большими необходимыми объемами и относительно высокой стоимостью (в сравнении с жидкофазной ферментацией) твердых субстратов.

Различают несколько способов культивирования микроорганизмов биоагентов. **Глубинный способ** (культивирование в

жидкой питательной среде) как правило используется, для получения препаратов бактериальной природы, реже грибных. **Поверхностным** (на субстрате, в том числе сыпучем), а также **глубинно-поверхностным** методом культивируют биопрепараты с биологическими агентами грибами. Эффективность ферментации при производстве биопрепаратов определяется в основном такими параметрами как рН среды, время инкубации, содержание и источник углерода, а также концентрацией азота (соотношением С : N).

Оптимизация состава питательных сред, по-прежнему, остается одним из наиболее критически важных элементов технологии производства биопрепаратов. Все большее значение в подборе сред для культивирования биоагентов приобретают методы математического моделирования. При этом ведется оптимизация условий ферментации (рН, температура, скорость перемешивания и т. Д.), а также состав среды (источники углерода, азота и т. Д.). В результате можно достичь выхода продукта при ферментации.

Одним из наиболее важных вопросов в технологии производства биопрепаратов является природа инертного носителя.

Для производства **жидких препаратов** используются **синтетические** и **натуральные** среды. Среди натуральных сред, часто используют отвары растений (например, бобовые отвары). Главное достоинство синтетической сред – постоянство состава и возможность точного воспроизводства процесса. Состав натуральных сред может различаться, что необходимо учитывать при производстве препаратов на их основе.

В случае **твердых форм** наиболее часто используется *каолин*, однако могут быть использованы и другие природные минералы – *вермикулит*, *перлит*, *цеолиты*, а также торф. Перспективно использование для этих целей гранулированных составов на основе пшеничных отрубей или каолина с гелем из водорослей, которые обеспечивают максимальную сохранность и эффективность для некоторых изолятов *Trichoderma*.

Практический интерес представляет использование различных отходов при переработке растительного материала (источники углерода и азота) для производства биопрепаратов, что позволяет значительно снизить их стоимость и повысить экономическую эффективность от применения.

### ***Экстракция***

В жидкой форме экстракция биоагентов довольно легко осуществляется путем фильтрации, но затем возникает необходимость в дополнительной сушке, что является очень долгим, энергоемким и дорогостоящим процессом.

При использовании твердых форм для процесса ферментации, экстракция проводится механическим путем. Такой процесс довольно вреден для спор агентов, но при этом требуется меньше энергии.

### ***Очистка***

Этот шаг очень важен для обеспечения стабильности выпускаемых биопрепаратов. Промышленно произведенные препараты всегда содержат примеси, которые, хотя и биологически неактивны, могут становиться опасными с течением времени при хранении препаратов, потенциально создавая риски деградации, инактивации и т.д.

### ***Приготовление и упаковка***

Приготовление биопрепаратов из-за того, что биоагенты являются живыми объектами, представляет собой чрезвычайно сложный процесс. В результате смешивания биоагента с различными дополнительными ингредиентами получается ***промышленная форма*** – т.е. форма, которая непосредственно применяется для обработки растений или внесения в почву. Значительные требования при упаковке предъявляются к таре и процессу затаривания. Особенно важно соблюдение требований по стерильности, а также создания благоприятных условий для хранения (иногда длительном) биопрепаратов.

### ***Промышленные формы биопрепаратов на основе микроорганизмов***

Биологические препараты, в основном, выпускаются в жидкой или твердой форме. Особой формой биопрепаратов может быть *паста*.

В мире известны такие ***формы твердых биопрепаратов*** как:

- дуст (DP);
- гранулы (GR);

- микрогранулы (MG);
- сухие вододиспергируемые гранулы (WG);
- смачиваемые порошки (WP).

Сухие композиции могут быть получены с использованием различных технологий, таких как сушка распыливанием, сушка вымораживанием или воздушной сушки либо с использованием, либо без использования жидкой основы. Они получают путем добавления связующего наполнителя, диспергатора, смачивающих агентов и т.д.

**К жидким промышленным формам** относятся:

- культуральная жидкость (L);
- суспензионные концентраты (SC);
- масляные дисперсии (OD);
- суспензионные эмульсии (SE);
- капсулы (CS) и др.

Жидкие составы могут быть основаны на воде, на масляной основе, на основе полимера или их комбинаций. Композиции на водной основе (суспензионный концентрат, суспензионные эмульсии и т.д.) требуют добавления инертных ингредиентов, стабилизаторов, поверхностно-активных веществ, антифризов и дополнительные питательных веществ.

Разница между твердыми и жидкими промышленными формами особенно заметна по срокам сохранения активности биоагентов. Жидкие формы имеют более низкий срок хранения, чем твердые формы, но с точки зрения технологии применения (обработки) жидкие препараты обладают определенным преимуществом (например, не забивают наконечники опрыскивателей).

Анализ тенденций и перспектив процессов, относящихся к формуляции биопестицидов показывает, что вероятнее всего дальнейшее их развитие пойдет по пути от смачиваемых порошков и суспензионных концентратов к диспергируемым в воде гранулам, в том числе и с многокомпонентным составом. Кроме того, ожидается выпуск новых типов составов, разработанных на основе нанотехнологий, таких как *наноэмульсия*, *наносуспензия*, *суспензия нанокapsул*.

В РФ биопрепараты выпускаются в форме порошка (п), пасты (пс), смачивающегося порошка (сп), таблеток (табл.) и жидкости (ж), что значительно ограничивает существующие возможности

применения биологических средств защиты растений. Разработка новых форм биопрепаратов является актуальной научно-производственной задачей.

### ***Технологические и технические особенности применения биопрепаратов на основе микроорганизмов***

В мировой практике используются следующие способы применения биопрепаратов для защиты растений от стрессов:

- обработка семян;
- внесение в почву, в том числе в теплицах и при обработке растительных остатков после уборки;
- опрыскивание в период вегетации сельскохозяйственных культур;
- обработка при закладке продукции на хранение.

С учетом того, что при применении биопрепаратов их биоагенты попадают в окружающую среду и начинают подвергаться воздействию ее факторов, существует необходимость в оптимизации технологии применения биопрепаратов для конкретных условий. Отсутствие адаптивного подхода значительно снижает отдачу от биологической защиты. Например, в случае обработки семян биопрепаратами необходимо учесть:

- а) почвенные условия (влажность, рН, структура, температура и т.д.);
- б) способность (активность) биоагента к колонизации корней;
- с) промышленную форму, срок и условия хранения препарата;
- д) особенности технических устройств для обработки семян с учетом требований биологии и экологии биоагента.

### ***Обработка семян биопрепаратами***

Обработка семян (инокуляция) – один из первых способов использования биопрепаратов в сельском хозяйстве. Спрос на биологическую защиту семян быстро растет, причем по некоторым оценкам, он должен занять до 20% глобального рынка предпосевной обработки семян.

Для обработки семян обычно требуется меньше микробной биомассы на единицу обрабатываемой площади, чем при других методах применения. Например, использование *Bacillus firmus* при

обработке семян, в отличие от внесения ее в почву, позволяет (приблизительно в 1000-раз) уменьшить необходимое количество биоагента на единицу площади (Wilson, Jackson, 2013). Однако, для достижения высокой эффективности данного способа необходимо соблюдение технологии нанесения биологического агента на поверхность семени.

Существуют следующие способы обработки семян биопрепаратами:

1. **Замачивание** – погружение семян в микробную суспензию на определенный период, за которым следует высушивание семян (иногда под вакуумом), чтобы предотвратить начало прорастания.

2. **Инкрустация** – нанесение инокулята в виде суспензии клеток на поверхности совместно с раствором жидкого полимера или клея (метилцеллюлоза, растительные или парафиновые масла, полисахариды).

3. **Создание сплошной внешней оболочки семян** из плотной суспензии биопрепарата (пульпы).

4. **Дражжирование.**

При инкрустации и дражжировании семян биопрепаратами, используются те же подходы, что и при протравливании пестицидами, при этом часто используются те же оборудования и те же компоненты рабочих составов (полимерный клей, красители, ПАВ и т.д.). Однако плохое выживание биоагентов при такой обработке, остается серьезной проблемой. Использование некоторых полимерных клеев (ксантановая камедь, метилцеллюлоза, полиакриламид и др.) улучшают выживаемость биологических агентов. Добавление дисахаридов и полиолов также повышает устойчивость бактерий во время сушки семян после их обработки.

С точки зрения эффективности значение имеет и вид биологического агента. Так, бактерии *Bacillus* spp. Оказались хорошо пригодными для обработки семян, потому что их способность производить термостойкие эндоспores, позволяет им сохраняться лучше, чем неспорообразующие виды *Pseudomonas* spp.

Многие биопрепараты для обработки семян, используются в баковых смесях с пестицидами и агрохимикатами. При этом важно проверять совместимость биопрепаратов с различными группами

ХСЗР и агрохимикатов, обычно используемых для протравливания семян и посадочного материала.

### ***Опрыскивание биопрепаратами***

При опрыскивании биопрепаратами, биологические агенты оказываются под влиянием целого комплекса различных внешних факторов – давления и температуры воды, механического воздействия узлов и механизмов и т.д. Многие из них оказывают негативное влияние на живые объекты. В частности, Р.Р. Камалетдинов (2017) установил, что воздействие шестерёнчатых насосов опрыскивателей в течение часа снижает показатель КОЕ микроорганизмов на 30%, а механическое перемешивание – на 12%. В.В. Котлярова с сотр. (2016) рекомендует при опрыскивании биологическими препаратами на основе бактерий ограничиться давлением 4,5 атм. Применение более высоких режимов опрыскивания сказывается на снижении числа жизнеспособных бактерий. В отношении препаратов на основе грибов данный эффект проявлялся слабее.

Значительный интерес представляет и подбор распылителей (наконечников) опрыскивателей. Характер многих биологических агентов требует другого подхода к их применению по сравнению с традиционными подходами, используемыми для пестицидов. Основное внимание следует уделять распределению биопестицидов в растительной массе и изучить возможность повышения эффективности доставки биоагента с использованием ПАВ (адьювантов) и пестицидов. В целом, применение биопестицидов при опрыскивании сложнее, чем химических веществ, из-за особых требований к биоагентам. Так, многие из них быстро погибают под действием солнечных лучей, что требует более жесткого соблюдения сроков обработки в течение дня. Для лучшего распределения биопрепаратов при опрыскивании необходимы большие расходы воды. Существенное значение для выживаемости биоагентов имеют и свойства воды (жесткость, кислотность и т.д.), используемой для опрыскивания.

В целом, проблема технологии применения и технического обеспечения работ по биологической защите растений остается одной из наиболее актуальных как в мире, так и в РФ.

### ***Вопросы для самостоятельной работы по главе 3***

1. Основные группы биоагентов биопрепаратов.
2. Механизмы защиты растений от стрессов при применении биопрепаратов.
3. Особенности биопрепаратов на основе бактерий.
4. Особенности биопрепаратов на основе грибов.
5. Основные этапы производства биопрепаратов.
6. Основные промышленные формы биопрепаратов.
7. Особенности применения биопрепаратов. Основные способы.
8. Обработка семян биопрепаратами.
9. Опрыскивание как способ применения биопрепаратов.

### ***Литература для самостоятельной работы по главе 3***

#### *Учебники и учебные пособия:*

1. Федоренко, В.Ф. Современные технологии производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения: науч. аналит. обзор / В.Ф. Федоренко, Н.П.Мишуров, Л.Ю. Коноваленко– М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 124 с.
2. Штерншис, М. В. Биологическая защита растений: учебник / М. В. Штерншис, И. В. Андреева, О. Г. Томилова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 332 с.
3. Минаева, О.М. Биопрепараты для защиты растений: оценка качества и эффективности: учеб. Пособие/ О.М. Минаева, Е.Е. Акимова, Т.И. Зюбанова, Н.Н. Терещенко. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – 130 с.
4. Штерншис, М. В. Биотехнология в защите растений: Учеб. Пособие / М.В. Штерншис, О.Г. Томилова, И.В. Андреева; Под ред. М.В. Штерншис. – Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2001. – 153 с.
5. Ручай, Н. С. Технология микробного синтеза: электронный курс лекций / Н. С. Ручай, И. А. Гребенчикова. – Минск: БГТУ, 2014. – 167 с.

#### *Научные статьи и обзоры:*

Чеботарь, В.К. Эндوفитные бактерии в микробных препаратах, улучшающих развитие растений (обзор) / В. К. Чеботарь, Н. В. Мальфанова, А. В. Щербаков и др. // Прикладная биохимия и микробиология, 201., том 51. – № 3. – С. 283–289

Woo S.L. and Pepe O. Microbial Consortia: Promising Probiotics as Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture// Front. Plant Sci. – 2018. – 9:1801.doi: 10.3389/fpls.2018.01801.

## Глава 4.

**БОТАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
РАСТЕНИЙ ОТ СТРЕССОВ**

Под термином «ботанические пестициды» (БП) обычно рассматриваются препараты, обладающие тем или иным токсичным действием в отношении вредных биологических объектов (патогенов, вредителей, сорных растений) и получаемым из растительных источников. Вместе с тем, в РФ официально такой термин не используется.

Использование настоев и экстрактов растения для защиты сельскохозяйственных культур использовалось еще в античное время. Научные исследования в данной сфере насчитывают сотни лет, но практический интерес к ним особенно усилился в последние годы в связи с развитием систем органического земледелия.

С точки зрения механизмов действия БП, основным является токсичный эффект вторичных метаболитов которые образуются растениями и которые обладают токсичным действием в отношении вредного (целевого) объекта. В большинстве случаев такие метаболиты представляют собой *гликозиды, пептиды, гидроксамовые кислоты, азометины* и т.д.

У разных семейств и родов растений вторичные метаболиты различаются, поэтому и различаются механизмы действия ботанических пестицидов. Значительным преимуществом БП является их высокая скорость деградации в окружающей среде, т.е. их экологическая безопасность. Вместе с тем, данная особенность может оказывать отрицательное влияние на эффективность применения данных препаратов, в первую очередь за счет снижения продолжительности действия препаратов. Кроме того, в большинстве случаев у препаратов данной группы или слабый или вообще отсутствует *системный эффект* (способность проникать внутрь защищаемого растения), что также ограничивает их применение, в том числе в системах традиционного и интенсивного земледелия.

Продукты растительного происхождения в защите растений от стрессов могут быть использованы тремя способами:

1) как природные пестициды (в виде порошков, экстрактов и т.д.);

- 2) как сырье для синтеза более сложных соединений;
- 3) как добавки к синтетическим препаратам для снижения опасности фитотоксичности или развития резистентности патогенных микроорганизмов.

#### 4.1 Ботанические фунгициды

Спектр растений, вторичные метаболиты которых активны против тех или иных фитопатогенов достаточно большой, т.к. у всех растительных организмов имеются механизмы иммунитета растений, основанные на использовании различных химических соединений (полифенолы, фитоалексины, лектины, фитонциды и т.д.). Однако практическое использование таких веществ часто затруднено, в связи с их высокой специфичностью к отдельным патогенам и быстрым разрушением в окружающей среде.

Экстракты, эфирные масла, смолы различных растений проявляют биологическую активность против фитопатогенных микроорганизмов растений и могут быть использованы в качестве био-фунгицидных продуктов.

Значительное место среди потенциальных биофунгицидов занимают *эфирные масла*. В частности, показана высокая антипатогенная активность масла мяты, тимьяна, лимонной цедры, махагониевого дерева. Кроме того известны антипатогенные свойства масел корицы, гвоздики, орегано, пальмароза, чайного дерева.

Большое количество исследований посвящено различным *экстрактам*. В частности показана активность экстрактов базилика, нима, эвкалипта, дурмана, чеснока и олеандра. Высокая активность спиртовых экстрактов нима, перца чили и Церберы одолламской была показана в отношении микромицетов, но при этом была обнаружена высокая токсичность и в отношении животных, превышающая показатели синтетических фунгицидов.

Наиболее известным коммерческим биофунгицидом на основе экстрактов растений Рейнутрии сахалинской (*Reynoutria sachalinensis*) является Milsana®, используемый для контроля настоящей мучнистой росы огурцов в теплицах. Известны препараты на основе масла розмарина (Sporan®), семян укропа и тимьяна (Carvone®, Talent®). Широко применяемый во всем мире

биофунгицид Fungastop® (США) представляет собой состав содержащий лимонную кислоту и мятное масло, цитрусовую массу, рыбий жир, глицерин, витамин С и воду. Препарат на основе масла чайного дерева TimorexGold® выпускается в Швейцарии. Известны биофунгициды на основе масла тимьяна (Promax®), нима (Trilogy®).

Спектр действия препаратов из различных растений против наиболее важных в РФ и РТ патогенов представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Некоторые ботанические фунгициды и спектр их активности

Патоген	Ботанический фунгицид
<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> (болезни картофеля)	Экстракты нима, чеснока, мелии ацедараха, куркумы, череды волосистой
<i>Fusarium solani</i> (болезни картофеля)	Экстракты полыни, тимьяна и эвкалипта
<i>Botrytis cinerea</i> (серая гниль)	Масло семян винограда, тимьяна, розмарина, мятаа, базилика
<i>Bipolaris sorokiniana</i> (обыкновенная корневая гниль пшеницы и ячменя)	Водный экстракт камфоры и дикого базилика
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (белая гниль)	Водный экстракт имбиря аптечного
<i>Alternaria alternata</i> , <i>A. Steviae</i> , <i>A. Solani</i> (альтернариозы картофеля, рапса и т.д.)	Водный экстракт тысячелистника и полыни горькой, ромашки лекарственной и крапивы двудомной
Фитопатогенные бактерии	Этанольные экстракты граната и гвоздичного дерева

В СССР и РФ активно изучались препараты на основе экстрактов зелени ели европейской и пихты. Препарат на основе экстракта хвойных пород и других растений (“Fitoecols-IF”, “Fitorodents”, “Bembijis”, “Ausma”, “EkoFit”) разработаны в Латвии под руководством И.А. Зариньша. В частности, “Fitoecols-IF” был создан на основе экстрактов сосны (*Pinus sylvestris*) и ели (*Picea abies*); “Fitosativum” – чеснока (*Allium sativum*); “Fitocapsicum” – перца чили (*Capsicum annuum*); “Fitoklingerium” – календулы (*Calendula officinalis*); “Fitosamts” – бархатцев (*Tagetes padula*, *T. Erecta*); “Fitopelargonium” – герани (*Pelargonium sp.*); “Fitosinepium” – белой горчицы (*Sinapis alba*), “Fitorusticanum” – хрена (*Armoracia rusticana*);

“Fitotabacum” – табака (*Nicotiana tabacum*, *N. Rustica*). Данные препараты производились в виде концентрата, пасты, жидкости и порошка. Биологическая эффективность против болезней у препаратов «Fitoeokols-IF», «Fitosativum» и «Fitocapsicum» составляли 58-80%, для фитофунгицидов «Fitotabacum», «Fitosinerium», «Fitоarmoracium» и «Fitopelargonium», она была немного ниже – 50-70%.

Наиболее известными отечественными препаратом на основе экстрактов хвойных культур стали Биосил, Вэрва, Альфастим, Силк и Новосил. Все они в качестве д.в. содержат тритерпеновые вещества из зелени пихты, а промышленная форма их – водная эмульсия. Для усиления эффекта добавляются экстракты ели (Вэрва Ель). Получение препаратов Вэрва осуществляется в процессе обработке измельченного сырья водными растворами оснований. Эффективность таких препаратов на разных культурах подтверждена многолетними исследованиями в разных регионах РФ.

#### 4.2 Ботанические инсектициды

Использование порошка ряда растений (ромашки далматской (*Pyrethrum cinerariifolium*), пижмы и т.д.) против бытовых насекомых и вредителей насчитывает сотни лет. Практическое же применение природных пиретринов оказалось мало эффективным, в связи с быстрым разрушением под влиянием солнечных лучей. Также исторически долго, в защите растений использовались токсичные свойства никотина табака. Однако применение ботанических инсектицидов было ограничено (подсобные хозяйства, малые фермы и т.д.), но в конце прошлого века интерес к ним снова возрос. За исключением никотина и пиретринов, основные биоинсектициды группы малотоксичны для теплокровных, что имеет большое значение для органического производства. Одна из причин, за счет мультисайтного действия у вредителей медленно развивается резистентность.

Среди ботанических инсектицидов необходимо выделять три группы по характеру воздействия на вредителей:

– **антифиданты** (отпугивания от пищевого растения);

– *репеленты* (отпугивание насекомых) или вещества подобные гормонам насекомых;

– непосредственно токсичные для вредителей препараты.

Среди растений с антифидантной активностью можно выделить – одуванчик, плющ (проволочники), листья люцерны (колорадский жук), кедр (листоеды)

Репелентный эффект розмарина, мирры и можжевельника был известен еще в Древнем Риме. Такими же свойствами обладают масла и экстракты мяты, пижмы и тысячелистника. Препараты на основе чеснока – AjoNey (Invernaderos Hidroponicos Neisi, Mexico); EcoA-Z®, L'EcoMix® or CapsiAlil® (EcofloraAgro, Colombia) используются для отпугивания птиц и вредителей. На основе эфирных масел розмарина (0,25%), перечной мяты (0,25%), тимьяна (0,25%), гвоздики (0,25%) выпускается препарат Garden Insect Killer (EcoSMART®, USA).

Гормоноподобные вещества насекомых, в том числе и обладающие ювенильным действием обнаружены в растения бархатцев и хризантем.

Прямой токсичный эффект в отношении вредителей показан для многих видов растений, причем в некоторых случаях эффективность их применения превышает показатели синтетических инсектицидов.

Таблица 4 – Использование растений с инсектицидными свойствами

Растение	Вредители, против которых эффективные настои и отвары из указанных растений				
	тли	клещи	медяницы	гусеницы первых возрастов	личинки пилильщиков
Картофель (ботва)	+	+		+	+
Лопух большой				+	
Лук репчатый	+	+			
Одуванчик лекарственный	+	+	+		
Полынь горькая				+	+
Ромашка аптечная	+		+	+	+
Табак	+		+	+	+
Томат (ботва)				+	+
Тысячелистник	+		+	+	+
Тagetis (бархатцы)	+				
Чеснок посевной	+	+			
Щавель конский	+				

Наибольшее количество коммерческих инсектицидов получены на основе масла семян нима (*Azadirachta indica* Juss.), содержащие лимониилы. Такие соединения, как Азадирахтин А-Г, нимбин, деацетилсаланин, саланин и их производные были идентифицированы как основные биологически активные метаболиты нима, обладают инсектицидным, гормональным, антифидантным и репеллентным эффектами. Наиболее эффективны в отношении личинок насекомых. Препаратов на основе нима на мировом рынке достаточно много – Margosom® (Agri Life, India); Molt-X® (BioWorks, Inc., USA); NeemAzal T/S (Trifolio-M, Germany); Azeratm(MGK®, USA).

Достаточно много на рынке препаратов из традиционной ромашки далматской (Spruzit® (Neudorff, Germany); PyGanic® (MGK®, USA); 1.5% Aphkiller AS (Beijing Kingbo Biotech Co., Ltd, China)) и табака.

Широко применяются препараты Rotenone® (из экстрактов тропических бобов *Derris* и *Lonchocarpus*) и Sabadilla® (экстракт семян неотропической лилии *Schoenocaulon officinale*). Чрезвычайно интересным источником биоинсектицидов выступает каранджа (*Pongamia pinnata*).

В целом, в мире существует устойчивый спрос на ботанические инсектициды, особенно для органического земледелия.

### 4.3 Ботанические стимуляторы роста растений

В последнее время значительный интерес представляют физиологически активные вещества растительного происхождения, получаемые с помощью экстракции различными методами из органов культурных или дикорастущих растений. В частности, аминокислоты и белки, получаемые при экстракции из растительных материалов, обладают выраженным ростостимулирующим эффектом при использовании на разных сельскохозяйственных культурах. Такие экстракты оказывают выраженное положительное влияние на поступление азота, оптимизацию соотношения С : N, а также гормонального статуса растений.

С практической точки зрения, наиболее интересны экстракты из семян. Высокая активность таких экстрактов обусловлено тем, что экссудаты из прорастающих семян и корней в значительной степени

сходны, а эффективное взаимодействие между рядом биологических агентов биопрепаратов и растениями определяется именно на этапе прорастания семян. При этом в зависимости от методы экстракции меняется и состав вытяжки из семян. В частности, при экстракции горячей водой из семян выделяются преимущественно водорастворимые белки (альбумины и т.д.), спиртом – спирторастворимые белки (проламины), а при использовании ферментации – различные аминокислоты. Кроме того, меняется набор витаминов, полифенольных соединений и других веществ. Существуют различия по составу экстрактов и в зависимости от группы культур – зерновые или зернобобовые. Интерес представляет и то, что ряд продуктов при экстракции, например продукты распада проламинов – гетероциклические аминокислоты пролины являются хорошо известными стресспротекторами.

Одним из интересных примеров экстрактов растительного происхождения является препараты из сахарной свеклы. В частности, показан ростостимулирующий эффект вытяжек из клубочков данной культуры. Большое количество работ посвящено получению биостимуляторов из Моринги масличной (*Moringa oleifera*), различных плавающих папоротников (*Azolla*), рапса. В коммерческом стимуляторе роста Kriss® (США, WinField United) содержатся экстракты пожитника (*Trigonella foenum-graecum* L.) и проростков пшеницы.

Примерами регуляторов роста растений на основе соединений, выделенных из растений в РФ, являются такие препараты, как Эпин-экстра, Иммуноцитифит, Циркон, Лариксин, Оберегъ, Проросток и др.

#### **4.4 Получение и применение ботанических пестицидов**

Выделяют следующие технологии получения ботанических пестицидов:

- а) получение порошков и настоев из различных органов растений;
- б) экстракция масел из семян и зеленой массы;
- с) экстракция различными методами вторичных метаболитов из растительного материала.

Для экстракции полезных веществ из растительного материала для создания ботанических пестицидов используются различные

методы. Наиболее распространены – получение водных, спиртовых и ферментных вытяжек. Все большее значение в повышении эффективности применения ботанических инсектицидов приобретают использование наночастиц и технологий микрокапсулирования.

Применение ботанических пестицидов в основном производится методом обработки семян и опрыскивания растений. В небольших объемах (личные приусадебные участки) возможно использование опыливания. Многие ботанические пестициды на основе отваров или ферментных вытяжек могут быстро терять свою активность, поэтому их используют сразу же после приготовления. При использовании ботанических пестицидов совместно с химическими препаратами необходимо учитывать их совместимость. Желательно применение ботанических пестицидов в утренние и вечерние часы, когда нет сильного солнечного света.

#### ***Вопросы для самостоятельной работы по главе 4***

1. Основные группы ботанических пестицидов.
2. Механизмы защиты растений от стрессов при применении ботанических пестицидов.
3. Особенности ботанических фунгицидов.
4. Особенности ботанических инсектицидов.
5. Основные ботанические стимуляторы роста.
6. Особенности применения ботанических пестицидов.

#### ***Литература для самостоятельной работы по главе 4***

*Учебники и учебные пособия:*

1. Федоренко, В.Ф. Современные технологии производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения: науч. Аналит. Обзор/ В.Ф. Федоренко, Н.П.Мишуров, Л.Ю. Коноваленко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 124 с.
2. Черменская Т.Д. Ботанические пестициды. Состояние и перспективы. – СПб: ВИЗР, 2000. – 21 с.

*Научные статьи и обзоры:*

Бобрешова И.Ю. Биопрепараты на основе растительных биологически активных веществ/ И.Ю. Бобрешова, Т.В. Зимица// Защита и карантин растений. – 2016. – №8. – С.30-32.

Pavela R. 2016: History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a review. Plant Protect. Sci., 52: 229–241.

## Глава 5

### БИОСТИМУЛЯТОРЫ РАСТЕНИЙ И КОНТРОЛЬ СТРЕССОВ

Для биостимуляторов в качестве основных механизмов полезного действия обычно выделяются следующие: а) повышение эффективности использования питательных веществ растениями; б) снижение ущерба от различных стрессовых факторов; в) регулирование гормонального статуса и других физиологических реакций растительного организма; г) другие механизмы. При этом необходимо учитывать, что положительное воздействие оказывается на растения при использовании препаратов в небольших количествах. В зарубежной научной литературе под биостимуляторами понимаются материалы, отличные от удобрений, которые способствуют росту растений при их применении в небольших количествах. Основные группы биостимуляторов биологического происхождения приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные биостимуляторы биологического происхождения

Продукты	Определение
Экстракты водорослей	Продукты, получаемые из различных видов водорослей
Гуминовые продукты (гуматы)	Продукты, получаемые из торфа, бурых углей и т.д.
Производные хитина и хитозана	Продукты, получаемые из природных источников хитина (членистоногие, грибы). Хитозан производное хитина.
Гидролизаты белков и свободные аминокислоты	Гидролизаты белков получают из различных животных и растительных остатков. Свободные аминокислоты – это отдельные аминокислоты, которые не требуют гидролиза.
Комплексные органические материалы	Широкий ассортимент продуктов, содержащих материалы, полученные из остатков организмов (например, растений)

Обычно к биостимуляторам биологического (связанного с деятельностью живых организмов) относят **гуминовые вещества**;

**продукты, содержащие гормоны и продукты, содержащие аминокислоты.** Продукты содержащие гормоны, такие как экстракты морских водорослей, содержат идентифицируемые количества активных растительных гормонов, таких как ауксины, цитокинины или их производные.

### **5.1 Препараты на основе водорослей**

Водоросли и их экстракты издавна применялись в прибрежных районах в качестве удобрений для внесения в почву. Однако детальное их изучение началось после Второй мировой войны, причем особое внимание уделялось вопросам пищевого и промышленного применения водорослей.

В настоящее время, мировой сектор связанный с водорослями оценивается в 5,5-6 млрд. долл., причем 5,0 млрд. долл. из них – пищевая промышленность, а остальные другие сектора, в том числе и растениеводство. В 2010 было произведено 19,9 млн. тонн водорослей, из этого объема более 94% были искусственно культивируемы, а остальное собирали из природных запасов. Коммерческое производство водорослей происходит в 35 странах, но Китай, Индонезия, Филиппины, Корея и Япония занимают 99% мирового рынка в 2010 году, за счет развитой технологии культивирования. В Европе в основном используют природные источники водорослей, а искусственное выращивание занимает небольшие объемы (Франция). Основными европейскими производителями диких водорослей являются: Франция, Ирландия, Норвегия, Португалия и Испания.

В современных условиях интерес к водорослям растет. Что связано с их использованием в качестве биотоплива, биостимуляторов для сельскохозяйственных культур, пробиотиков для аквакультуры, препаратов для биоремедиации почв, воды и сточных вод, а также с применением таких их компонентов как полифенолы и полисахариды в медицине.

Наиболее часто в качестве источников для производства биостимуляторов растений выступают макроскопические бурые водоросли (*Phaeophyceae*). Число используемых видов очень ограничено – *Ascophyllum nodosum* (*Аскофиллум узловатый*), *Ecklonia*

*maxima* (морской бамбук), *Durvillea potatorum*, *Durvillea antarctica* (буйволинные водоросли), *Fucus serratus* (Фукус зубчатый), *Himantalia elongate* (Химанталия удлинённая или морские спагетти), *Laminaria 77longate*, *L. Hyperborean* (ламинарии), *Macrocystis pyrifera* (Макроцистис грушевидный или гигантская водоросль), *Sargassum* spp. (саргассовые водоросли или морской виноград).

В качестве удобрений для внесения в почву испытаны красные водоросли (относятся к растениям) – *Laurencia obtusa*, *Corallina elongate* и *Jania rubens*.

Наряду с макроводорослями, значительный интерес представляют и микроводоросли. В частности, применение препаратов на основе одноклеточных зелёных водорослей рода Хлорелла способствовало увеличению всхожести и стимулированию развития семян ячменя и пшеницы. Значительное место при разработке биостимуляторов занимают синезеленые водоросли (цианобактерии) рода *Arthrospira* (спирулины).

К основным преимуществам препаратов из водорослей относят:

1. возможность использования в органическом земледелии;
2. высокую биологическую активность;
3. повышение устойчивости к стрессам (засухе, гипоксии, инфекционным болезням), что снижает потребность в пестицидах;
4. мощный ростостимулирующий эффект;
5. возможность обеспечения потребностей растений в минеральных элементах, в том числе и микро- и ультрамикроэлементах;

В связи с этим, количество препаратов на основе экстрактов водорослей постоянно растет. В частности, в 2014 году в мире использовалось большое число биостимуляторов из водорослей – 9 из США; 5 из Индии; по 4 из Австралии и Франции, по 3 из Китая, Англии и Ирландии, по 2 из Норвегии, Канады, Мексики и Чили, по 1 из Германии, Испании, Италии. При этом, из 47 препаратов, 27 производились из *Ascophyllum nodosum*, 4 – из рода *Durvillea*; по 3 из рода *Ecklonia* и рода *Laminaria*, по 1 из *Fucus serratus* и *Macrocystis pyrifera*. Остальные препараты представляли собой смесь не идентифицированных водорослей.

### ***Экстракция биостимуляторов на основе водорослей***

Большинство биостимуляторов данной группы, представляют собой водные препараты с различным содержанием твердых веществ, запахами, вязкостью, широким диапазоном рН и цвета, начиная от почти бесцветного до интенсивно темно-коричневого и черного.

Для экстракции используют охлажденные или замороженные водоросли, что позволяет получать биоактивные гормоны роста растений и антиоксидантов с минимальной деградацией. Экстрагирование производится следующими способами: водой; кислотами ( $\text{HCOOH}$  /  $\text{CH}_3\text{COOH}$  /  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), щелочами ( $\text{NaOH}$  /  $\text{KOH}$  /  $\text{CaCO}_3$  /  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  /  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), криообработкой и разрывом клеток с обработкой под высоким давлением.

При производстве **водных экстрактов**, сырой материал промывают пресной водой для удаления песка, камней и другие загрязнителей, затем нарезают и высушивают. Температуры сушки ( $<80^\circ\text{C}$ ) контролируются во избежание перегрева во время процесса, который может привести к деградации биоактивных компонентов. Размер измельчения – крупноразмерный сорт (1-4 мм). Экстракцию водой проводят без высокого давления или добавления кислот или щелочей. После экстракции препарат концентрируют выпариванием до требуемого уровня растворимых твердых веществ (15-20%). Пищевые консерванты (уксусная кислота и/или карбонат натрия) добавляют для поддержания стабильности.

При использовании **экстракции с помощью кислот и щелочей**, возникает опасность потери некоторых олиго- полисахаридов, имеющих значение для проявления биостимулирующего действия.

При использовании **криогенной экстракции** замороженные в жидком азоте водоросли измельчают на криогенной мельнице. Полученную суспензию подкисляют до рН около 5, а затем используют для разбавления до нужной концентрации. При этом способе, максимально сохраняются все физиологически активные вещества.

При применении **метода разрыва клеток**, биомасса водорослей ополаскивается пресной водой, замораживается при  $-25^\circ\text{C}$ , а затем измельчается в очень мелкие частицы и гомогенизируют. В результате чего образуется густой продукт с частицами 6-10 мкм, который помещается в камеру под высоким давлением (137,895 кПа).

Полученные растворимые компоненты извлеченные из отфильтрованной жидкости содержат все ценные вещества водорослей. Метод может быть улучшен с использованием растворителей при температуре 100 ° С и высоком давлении для поддержания растворителя (гексан, этанол и вода) в жидком состоянии в течение всей процедуры экстракции.

Итоговые препараты из водорослей наиболее часто имеют содержание сухого вещества в 10-30% и диапазон рН от 6,4 до 10. Жидкие составы для некорневых подкормок могут иметь рН 4-5 путем подкисления органической кислотой, а также быть обогащены микроэлементами, используя хелатирующие свойства полисахаридов в экстрактах.

Методы экстракции определяют и состав получаемых экстрактов водорослей. Экстракты, богатые ауксинами, могут быть получены щелочной экстракцией при низком давлении. При этом, высушенные пробы экстрагируют с использованием гидроксида натрия. Для получения экстрактов с повышенным содержанием фукоидана используется СВЧ в сочетании с экстракцией водой при высоком давлении не более 30 мин, а давление изменяется от 0,21 до 0,83 Мпа. Биомасса диспергируется в воде в концентрации 0,04-0,20 г / мл. Цитокинины можно экстрагировать, используя охлажденный 70% этанол. В этом процессе дейтерий используется в качестве соразтворителя. Экстракция в 85% метаноле приводит к получению экстракта водорослей богатых гибберелинами. При этом биомасса должна быть предварительно гомогенизирована, процесс идет при температуре 4 ° С.

Высушенные экстракты могут непосредственно вноситься в почву, в качестве органического удобрения.

### ***Состав препаратов из водорослей***

**Углеводы.** Наиболее ценными веществами в препаратах из водорослей являются: полисахариды клеточных стенок – альгинаты; углеводы – ламинарин и маннит и фуканы. Данные вещества обладают способностью повышать устойчивость растений к абиотическим и биотическим стрессам, путем активации салициловой кислоты, жасмоновой кислоты и / или этиленовых сигнальных путей, т.е. важнейших вторичных мессенджеров при проявлении реакций

активного иммунитета растений, т.е. они выступают в качестве элиситоров. Особенно подробно данный эффект описан в отношении *Ascophyllum nodosum*. Особый интерес вызывает наличие в экстрактах водорослей фукоидана – антипатогенный эффект у которого показан в отношении болезней растений вызываемых вирусами, грибами и грибоподобными организмами, в частности возбудителя фитофтороза картофеля. В результате *экстракты водорослей обладают выраженным иммунизирующим действием на растения.*

**Фитогормоны.** У всех типов водорослей (бурых, красных, зеленых) высокое содержание ауксинов – гормонов роста. Различные виды Chlorophyta, Rhodophyta и Phaeophyta были проанализированы на наличие цитокининов и во многих препаратах из водорослей, например Seasol (на основе *D. Potatorum*), Maxicrop (на основе *A. Nodosum*), MAC (на основе *F. Serratus*), Kelpak (на основе *E. Maxima*) был обнаружен данный тип фитогормонов. От 18 до 24 гиббериллиновых кислот обнаружены в экстрактах 24 видов микроводорослей и *E. Maxima*. Полученные результаты позволяют говорить о наличии выраженных ростостимулирующих свойств у экстрактов водорослей.

**Бетаины.** Бетаины являются обычными составляющими экстрактов водорослей. Бетаины защищают клетки от осмотического стресса, засухи, засоленности и высокой температуры, а также участвуют в реакции ответа на стрессы. Они позволяют удерживать воду в клетках посредством защиты от отрицательного последствия обезвоживания, препятствуют деградации хлорофилла.

**Другие органические вещества.** Водоросли содержат от 5 до 47% протеинов, а также жирные кислоты (линолевая, линоленовая, арахидоновая и эйкозапентаеновая кислоты). Наличие данных веществ расширяет спектр биологической активности экстрактов.

**Минеральные вещества.** Бурые водоросли богаты минеральными элементами, такими как кальций, магний, калий, натрий, фосфор, сера, йод и железо. Особенно интересно повышенное содержание йода, зависящее от вида макроводорослей. Различия в накоплении минеральных элементов у разных видов учитываются при создании стимуляторов роста.

### *Эффективность применения*

Наряду с большим числом данных по повышению урожайности и качеству продукции растениеводства, имеются сведения о фитотоксичности экстрактов при обработке семян и опрыскивании, в том числе по причине высокой концентрации солей.

Перспективы использования препаратов биостимуляторов из экстрактов водорослей очень велики, причем они могут быть использованы в качестве одного из компонента сложных смесей с другими веществами (аминокислотами, хелатами микроэлементов и т.д.).

## **5.2 Препараты на основе гидролизатов белков и свободных аминокислот**

Аминокислоты играют важную роль в жизни всех живых организмов, в том числе растений. Особое значение имеют 20 аминокислот, входящих в состав различных белков. Только L – аминокислоты усваиваются растениями. D-аминокислоты не распознаются ферментными системами растений и, следовательно, не могут участвовать в синтезе белка. Аминокислоты получаемые в результате химического синтеза, с точки зрения эффективности при использовании на сельскохозяйственных культурах, часто уступают аминокислотам природного происхождения. Источниками таких аминокислот, как правило, выступают гидролизаты протеинов животного или растительного происхождения.

Значение аминокислот как стимуляторов роста растений обусловлено их структурной, метаболической и транспортной функциями <sup>[4]</sup>. Основные механизмы такого воздействия для разных аминокислот представлены в таблице 6.

Растения могут сами производить аминокислоты, но этот синтез очень энергоемкий. Следовательно, применение готовых к поглощению аминокислот позволяет растениям экономить энергию и увеличивать темпы роста и развития, особенно в критические фазы онтогенеза.

Применение аминокислот в растениеводстве возможно как в чистом виде (например, в виде гидролизатов), так и в виде хелатов с микроэлементами. Все большее распространение в качестве

биостимуляторов приобретают сложные смеси свободных аминокислот, витаминов, углеводов, гуматов и хелатов микроэлементов. Примером таких препаратов является широко используемые в Европе биостимуляторы – Megafol (Valagro SpA, Италия), Vigor Ultra (Hydro Fert, Италия), Bioradicante (Futureco Bioscience, Испания), Pilatus (Arysta Life Science), Biomax (AGRI nova Science, Испания), AminoA Gro (AminoA, Англия) и др. При этом доля свободных аминокислот может сильно варьироваться от 90,0 % (Biomax Solid), до 28% (Megafol) и до 10% (Bioradicante).

Таблица 6 – Функции аминокислот в растениях  
(по R. Paleckiene и др., 2007)

Функция	Аминокислоты
Антистрессовый эффект	Hyp, Pro
Хелатирующие агенты	Cys, Glu, Gly, His, Lys
Генеративное развитие растений и улучшение фертильность пыльцы растений (половое размножение)	Hyp, Pro
Стимулирование роста	Glu
Предшественники ауксина	Ser, Trp, Val
Предшественники хлорофилла	Gly
Предшественники полиаминов, необходимых при делении клеток	Arg
Предшественники лигнина и древесины	Phe
Регулирование водного баланса	Hyp, Pro, Ser
Резерв органического азота, необходимый для синтеза других аминокислот и белков	Glu
Стимулирование синтеза хлорофилла	Ala, Lys, Ser
Стимулирование синтеза этилена	Met
Стимулирование прорастания семян	Asp, Glu, Lys, Met, Phe, Thr
Стимулирование гормонального обмена	Ala
Повышение устойчивости к вирусам растений	Ala

Глицин – Gly; Аланин – Ala; Лейцин – Leu; Метионин – Met; Фенилаланин – Phe; Триптофан – Trp; Лизин – Lys; Глютамин – Gln; Глютаминовая кислота – Glu; Серин – Ser; Пролин – Pro; Валин – Val; Изолейцин – Ile; Цистеин – Cys; Тирозин – Tyr; Гистидин – His; Аргинин – Arg; Аспарагин – Asp; Аспарагиновая кислота – Asp; Треонин – Thr; Гидроксипролин – Hyp.

Особый интерес при производстве стимуляторов данной группы вызывает источники аминокислот и технологии их получения. Именно в этом, во многом определяется эффективность применения данных препаратов.

Все большее распространение при получении аминокислот представляют гидролизаты протеинов (ГП), т.е. смеси полипептидов, олигопептидов и аминокислот, которые получают из белка с использованием частичного гидролиза. ГП производятся, главным образом, химическим (с сильными кислотами или щелочами) и/или ферментативным гидролизом белков, содержащихся в побочных продуктах животноводства (например, кожи, внутренних органов, перьев, крови) или растениеводства (ботва и т.д.), а также из биомассы (семена, сено) бобовых культур.

В настоящее время, более 90% рынка ГП в растениеводстве основано на продуктах, полученных путем химического гидролиза белков животного происхождения (например, коллагена из побочных продуктов переработки кожи в Европе, Индии и Китае; побочных продуктов переработки рыбы в США). Производство ГП из растительного материала имеет меньшее значение в связи с более высокой стоимостью и трудоемкостью.

Положительное влияние ГП на развитие растений многообразно. Они увеличивают количество побегов и биомассу корня, повышают урожайность и улучшают качество продукции. Было показано, что применение ГП при обработке листьев растений и семян улучшает поглощение питательных веществ и эффективность использования воды, что связано с увеличением активности нитратредуктазы, глутаминсинтетазы и активности Fe (III) -хелатредуктазы. Они также могут положительно влиять на баланс фитогормонов растений, что связано с присутствием в них специфических пептидов и аминокислот предшественников фитогормонов, таких как триптофан. В результате такого воздействия повышается устойчивость к абиотическим (засуха, гипоксия, низкие температуры и т.д.) и биотическим (инфекционные болезни) стрессам. Значительными достоинствами препаратов данной группы является экологическая безопасность, низкие нормы расхода и пригодность для систем органического земледелия.

Вместе с тем, есть сведения о том, что ГП на основе материала животного происхождения могут обладать фитотоксичностью, что

связывают с высокой концентрацией свободных аминокислот, их несбалансированностью и повышенной соленостью. Регламент ЕС № 354/2014 запретил применение таких продуктов на съедобных частях органических культур.

### ***Способы получения***

*Химический гидролиз.* В основном применяется при получении ГП из материалов животного происхождения с помощью кислотного или щелочного гидролиза. Кислотный гидролиз – это очень агрессивный процесс, проводимый при высокой температуре ( $> 121^{\circ}\text{C}$ ) и давлении ( $> 220,6\text{ кПа}$ ). При кислотном гидролизе в основном используются соляная (наиболее часто) и серная кислоты. Щелочной гидролиз представляет собой довольно простой и прямой процесс, при котором белки денатурируются нагреванием с последующим добавлением щелочных агентов, таких как Са, Na или гидроксид калия, и поддерживают температуру до необходимого уровня.

Химический гидролиз приводит к высокой степени деполимеризации белка (приводит к высокому содержанию свободных аминокислот) и разрушению нескольких важнейших аминокислот (например, триптофан обычно полностью разрушается при кислотном гидролизе; цистеин, серин и треонин частично абсорбируются, а аспарагин и глутамин превращаются в их кислотные формы). Кроме того, другие полезные термолабильные соединения (например, витамины) также в основном разрушаются. Другим критическим аспектом химического гидролиза является превращение свободных аминокислот из L-формы в D-форму (рацемизация). Поскольку аминокислоты в белках живых организмов находятся только в L-форме, растения не могут использовать непосредственно D-аминокислоты в своем метаболизме, делая ГП менее эффективным или даже потенциально токсичным для растений<sup>[18]</sup>. Наконец, большое использование кислот / щелочей при химическом гидролизе приводит к увеличению солености раствора ГП.

*Ферментный гидролиз* в основном применяется при получении ГП из растительного материала. Для этих целей используются пищеварительные ферменты животных (панкреатин, пепсин),

ферменты растений (папаин, фицин, бромелаин) и микроорганизмов (алькалаза, флавозерм).

Протеолитические ферменты гидролизуют белки более мягко, чем кислоты/щелочи, и не требуют высокой температуры (<60° С). Они обычно нацелены на специфические пептидные связи (например, фермент *пепсин* разрезает аминокислотную цепь, где присутствует фенилаланин или лейцина; *папаин* разрезает цепь, прилегающую к аргинину, лизину и фенилаланину; *панкреатин* разрезает цепь, где присутствуют аргинин, лизин, тирозин, триптофан, фенилаланин и лейцин). ГП образующиеся в результате ферментативного гидролиза, представляют собой смесь аминокислот и пептидов различной длины с низкой соленостью и более менее постоянным составом. Процессы получения ГП на основе ферментативного гидролиза также являются более экологически чистыми, чем те, которые основаны на химическом гидролизе из-за низкой потребности в энергии и углерода выбросы диоксидов. Также были предложены комбинированные химические и ферментативно-гидролитические процессы для экономии энергии и сохранения структуры аминокислот.

ГП животного происхождения обычно содержат более высокое количество общих аминокислот, чем растительного. Состав аминокислот в ГП различаются в зависимости от источника белков. В коллагеновых ГП содержится высокая доля глицина и пролина, тогда как в ГП из бобовых культур преобладают аспарагиновая кислота и глутаминовая кислота. ГП на основе рыбы имеют высокую долю аспарагиновой кислоты и глутаминовой кислоты, а казеиновые – глутаминовой кислоты и пролина. Кроме того, гидролизаты из коллагена содержат гидроксипролин и гидроксизин, которые присутствуют на незначительных уровнях в растительных ГП.

Кроме аминокислот, при гидролизе образуются низкомолекулярные белки, многие из которых имеют высокую биологическую активность. Например, ферментный гидролиз сои позволили получить пептиды обладающие способностью увеличить количество корневых волосков. Кроме того, в результате гидролиза образуются жиры, углеводы, фенолы, минеральные элементы, фитогормоны и другие органические соединения (например, полиамины). В ГП из люцерны было обнаружено два фитогормона (индолуксусная кислота и изопентениладенозин), жирный спирт –

триаконтанол, который стимулирует рост растений. Кроме того, ГП на растительной основе содержат растворимые углеводы и фенолы, которые играют важную роль в энергетическом метаболизме и защите растений от окислительного стресса. Напротив, у ГП получающихся из животных материалов, недостает углеводов, фенолов и фитогормонов. Содержание минеральных веществ также зависит от источника белка и, как правило, выше в продуктах из растительных материалов.

С учетом того, что в почве аминокислоты и низкомолекулярные пептиды быстро разрушаются микроорганизмами, препараты на основе ГП часто используются для обработки в период вегетации. При опрыскивании, степень поглощения аминокислот растениями достаточно высокая и достигает 48-51%.

Все большее распространение в растениеводстве получили комплексы аминокислот с микроэлементами.

В качестве примеров препаратов первого типа можно привести работы школы Р.Г. Бинеева в 80-х годах прошлого века в Татарстане по глицинатам меди и цинка. Некорневая подкормка диглицинатом меди и цинка увеличивало урожайность яровой пшеницы на 15-17%. Главным преимуществом хелатов на основе аминокислот природного происхождения в сравнении с хелатами с синтетическими лигандами (ЭДТА и т.д.) указывалась их более высокая доступность для растений. Использование глицина в качестве лиганда широко используется в мире, т.к. имеют небольшую молекулярную массу. Имеются указания на то, что глицинаты, аргинаты и гистидинаты цинка на пшенице более эффективны, чем сернокислый цинк, но преимущество имел глицинат. В мире выпускаются микроудобрения на основе глицинатов железа, меди и цинка. В качестве примеров таких препаратов можно привести BOZIMA-FIRM® (Onze Livre BV, Голландия), в котором металлы микроэлементов содержатся в виде глицинатов.

Также большое значение в растениеводстве приобретают комплексы разных аминокислот с одним или несколькими микроэлементами. Например, смеси аланина, серина, фенилаланина и тирозина с микроэлементами оказывают выраженное ростостимулирующее влияние на растения в теплицах. Примером таких удобрений могут быть удобрения марки Pro компании Onze

Livre BV, представляющих собой хелаты L-аминокислот с железом, цинком и т.д. Такие удобрения в больших объемах производятся в Китае и Индии. В РФ аналогичные препараты выпускаются разными компаниями, например удобрения серии Агровин (ООО «Агрооптима») и т.д.

Установлены отличия в способности разных аминокислот образовывать хелатные комплексы с микроэлементами. В частности, взаимодействие меди эффективно происходит с глицином, аланином, валином, серином, лизином, аспарагином и  $\beta$ -фенил- $\beta$ -аланином в диметилформамиде (ДМФА), диметилсульфоксиде (ДМСО), ацетонитриле (MeCN) и тетрахлорметане; железа – с валином и  $\beta$ -фенил- $\beta$ -аланином в фенетоле и с  $\beta$ -фенил- $\beta$ -аланином в воде, с аланином в изоамиловом спирте и  $\beta$ -фенил- $\beta$ -аланином в ДМСО; марганца – с глицином, аланином и  $\beta$ -фенил- $\beta$ -аланином в воде.

Наиболее часто в качестве природных источников аминокислот для хелатов могут выступать гидролизаты протеинов животного происхождения, реже растительного. В частности, в качестве таких источников могут выступать аминокислоты из бобовых культур, пшеницы, ботвы сахарной свеклы и томатов, компания Ajinomoto производит хелаты из сахарного тростника.

При диффузии через лист хелаты аминокислоты могут быть легко абсорбированы и использованы клетками листьев или могут достигать флоэмы и перемещаться в быстрорастущие органы – новые листья, цветы, плоды и т. Д. Это означает, что хелаты аминокислот очень подвижны в растениях и транспортируются туда, где они наиболее необходимы.

Эффективность применения хелатных микроудобрений на основе аминокислот подтверждена на разных культурах.

Наряду с хелатами аминокислот, интерес в качестве микроудобрений представляют и хелаты на основе органических кислот – лимонной, аскорбиновой и винной, а также гуминовых кислот, полифлаваноидов, аминоклюконатов, а также рамнолипидов, продуцируемых бактериями.

Особенно быстро растет применение органоминеральных удобрений, включающие в себя несколько компонентов – хелаты микроудобрений на основе аминокислот, макроэлементы в

минеральной форме и различные стимуляторы (экстракты водорослей, гуматы, фитогормоны и т.д.).

В качестве примеров можно привести несколько хорошо известных на рынке таких удобрений.

**Bosfoliar Activ** (COMPO EXPERT, Münster, Germany) – Комбинация жидкого минерального NPK 3+27+18 удобрения с микроэлементами в хелатной форме (ЭДТА) биостимулятора с содержанием экстракта морской водоросли *Ecklonia maxima* и фосфора в виде фосфита.

**Agrocean B** (Agrimer, Plouguerneau, France) – комбинация экстрактов бурых водорослей с бором и магнием.

**Amino Green** (Bioibérica, Barcelona, Spain) – содержат аминокислоты и макроэлементы.

**Сивид – Комплекс** (Leili Agrochemistry, Китай) – содержит: альгиновую кислоту – 14 г/л, азот – 90 г/л, экстракт морских водорослей – 180 г/л, органическое вещество – 150 г/л, калий – 50 г/л, фосфор – 30 г/л, железо – 16 г/л, медь – 8 г/л, цинк – 12 г/л, марганец – 4 г/л.

Использование таких удобрений требует адаптации составов под конкретные культуры и типы почв.

### 5.3 Препараты на основе гуминовых веществ

Одними из наиболее распространенных препаратов биологического происхождения используемых в растениеводстве являются биопрепараты на основе различных гуминовых вещества.

Гуминовые вещества (ГВ) представляют собой обычно темно-окрашенные органические вещества природного происхождения. Они образуются в результате химических и биологических превращений органического вещества растений, животных и микроорганизмов. Основная часть ГВ достаточно устойчива к различным биохимическим процессам разложения, поэтому гуминовые вещества могут накапливаться в *почве, торфе*, различных видах *угля* (бурый, каменный), а также в *сапропелях* (донных отложениях пресноводных водоемов) и природном минерале – *леонардите*. Кроме того он может содержаться в *вермикомпосте*, т.е. в продуктах переработки субстрата дождевыми червями. Именно гуминовые вещества

представляют собой основной резервуар органического углерода на поверхности нашей планеты.

Роль **ГВ** в природе многообразна. Так, **ГВ** регулируют круговорот углерода и азота в почве; влияют на рост растений и развитие микроорганизмов; влияют на характер процессов **транслокации** (перемещения) и **трансформации** (превращения) различных веществ (в том числе, антропогенного происхождения – пестицидов, ксенобиотиков и др.). Именно гумусовые вещества (**гумус**) играют важную роль в формировании структуры почвы.

В последние годы было установлено, что **гумус** представляет собой *самосборные супрамолекулярные ассоциации (ансамбли) небольших гетерогенных молекул*, удерживаемых вместе, в основном, слабыми гидрофобными связями.

В растворе **ГВ** обычно представляют как совокупность разнообразных компонентов с относительно низкой молекулярной массой, образующих динамические ассоциации, стабилизированные гидрофобными взаимодействиями и водородными связями. Соотношение «гидрофильное : гидрофобное» определяет реакционную способность гуминового вещества в окружающей среде.

В почвоведении, обычно под понятием гуминовых веществ выделяют:

а) **гумин** – органическое вещество почвы, нерастворимое в щелочах и кислотах (неизвлекаемый остаток);

б) **гуминовые кислоты** (ГК) – растворимы в водных растворах щелочи, но не растворимы в кислотах при рН до 1–2.

в) **фульвокислоты** (ФК) остаются в растворе после подкисления водно-щелочных экстрактов, т.е. растворимы и в кислотах и в щелочах.

По современным представлениям, **ФК** рассматриваются как ассоциации малых гидрофильных молекул, в которых есть специальные функциональные группы, позволяющие держать фульвические кластеры диспергированными в растворе при любом рН. В то же время, **ГК** состоят из ассоциаций, преимущественно гидрофобных соединений (полиметиленовые цепи, жирные кислоты, стероидные соединения и т.д.), которые стабилизируются при нейтральном рН гидрофобными дисперсионными силами (сила Ван-дер-Ваальса и связи СН–). Водорастворимые гуминовые ассоциации в

основном стабилизируются слабыми силами и органические кислоты, выделяемые корнями растений, которые обычно присутствуют в почвенном растворе могут влиять на стабильность гуминовых веществ, что в свою очередь оказывает влияние и на само растение. Значительная роль гумусовых веществ, наряду с их сложным строением, позволило ряду ученых выделить среди *омиксных направлений* отдельное направление *гумеомики* (humeomics), в рамках которого изучаются процессы взаимодействия в системе растение : гуминовые вещества : микроорганизмы. Развитие данного направления позволит значительно повысить эффективность применения гуминовых препаратов в растениеводстве.

Механизмы положительного влияния гуминовых веществ и препаратов на их основе могут быть разнообразными (рис. 6).

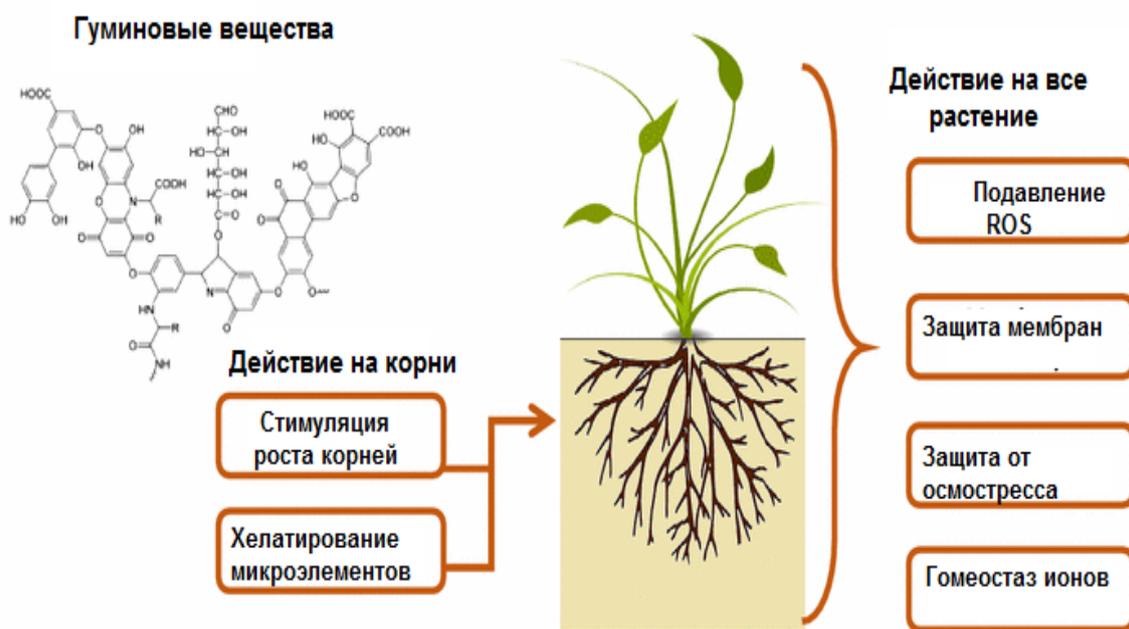


Рис. 6 – Основные механизмы положительного влияния гуминовых веществ на растения

Во многих исследованиях доказано *стимуляция роста сельскохозяйственных культур* под влиянием применения *ГВ*. На основании метанализа научного материала было показано, что под влиянием данных веществ, сухая масса побегов и корней у разных видов растений увеличивается примерно на 22% (Rose et al., 2014). Однако реакция сельскохозяйственных культур на применение

гуминовых препаратов зависит от вида растений и фазы его развития (онтогенеза); источника **ГВ** и способа применения; агротехнологии производства и условий окружающей среды. В целом, положительная ростостимулирующая реакция на применение гуминовых препаратов у *однодольных* культурных растений, по-видимому, выше, чем у *двудольных* растений, хотя молекулярная и физиологическая основа таких различий остается не достаточно ясной.

В большинстве случаев, отмечаемый в научной литературе и в производстве ростостимулирующий эффект от использования **ГВ** связан с их положительным влиянием на изменения в корневой системе растений. Причина такого эффекта достаточно понятна. Корневые волоски напрямую изменяют рН почвы, окружающей корень (т.е. *ризосферу*) путем выделения ионов  $H^+$  (через фермент  $H^+$ -АТФазу) и органических кислот. В результате возникает разница потенциалов через *корневую плазматическую мембрану* (ПМ), что имеет существенное значение для активного и пассивного транспорта ионов и метаболитов. Эти процессы индуцируются ауксином. Исследования показали, что **ГВ** могут стимулировать активность  $H^+$ -АТФазы ПМ, включая усиление экспрессии этого фермента.

Небольшие биоактивные экзогенные органические молекулы (например, индолуксусная кислота) могут получать доступ к клеточным рецепторам для запуска клеточной передачи сигналов. Считается, что в **ГВ** вероятно всего содержатся ауксиноподобные молекулы, способные получать доступ к рецепторам снаружи или внутри клетки.

Выше отмечалось, что гуминовые вещества индуцируют активность  $H^+$ -АТФазы, которая, в свою очередь, может усиливать перенос ионов и способствовать усвоению питательных веществ. Во многих исследованиях показана положительная роль гуминовых веществ в повышении поступления нитратов в растениях. Часто для обработки растений используются растворимые комплексы гуминовых веществ с микроэлементами, при этом металлы могут быть защищены от выщелачивания при попадании в почву и стать более доступными для растений. Таким образом, применение гуминовых веществ приводит к улучшению минерального питания растений.

Гуминовые вещества могут способствовать росту растений за счет стимуляции метаболизма углерода и азота. Показан

стимулирующий эффект применения препаратов на основе гуминовых кислот на ферменты (нитратредуктаза, глутаматдегидрогеназа и глутаминсинтетаза и др.), связанные с ассимиляцией азота растениями. Все это оказывает положительное влияние на фотосинтез и превращение растворимых сахаров в запасной крахмал.

Препараты на основе гуминовых веществ при их применении на растениях обладают выраженным антистрессовым эффектом. Механизмы такого влияния достаточно интенсивно изучаются. В частности показано, что применение **ГВ** может усиливать экспрессию фенилаланин (тирозин) аммиак-лиазы (*PAL/TAL*), которая катализирует первую основную стадию биосинтеза фенольных соединений. Экспрессия *PAL / TAL* сопровождалась накоплением фенола в листьях, что может оказывать токсичное влияние на развитие фитопатогенов. В частности, показан положительный эффект от применения гуминовых препаратов из вермикомпоста в снижении поражения томатов фитофторозом (*Phytophthora infectans*) при этом отмечалось значительное усиление активности *PAL* в листьях растений.

Достаточно давно показан положительный эффект гуминовых препаратов в повышении засухоустойчивости растений. Как указывалось выше, одним из опасных последствий действия засухи является образование активных форм кислорода (АФК или ROS), что может вызывать ингибирование ферментов, разрушение хлорофилла и повреждение органических молекул, включая ДНК, а также перекисное окисление липидов. Важная роль *ферментативных* и *неферментативных* антиоксидантных защитных систем в устойчивости к стрессам (в том числе и при засухе) хорошо известна. Неферментативная антиоксидантная система включает в себя такие соединения, как аскорбат, глутатион, алкалоиды, фенолы, токоферолы и каротиноиды. Образование соединений, связанных с шикиматным путем (алкалоиды, фенолы, токоферолы), стимулируются при использовании гуминовых веществ. *Ферментативная защита* также индуцируется в присутствии таких соединений. В частности показан положительный эффект от ГВ в повышении активности пероксидазы. Имеются многочисленные данные по положительному влиянию препаратов на основе ГВ на снижение отрицательного влияния и

других стрессов растений, в том числе последствий гербицидов (фитотоксичности), наличия тяжелых металлов, гипоксии и т.д.

Значительный положительный эффект от использования гуминовых веществ связан с активизацией под их влиянием активности почвенной биоты, в том числе полезных микроорганизмов.

Практическое применение гуминовых препаратов в растениеводстве используется давно. Необходимо отметить важную роль советских ученых в разработке приемов использования гуматов в сельском хозяйстве. Исследования профессора Л.А. Христовой стали толчком для развития данного направления не только в нашей стране, но и за рубежом. Уже с 1961 года началось промышленное производство таких препаратов в нашей стране.

С точки зрения эффективности применения данных препаратов, существенное значение имеет источник *ГВ* и способ его получения. В качестве источников для производства гуминовых препаратов используют – торф, уголь (чаще всего бурый), леонардит, вермикомпост и др. В некоторых исследованиях указывается на преимущество по положительному влиянию на растения гуминовых препаратов на основе торфа и вермикомпоста над препаратами из углей. Однако, при использовании торфа и вермикомпоста достаточно трудно обеспечить относительно постоянный состав препаратов на их основе, тогда как при применении углей и леонардита сделать это проще. При сравнении препаратов на основе бурых углей и леонардита, обычно указывается на преимущество последнего в качестве источника гуминовых веществ.

Экстракция гуминовых веществ производится растворами (водными) щелочей, поэтому очень часто гуминовые препараты имеют щелочную реакцию, что необходимо учитывать при их применении совместно с пестицидами и агрохимикатами.

В зависимости от источника гуминовых веществ и способа экстракции гуминовые препараты делят на следующие группы (по Б.В. Левинскому, 2000):

1. препараты на основе бурых или окисленных углей, предлагаемые к применению без какой-либо обработки;
2. препараты, получаемые в результате обработки бурых углей концентрированными щелочами;

3. гуматные препараты, получаемые путем экстракции из углей, торфа или вермикомпоста, разбавленными щелочами, которые обычно поставляются в виде 6-12% в.р. (водных растворов);

4. гуматы, получаемые из высококачественных тестированных углей, содержащих не менее 75% гуминовых кислот;

5. сложные составы, содержащие наряду с гуминовыми веществами и другие компоненты.

Физическая форма препаратов на основе гуматов может быть различной. Они выпускаются в твердой форме (порошки, гранулы), в жидком виде (растворы) и в виде пасты. С точки зрения удобства применения, жидкие формы и пасты имеют определенное преимущество.

Все большее распространение в растениеводстве получают, т.н. «органо-минеральные удобрений», содержащие наряду с гуминовыми веществами макро- и микроэлементы, различные биостимуляторы и т.д. Достаточно распространена практика использования гуминовых препаратов в баковой смеси с биопрепаратами на основе живых микроорганизмов, в том числе и для повышения устойчивости к стрессам культурных растений.

Гуминовые препараты применяют как для обработки семенного материала, так и для опрыскивания в период вегетации растений. В настоящее время на рынке имеется широкий набор различных препаратов на основе гуминовых веществ.

#### **5.4 Другие группы биостимуляторов природного происхождения**

К числу биостимуляторов биологического происхождения можно отнести продукты производимые различными дрожжами.

Исторически в качестве стимулятора роста использовались вытяжки навоза и иных отходов животноводства. Кроме того, большое количество экстрактов получены из вермикомпостов, отличающихся наличием большого количества физиологически-активных веществ (ФАВ).

**Вермикомпостирование** – это способ утилизации различных органических веществ ( в том числе и отходов сельского хозяйства), основанный на использовании дождевых червей (Олигохет). В качестве источника органического вещества используются отходы

животноводства и растениеводства, что имеет существенное значение с точки зрения рециклинга (т.е. управления отходами) и охраны окружающей среды. Наиболее часто в качестве червей используются компостные черви (*Eisenia foetida*) и почвенные черви (*Lumbricus terrestris*). Проходя через кишечник данных видов червей отходы подвергаются значительной трансформации, при этом не только происходит обогащение субстрата различными веществами, но и улучшается его микробиологическое состояние.

Вермикомпосты могут быть использованы как непосредственно для внесения в почву, так и применяться в качестве источника для получения других, в том числе жидких ростостимулирующих препаратов.

В Российской Федерации вермикультура получила широкое распространение в Брянской, Владимирской, Самарской областях, а также в Республике Татарстан.

### ***Вопросы для самостоятельной работы по главе 5***

1. Основные группы водорослей используемых для создания биостимуляторов.
2. Основные группы аминокислот и их влияние на развитие растений.
3. Особенности получения гидролизатов белков.
4. Особенности влияния гидролизатов белков на растения.
5. Особенности строения и источники гуминовых веществ.
6. Особенности влияния гуминовых веществ на растения.
7. Основные группы гуминовых препаратов для растениеводства.
8. Другие группы стимуляторов растений биологического происхождения.

### ***Литература для самостоятельной работы по главе 5***

*Учебники и учебные пособия:*

1. Попов, А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / А. И. Попов // СПб.: Изд-во С. Петерб. ун-та, – 2004. – 248 с.
2. Покровская, С.Ф. Использование дождевых червей для переработки органических отходов и повышения плодородия почв (вермикультура) / С.Ф. Покровская. – М.:Агропромиздат, 1991. – 32 с.

*Научные статьи и обзоры:*

Давидчук Н.В., Еремеева, Н.В. Особенности действия вытяжек из клубочков *Beta vulgaris l.* на прорастание семян некоторых культурных растений // Вестник ТГУ. – 2007. – т.12, вып.6. – С. 689-691.

Выгузова, М.А. Перспективы развития технологии вермикомпостирования в России и за рубежом/ М.А. Выгузова, А.С. Линкевич, В.В. Касаткин, Н.Ю. Литвинюк //Пищевая промышленность. – 2012. – №8. – С.24-26

Sharma, H. S. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., Martin, T. 2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *J. Appl. Phycol.* 26:465–490.

Sharma S.H.S., Lyons G, Mc Roberts C, McCall D, Carmichael E, Andrews F, McCormack R. 2012. Brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of seaweed species and biostimulant formulations by rapid instrumental methods. *J Appl Phycol.* 24:1141–1157.

Canellas, L. P. et al. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae.* 196: 15–27.

## Глава 6

# СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОТ СТРЕССОВ

Согласно ГОСТ 21507-2013 «Защита растений. Термины и определения» под защитой растений понимается: «...**Защита растений – система мероприятий по борьбе с организмами, наносящим урон** посевам и посадкам в открытом или защищенном грунте, окультуренным угодьям и естественной растительности, направленных на предупреждение проникновения, распространения и массового размножения или развития, а также на регулирование или ликвидацию популяций **вредных организмов**, а также **раздел прикладной биологии**, разрабатывающий теоретические и методологические основы этих мероприятий». Под опасным вредным организмом понимается: «...**экономически значимый вредный организм**, способный при массовом размножении или распространении вызывать имущественный ущерб, связанный с утилизацией продукции, снижение ее качества и потребительской ценности в отдельных регионах в зонах товарного производства сельскохозяйственных культур...». Интегрированная защита растений предполагает: «...систему управления фитосанитарным состоянием экосистем путем комплексного использования различных средств и методов защиты растений с целью обеспечения фитосанитарного благополучия территории...». Её элементами являются **биологическая защита растений**, представляющая собой «...систему мероприятий... от вредных организмов путем применения биологических препаратов или использование ... деятельности естественных врагов вредных организмов...» и **химическая защита растений**, т.е. «... система мероприятий по защите растений... от вредных организмов с помощью химических средств...».

Система защиты растений – неотъемлемая часть современных адаптивных систем земледелия. Как указывает академик РАСХН В.А. Захаренко (2009), в основе таких систем должны лежать – *приёмы интегрированного управления агроценозами*, включающие: а) фитосанитарную диагностику, мониторинг и прогнозирование; б) оценку фитосанитарного состояния и определение целесообразности проведения защитных мероприятий; в) выявление площадей

агроценозов, нуждающихся в защитных мероприятиях; г) обоснование методов защиты растений; решение организационно-экономических вопросов.

Наиболее яркое воплощение данных принципов нашло в **Интегрированной системе защиты растений** (ИСЗР), под которой понимается система регуляции популяций вредных объектов, абиотических и антропогенных стрессов в агрофитоценозах, с помощью различных методов (прежде всего экологически безопасных), на основе фитосанитарного мониторинга, а также критериев экономической и энергетической целесообразности.

В основе использования современных систем защиты заложены международные стандарты Хорошей практики защиты растений (Good plant protection practice (GPP)) разработанные Европейской и Средиземноморской Организации по защите растений (EPPO) – Standards PP 2/1(2). Согласно данному стандарту, при выборе решения по защите растений, необходимо выбирать те, которые минимизируют использование пестицидов, в том числе и биологический метод контроля. Особое значение биологическая защита приобретает в рамках органического земледелия.

В связи с этим, развитие биологической защиты растений как элемента интегрированных систем управления вредными объектами является одним из основных в современном сельском хозяйстве.

Под **биологической системой защиты** от стрессов растений понимается система защиты сельскохозяйственных культур от болезней (инфекционных и неинфекционных), базирующихся на применении только биологических препаратов (биопрепаратов).

При стандартной **химической системе защиты растений** от болезней (стрессов) разной этиологии подразумевается система, при которой используются только химические средства защиты растений (пестициды), включенные в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ на год исследований.

Под **комбинированной системой защиты растений** от стрессов понимается система, при которой часть обработок (преимущественно обработка семян) проводится с помощью химических препаратов, а остальные с применением биологических препаратов.

Разработанные системы защиты растений должны быть интегрированы в существующие агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур. Например, в Республике Татарстан для ряда сельскохозяйственных культур разработаны соответствующие агротехнологии возделывания (Система земледелия Республики Татарстан. Ч.2 Агротехнологии...., 2014), поэтому системы защиты должны стать их частью и не противоречить основным их требованиям.

При проектировании систем защиты растений в качестве основы необходимо использовать стандартные подходы к организации защиты растений (Ченкин, 1978). Основой таких систем должны стать календарные планы проведения защитных мероприятий (табл. 7).

Таблица 7 – Календарный план мероприятий по защите .....  
(название культуры)

№	Способ обработки	Препарат	Название вредного организма	Сроки обработки	
				фенофаза растения	календарная дата
1	2	3	4	5	6

С целью интеграции разработанных систем защиты растений в агротехнологию возделывания сельскохозяйственных культур они должны быть интегрированы в общую агротехнологическую схему (рис. 7).

При этом, в рамках агротехнологии сельскохозяйственной культуры выделяются уровни ее интенсификации – базовые, интенсивные, высокие и предназначенные для органического (биологического) земледелия.

Для использования систем защиты растений предполагается разработка соответствующих технологических карт (Гончаров и др., 1985).

Технологическая карта должна включать в себя следующие элементы (Кропачева, 1986), представленные в таблице 8.

## Общая агротехнологическая схема для яровой пшеницы

Управление посевами		ретарданты		растворимые удобрения и стимуляторы	
Защита растений	вредители	сорняки		болезни, вредители	
Подкормки		N-подкормка		некорневая N-подкормка	
Элемент структуры урожая	<p>Густота всходов, шт./м<sup>2</sup></p> <p>Коэффициент кущения</p> <p>Густота колосьев к уборке, шт./м<sup>2</sup></p>		<p>Длина колоса, см</p> <p>Количество зерен в колосе, шт.</p>	<p>Количество зерен в колосе, шт.</p> <p>МТС, г</p>	<p>МТС, г</p>
Фенологические фазы	всходы	кущение	выход в трубку - колошение	колошение-цветение, молочная - восковая спелость	полная спелость
					
Месяц	V		VI	VI-VII	
	Блок 1		Блок 2	Блок 3	

Рис. 7 – Типовая общая агротехнологическая схема возделывания яровой пшеницы в Республике Татарстан (Система земледелия Республики Татарстан. Ч.2 Агротехнологии....., 2014)

Таблица 8 – Технологическая карта по защите .....(культура) на площади 100 га

№ п/п	Наименование работы	Наименование вредителя, болезни, сорняка	Состояние посевов (фаза развития)	Единица измерения,
1	2	3	4	5

Объем работ	Примерные сроки работ (декада, месяц)		Всего рабочих дней	Наименование препарата
	начало	конец		
6	7	8	9	10

Потребность препарата		Состав агрегата		
на единицу измерения	на весь объем	вид тяги (трактора и т.д.)	марка сельхозмашины	количество рабочих
11	12	13	14	15

Продолжение таблицы 8

Производительность агрегата		Затраты труда (чел.-час)_	
за 1 чистого времени	за смену	на 1 га	на весь объем работ
16	17	18	19

Согласно Р.И. Франк, В.И. Кищенко (2008) «...биопрепараты могут быть использованы для формирования самостоятельной системы защиты (экологически ориентированные системы сельского хозяйства или биологическое земледелие) или включаться в систему интегрированной защиты, существенно снижая пестицидный пресс на агроценозы». В связи с этим, возникает необходимость в разработке различных систем применения биологических препаратов на основных сельскохозяйственных культурах.

Значительной научно-производственной задачей становится разработка антистрессовых систем защиты растений для контроля как абиотических, так и антропогенных стрессов. В данном направлении делаются только первые шаги.

### 6.1 Зерновые культуры

В качестве основной зерновой культуры в Среднем Поволжье выступает яровая мягкая пшеница. С учетом этого именно на ее примере рассмотрим биологическую систему защиты зерновых культур от стрессов. Для обоснования выбора тех или иных систем защиты необходимо учитывать следующие требования:

1. С учетом отсутствия действия биопрепаратов против головневых болезней и необходимостью их обязательного контроля в семеноводческих посевах протравливание семян должно осуществляться только химическими препаратами.

2. При интенсивных агротехнологиях вносятся значительные нормы удобрений, что усиливает необходимость в контроле корневых гнилей и предполагает протравливание семян химическими препаратами.

3. При зараженности семян пшеницы возбудителями корневых гнилей (гельминстопориз, фузариоз) выше 10% рекомендуется использование химических препаратов.

4. В органическом земледелии использование химических препаратов запрещено.

Схема фитосанитарного мониторинга представлена в таблице 9.

Таблица 9. – Система мониторинга стрессов на яровой пшенице

Фаза развития растений	Объект мониторинга	Метод учета
До посева	Корневые гнили	Фитоэкспертиза семян
Всходы-3 лист	Корневые гнили	Осмотр растений
Кущение	Листовые болезни (ржавчины, мучнистая роса, септориоз)	Осмотр растений
	Культурные растения	Оценка фитотоксичности применения гербицидов
Выход в трубку-колошение	Листовые болезни (ржавчины, мучнистая роса, септориоз)	Осмотр растений
	Культурные растения	Мониторинг абиотических стрессов (засуха и т.д.)
Формирование зерна	Болезни колоса (септориоз, фузариоз, спорынья)	Осмотр растений.

Примерный календарный план представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Примерный календарный план мероприятий по биологической защите растений яровой пшеницы от стрессов (вариант I)

№	Способ обработки	Препараты	Название вредного организма или стресса	Сроки обработки	
				фенофаза растения	календарная дата*
1	2	3	4	5	6
1	Обработка семян	<i>биофунгициды, биоудобрения, гуматы, экстракты и т.д.</i>	Гельминтоспориозная, фузариозная корневые гнили,	до посева	3 декада апреля -1 декада мая
2	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы аминокислоты, гуматы и др.</i>	Листовые микозы (ржавчина, мучнистая роса, септориоз), антропогенные стрессы (гербициды)**	кущение	2-3 декада мая
3	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы аминокислоты</i>	Листовые микозы (ржавчина, мучнистая роса, септориоз)	выход в трубку	1-2 декада июня

## Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6
4	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы ботанические инсектициды</i>	Листовые микозы (ржавчина, мучнистая роса, септориоз) и болезни колоса (септориоз, фузариоз), трипсы, абиотические стрессы	колошение	3 декада июня -1 июля

Примечание: \* – средние календарные сроки в Республике Татарстан; \*\* – в органическом производстве применение гербицидов не допускается.

Таблица 11 – Общая агротехнологическая схема и система защиты

Защита растений	-	<i>Биофунгициды, биостимуляторы, аминокислоты, гуматы и др</i>	<i>Биофунгициды, биостимуляторы, аминокислоты</i>	<i>биофунгициды, биостимуляторы, ботанические инсектициды</i>	-
Элемент структуры урожая	Густота всходов, шт./м <sup>2</sup> Коэффициент кушения Густота колосьев к уборке, шт./м <sup>2</sup>		Длина колоса, см Количество зерен в колосе, шт.	Количество зерен в колосе, шт. МТС, г	МТС, г
Фенологические фазы	всходы	кушение	выход в трубку - колошение	колошение-цветение, молочная - восковая спелость	полная спелость
					
Месяц	V		VI	VI - VII	

### **Общее описание системы защиты яровой пшеницы от стрессов**

Система защиты должна включать в себя следующие элементы.

#### **Профилактические мероприятия:**

- соблюдение требований агротехнологии возделывания культур (оптимальные предшественники, обработка почвы, система управления посевами);
- выращивание устойчивых или выносливых к патогенам и абиотическим стрессам сортов с высокой экологической пластичностью;
- оптимизация минерального питания растений за счет применения органических удобрений или органо-минеральных комплексов;
- оптимальная логистика выполнения технологических операций и система контроля качества.

#### **Терапевтические мероприятия:**

1. Обязательная фитоэкспертиза семян (при заражении семян возбудителями корневых гнилей выше 10% и наличии внутренней или внешней инфекции головневых грибов применяются только химические препараты или баковые смеси химических и биологических протравителей химических пестицидов).

2. Подготовка рабочего состава из расчета расхода 10 л/т семян с учетом «правила суммы жидких компонентов» (например, при норме расхода биопрепарата 1,5 л/т семян, при расходе рабочей жидкости в 10 л/т, необходимо количество препарата смешивается с 8,5 л/т воды).

3. При посеве для повышения устойчивости к стрессам в рабочий состав, наряду с биофунгицидами, добавляют биоудобрения, биостимуляторы (аминоксилоты, препараты водорослей, гуминовые стимуляторы и т.д.). При этом строго выдерживают норму расхода препарата и обязательно проводят проверку на совместимость отдельных компонентов баковой смеси. Добавление стимуляторов роста особенно эффективно – *при низкой лабораторной всхожести, небольшом количестве первичных корешков при прорастании(менее 5 шт./семя) и большом разрыве между показателями энергии прорастания и лабораторной всхожестью.*

4. Рабочий состав для обработки семян должен удовлетворять следующим требованиям:

- рабочий состав должен быть однородным;
- отклонение концентрации рабочего состава не должно превышать 5%;
- отклонение фактической дозы препарата от необходимой не должно превышать 3%;
- семена перед протравливанием должны быть очищены и откалиброваны;
- вода для приготовления рабочего состава должна быть теплой (не ниже + 15-17 °) и желательной мягкой;
- биопрепараты должны быть свежими (соответствовать сроку годности) и храниться в прохладном, темном месте.

5. При выполнении протравливания семян должны выполняться следующие требования:

- семена влажностью более 15% протравливают за 2-3 дня до посева;
- обработку проводят при температуре воздуха не ниже 5-10°C;
- полнота протравливания семян должна быть 100±20%;
- допустимое дробление семян не более 0,5%;
- увеличение влажности семян не более 1 %.

6. Обработанные семена желательнее использовать сразу же для посева. При хранении обработанных семян необходимо не допускать попадания прямого солнечного света.

7. Перед началом опрыскивания необходимо провести фитосанитарный мониторинг и оценку состояния растений (действия стрессора).

8. Опрыскивание биопрепаратами в период вегетации должно соответствовать следующим требованиям:

- рабочее давление при применении бактериальных препаратов не выше 3 атм., при применении препаратов на основе микромицетов – не выше 4 атм.;
- отклонение расхода жидкости между распылителями у штанговых опрыскивателей – 5 %;
- допускается отклонение от установленной нормы ±10 %;
- при опрыскивании должно обеспечиваться равномерное и тонкое распыление рабочей жидкости. Неравномерность распределения по площади ±15 %;
- опрыскивание проводят утром (с 8.00 по 10.00 ч) или вечером (с

17.00 по 22.00 ч) в солнечную погоду и без ограничения в пасмурную и прохладную.

– допустимая скорость ветра для штанговых опрыскивателей – 3-4 м/с.;

– для обработки использовать теплую и мягкую воду (желательно с нейтральной реакцией по показателю рН).

9. В фазу кущения яровой пшеницы опрыскивание проводить препаратами для снятия возможного фитотоксичного стресса от гербицидов (биостимуляторы, аминокислоты, гуматы, биофунгициды и т.д.). В фазу выхода в трубку, при развитии засухи и наличии болезней проводят повторное опрыскивание биофунгицидами и антистрессовыми препаратами; в фазу колошения проводят повторные обработки. При производстве органических продуктов при обработках для уничтожения вредителей можно использовать биоинсектициды или ботанические инсектициды.

10. На семеноводческих посевах, при интенсивных агротехнологиях и в случае превышения ЭПВ по зараженности семян корневыми гнилями – применять **комбинированную систему защиты**, при которой протравливание семян проводится химическими препаратами, а опрыскивание по схеме опрыскивания биологическими препаратами в рекомендованных нормах расхода.

## 6.2 Зернобобовые культуры

Основной зернобобовой культурой в зоне Среднего Поволжья является горох посевной. При разработке биологической системы защиты культуры от стрессов необходимо учитывать следующие особенности:

1. С учетом отсутствия заметного действия некоторых биофунгицидов против аскохитозов (бледно-пятнистого, темно-пятнистого) и в семеноводческих посевах протравливание семян гороха должно осуществляться только химическими препаратами.

2. При интенсивных агротехнологиях вносятся значительные нормы удобрений, что предполагает протравливание семян химическими препаратами.

3. При зараженности семян возбудителями корневых гнилей (фузариоз) выше 5% рекомендуется использование химических препаратов.

4. В органическом земледелии использование химических препаратов запрещено.

Схема фитосанитарного мониторинга представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Система мониторинга болезней и абиотических стрессов на горохе

Фаза развития растений	Объект мониторинга	Метод учета
До посева	Корневые гнили	Фитоэкспертиза семян
Всходы	Корневые гнили	Осмотр растений
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха) и антропогенных стрессов (фитотоксичность гербицидов) на растения
Бутонизация-цветение	Аскохитозы, бактериозы, корневые гнили, мучнистая роса и др.	Осмотр по 10 растений в 10 точках по двум диагоналям поля.
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха) стрессов на растения

Примерный календарный план для различных систем защиты растений от стрессов представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Примерный календарный план мероприятий по биологической защите растений гороха от стрессов

№	Способ обработки	Препарат	Название вредного организма или стресса	Сроки обработки	
				фенофаза растения	календарная дата*
1	2	3	4	5	6
1	Обработка семян	<i>биофунгициды, ризоторфин, стимуляторы роста</i>	фузариозная, афаномицетная корневые гнили	до посева	3 декада апреля-1 декада мая

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6
2	Опрыскивание	<i>биостимуляторы, гуматы и др.</i>	при гербицидном стрессе и развитии засухи	всходы	1-2 декада мая
3	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы и др.</i>	аскохитозы, ржавчина, мучнистая роса и т.д. засушливые условия.	стеблевание	2-3 декада мая
4	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы и др.</i>	аскохитозы, ржавчина, мучнистая роса и т.д. засушливые условия, недостаток элементов питания	бутонизация	2-3 декада июня

Примечание: \* – средние календарные сроки в Республике Татарстан; \*\* – в органическом производстве применение гербицидов не допускается

### ***Рекомендации по биологической системе защиты растений гороха от различных категорий стрессов***

Биологическая система контроля стрессов гороха должна включать в себя следующие элементы.

#### **Профилактические мероприятия:**

– соблюдение требований агротехнологии возделывания культур (оптимальные предшественники, обработка почвы, система управления посевами);

– выращивание устойчивых или выносливых к патогенам и абиотическим стрессам сортов с высокой экологической пластичностью;

– оптимизация минерального питания растений за счет применения органических и органо-минеральных удобрений;

– соблюдение требований к качеству семян.

#### **Терапевтические мероприятия:**

1. Фитоэкспертиза семян (при заражении семян возбудителями корневых гнилей выше 5% использование биопрепаратов должны

быть заменено на применении химических пестицидов).

2. Подготовка рабочего состава из расчета расхода 10 л/т семян с учетом «правила суммы жидких компонентов».

3. Для обработки семян обязательно используются препараты на основе клубеньковых бактерий (ризоторфин). Дополнительно в рабочий состав возможно добавление биофунгицидов и биостимуляторов растений.

4. Рабочий состав для обработки семян должен удовлетворять необходимым требованиям (см. яровую пшеницу).

5. При выполнении протравливания семян должны выполняться агротехнические требования (см. яровую пшеницу).

6. Обработанные семена желательно использовать сразу же для посева. При хранении обработанных семян необходимо не допускать попадания прямого солнечного света.

7. Перед началом опрыскивания необходимо провести фитосанитарный мониторинг и оценку состояния растений (действие стресса).

8. Опрыскивание биопрепаратами в период вегетации должно соответствовать следующим требованиям:

– рабочее давление при применении бактериальных препаратов не выше 3 атм.;

– опрыскивание проводят утром (с 8.00 по 10.00 ч) или вечером (с 17.00 по 22.00 ч) в солнечную погоду и без ограничения в пасмурную и прохладную.

– для обработки использовать теплую и мягкую воду (желательно с нейтральной реакцией по показателю pH).

9. На семеноводческий посевах, при интенсивных агротехнологиях и в случае превышения ЭПВ по зараженности семян корневыми гнилями – применять комбинированную систему при которой протравливание семян проводится химическими препаратами, а опрыскивание биопрепаратами в рекомендованных нормах расхода.

### 6.3 Рапс

Яровой рапс – основная масличная культура Среднего Поволжья. При разработке биологической системы защиты растений от стрессов необходимо учитывать следующие требования:

1. Протравливание семян (обычно против вредителей) рапса ведется на семеноводческих заводах, поэтому обработка биопрепаратами в хозяйствах обычно не проводится.

2. В органическом земледелии использование химических препаратов запрещено.

Схема фитосанитарного мониторинга представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Система мониторинга болезней и абиотических стрессов на яровом рапсе

Фаза развития растений	Объект мониторинга	Метод учета
Всходы	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха) и антропогенных стрессов (фитотоксичность гербицидов) на растения
Бутонизация-цветение	Альтернариоз, пероноспороз и др.	Осмотр по 10 растений в 10 точках по двум диагоналям поля.
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха, недостаток элементов питания ) стрессов

Примерный календарный план для биологической системы защиты растений от стрессов представлен таблице 15.

Таблица 15 – Примерный календарный план мероприятий по биологической защите растений рапса

№	Способ обработки	Препарат	Название вредного организма или стресса	Сроки обработки	
				фенофаза	Календарная дата
1	2	3	4	5	6
1	Опрыскивание	<i>биостимуляторы, гуматы и др.</i>	при гербицидном стрессе и развитии засухи	всходы	1-2 декада мая

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
2	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы и др.</i>	альтернариоз, пероноспороз, развитие засухи	стеблевание	3 декада мая-1 декада июня
3	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы и др.</i>	альтернариоз, пероноспороз, развитие засухи	бутонизация	2-3 декада июня

Примечание: обработка семян ведется на семеноводческих заводах.

Таблица 16 – Общая агротехнологическая схема и система биологической защиты ярового рапса от стрессов

Защита растений	<i>биостимуляторы, гуматы и др.</i>		<i>биофунгициды, биостимуляторы и др.</i>		<i>биофунгициды, биостимуляторы и др.</i>		
Элемент структуры урожая	густота растений к уборке, шт./м <sup>2</sup>		число стручков на растение, шт		количество семян в стручке, шт.		МТС, г
Фенологические фазы	посев-всходы	семядоли-1 пара настоящих листьев	2-4 пара настоящих листьев	стеблевание	бутонизация	цветение	формирование семян
							
Месяц	V			VI		VII	

**Рекомендации по биологической системе защиты растений ярового рапса от различных категорий стрессов**

**Профилактические мероприятия:**

– соблюдение требований агротехнологии возделывания культур (оптимальные предшественники, обработка почвы, система управления посевами);

- выращивание устойчивых или выносливых к патогенам и абиотическим стрессам сортов и гибридов культуры с высокой экологической пластичностью;

- оптимизация минерального питания растений за счет применения органических и органо-минеральных удобрений;

- соблюдение требований к качеству семян.

#### **Терапевтические мероприятия:**

1. Перед началом опрыскивания необходимо провести фитосанитарный мониторинг и оценку состояния растений (действие стресса).

2. Опрыскивание биопрепаратами в период вегетации должно соответствовать следующим требованиям:

- рабочее давление при применении бактериальных препаратов не выше 3 атм.;

- опрыскивание проводят утром (с 8.00 по 10.00 ч) или вечером (с 17.00 по 22.00 ч) в солнечную погоду и без ограничения в пасмурную и прохладную.

- для обработки использовать теплую и мягкую воду (желательно с нейтральной реакцией по показателю рН).

3. В фазу стеблевания и бутонизации опрыскивание проводить биопрепаратами в рекомендованных нормах расхода.

## **6.4 Картофель**

Для обоснования системы защиты картофеля от стрессов необходимо учитывать следующие требования:

1. В семеноводческих посадках протравливание клубней должно осуществляться преимущественно химическими препаратами.

2. При интенсивных агротехнологиях и на поливе вносятся значительные нормы удобрений, что стимулирует развитие болезней и предполагает протравливание клубней химическими препаратами.

3. В органическом земледелии использование химических препаратов запрещено.

Схема фитосанитарного мониторинга представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Система мониторинга болезней и абиотических стрессов на картофеле

Фаза развития растений	Объект мониторинга	Метод учета
До посадки	Клубневые инфекции	Клубневой анализ
Всходы	Ризоктониоз, фитофтороз	Осмотр растений (первые признаки болезней)
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха) и антропогенных стрессов (фитотоксичность гербицидов) на растения
Бутонизация цветение	Альтернариоз, фитофтороз	Осмотр растений. Учет болезней по соответствующим шкалам.
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха, недостаток элементов минерального питания и др.) на растения
Формирование клубней	Альтернариоз, фитофтороз	Осмотр растений. Учет болезней по соответствующим шкалам.
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха и др.) на растения
Закладка клубней на хранение и хранение	Клубневые инфекции	Клубневой анализ

Примерный календарный план по биологической защите картофеля от стрессов представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный календарный план мероприятий по биологической защите растений картофеля от стрессов

№	Способ обработки	Препарат	Название вредного организма или стресса	Сроки обработки	
				фенофаза растения	календарная дата
1	Обработка клубней	<i>биофунгициды, биостимуляторы, гуматы</i>	ризоктониоз, фитофтороз, гнили	до посадки	1-2 декада мая
2	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы, гуматы</i>	Фитофтороз, гербицидный стресс	всходы	3 декада мая -1 декада июня
3	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы</i>	Альтернариоз фитофтороз	бутонизация	3 декада июня -1 декада июля
4	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы</i>	Альтернариоз фитофтороз	цветение	1 -2 декада июля

Таблица 19 – Общая агротехнологическая схема и биологическая система защиты картофеля

Защита растений	Био-фунгициды, биостимуляторы, гуматы		Био-фунгициды, биостимуляторы, гуматы		Биофунгициды, биостимуляторы		Биофунгициды, биостимуляторы	
	густота растений к уборке, шт./м <sup>2</sup>				количество клубней в кусте, шт.		Средняя масса 1 клубня, г	
Фенологические фазы	посадка	всходы	полные всходы	бутонизация	цветение	формирование клубней	отмирание ботвы	
Месяц	V			VI		VII	VIII IX	

**Рекомендации по биологической системе защиты растений картофеля от различных категорий стрессов**

**Профилактические мероприятия:**

– соблюдение требований агротехнологии возделывания культур (оптимальные предшественники, обработка почвы, система управления посевами);

– выращивание устойчивых или выносливых к патогенам и абиотическим стрессам сортов с высокой экологической пластичностью;

– оптимизация минерального питания растений;

– соблюдение требований по семеноводству картофеля.

**Терапевтические мероприятия:**

1. Протравливание клубней обычно проводится при посадке в сажалках. Расход рабочей жидкости 20-30 л/т.

2. Перед началом опрыскивания необходимо провести фитосанитарный мониторинг и оценку состояния растений.

3. Опрыскивание биопрепаратами в период вегетации должно соответствовать требованиям (см. яровую пшеницу).

4. В фазу всходов биофунгициды и биопрепараты используются

для снятия стресса от гербицидов и абиотических стрессов, а также для профилактики фитофтороза. В фазу бутонизации и при цветении картофеля используются биофунгициды со стимуляторами роста в рекомендованных нормах расхода. В случае возделывания картофеля по требованиям органического производства дополнительно используются биоинсектициды.

## 6.5 Сахарная свекла

Для разработки биологических систем защиты сахарной свеклы необходимо учитывать следующие требования:

1. Сахарная свекла возделывается только по интенсивной технологии с широким использованием гербицидов и других химических средств защиты растений.

2. Обработка семенного материала проводится на заводах, поэтому в хозяйствах для защиты растений используются только опрыскивания.

Схема мониторинга посевов сахарной свеклы представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Система мониторинга болезней и абиотических стрессов сахарной свеклы

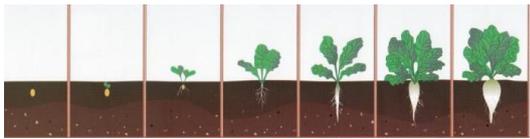
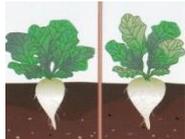
Фаза развития растений	Объект мониторинга	Метод учета
Полные всходы	Корнеед	Осмотр растений (первые признаки болезней)
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха) и антропогенных стрессов (фитотоксичность гербицидов) на растения
Начало смыкания в рядках	Листовые болезни (церкоспороз, фомоз, рамуляриоз)	Осмотр растений.
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха, недостаток элементов минерального питания и др.) на растения
Полное смыкание в рядках	Листовые болезни (церкоспороз, фомоз, рамуляриоз)	Осмотр растений.
	Культурные растения	Контроль действия абиотических (засуха, недостаток элементов минерального питания и др.) на растения

Примерный календарный план по биологической защите сахарной свеклы от стрессов представлен в таблице 21.

Таблица 21 – Примерный календарный план мероприятий по биологической защите растений сахарной свеклы (вариант I)

№	Способ обработки	Препарат	Название вредного организма или стресса	Сроки обработки	
				фенофаза растения	календарная дата
1	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы, гуматы</i>	Корнед, антропогенные стрессы (гербициды)	3-4 пара листьев	1-2 декада июня
2	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы, гуматы</i>	Листовые болезни (церкоспороз, фомоз, рамуляриоз). Засуха, недостаток питания.	Начало смыкания в рядках	2-3 декада июня
3	Опрыскивание	<i>биофунгициды, биостимуляторы</i>	Листовые болезни (церкоспороз, фомоз, рамуляриоз). недостаток питания.	Полное смыкание в рядках	1-2 декада июля

Таблица 22 – Общая агротехнологическая схема и биологической системы защиты сахарной свеклы

Защита растений	<i>Биофунгициды, биостимуляторы, гуматы</i>		<i>Биофунгициды, биостимуляторы, гуматы</i>		<i>биофунгициды, биостимуляторы</i>	<i>Биофунгициды, биостимуляторы</i>
Элемент структуры	Густота растений к уборке, шт./м <sup>2</sup>				Масса 1 корнеплода, г	
Фенологические фазы	Посев-всходы	Семя доли-1 пара	2-4 пара настоящих листьев	6 пара	50% смыкание в рядках	Формирование корнеплода
						
Месяц	IV	V		VI		VII I IX

***Рекомендации по биологической системе защиты растений  
сахарной свеклы от различных категорий стрессов***

**Профилактические мероприятия:**

– соблюдение требований агротехнологии возделывания культур (оптимальные предшественники, обработка почвы, система управления посевами);

– выращивание устойчивых или выносливых к патогенам и абиотическим стрессам гибридов с высокой экологической пластичностью;

– оптимизация минерального питания растений;

**Терапевтические мероприятия:**

1. Перед началом опрыскивания необходимо провести фитосанитарный мониторинг и оценку состояния растений.

2. Опрыскивание биопрепаратами в период вегетации должно соответствовать требованиям (см. яровая пшеница).

3. В фазу всходов для снижения стрессов от гербицидов, гипоксии (при переуплотнении) и развития корнееда, проводят опрыскивание биопрепаратами (биофунгициды, биостимуляторы, гуматы и т.д.).

4. В фазу начала смыкания в рядках используют биофунгициды со стимуляторами роста в рекомендованных нормах расхода.

5. В фазу смыкания в рядках используют биопрепараты для защиты листьев и их роста (биофунгициды, биостимуляторы). В условиях засухи дополнительно используют антистрессовые препараты.

6. В случае развития гнилей корнеплодов (бурой, фузариозной и т.д.) для профилактики можно использовать биофунгициды.

7. Для профилактики развития кагатных гнилей, используют обработку биофунгицидами перед закладкой корнеплодов в кагаты или обрабатывают их в кагатах.

***Вопросы для самостоятельной работы по главе 6***

1. Основные особенности интегрированных систем защиты растений.
2. Особенности биологической защиты яровой пшеницы.
3. Особенности биологической защиты гороха.
4. Особенности биологической защиты рапса.

5. Особенности биологической защиты картофеля.
6. Особенности биологической защиты сахарной свеклы.

### ***Литература для самостоятельной работы по главе 6***

#### *Учебники и учебные пособия:*

1. ГОСТ 21507-2013 «Защита растений. Термины и определения»
2. Баздырев Г.И. Интегрированная защита растений от вредных организмов: Учеб. Пособие/ Баздырев Г.И., Третьяков Н.Н., Белошапкина О.О. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 302 с.
3. Гончаров Н.Р. Организация защиты растений/Н.Р. Гончаров, Н.Г. Колычев, В.А. Черкасов. – Москва: Россельхозиздат, 1985. – 176 с.
4. Интегрированная защита растений от основных вредителей и болезней в Восточной Европе и на Кавказе /под ред. А. Нерсияна. – Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН, Будапешт, 2017. – 112 с. (доступ <http://www.fao.org/3/a-i5475r.pdf>).
5. Кропачева И. Д. Организация и планирование работ по защите сельскохозяйственных растений. – М.: Агропромиздат, 1986. – 287 с.
6. Павлюшин В.А. Антропогенная трансформация агроэкосистем и ее фитосанитарные последствия/В.А. Павлюшин, С.Р. Фасулати и др. – СПб:ВИЗР, 2008. – 120 с.
7. Словцов, Р.И. Принципы, методы и технологии интегрированной защиты растений/ Словцов Р.И., Борисова Т.Г., Голенева Л.М. – М.: Издательство РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2008. – 248 с.
8. Ченкин А.Ф. Экономика и организация защиты растений. М., Колос, 1978. – 256 с.
9. Чулкина В.А. Интегрированная защита растений: фитосанитарные системы и технологии: учебник / В.А.Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, Под ред. М.С.Соколова, И.А. Чулкиной. – М.: Колос, 2009. – 670 с.
10. Чулкина В.А. Экологические основы интегрированной защиты растений: учебник / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, Под ред. М.С. Соколова, В.А. Чулкиной. – М.: Колос, 2007. – 568 с.

#### *Научные статьи и обзоры:*

- Танской В.И. Агротехника и фитосанитарное состояние посевов полевых культур/ В.И. Танской. – СПб:ВИЗР, 2008. – 76 с.
- Захаренко, В.А. Ресурсосбережение в защите растений//Защита и карантин растений. – 2009. – №11. – С.4-9.

## Глава 7

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОТ СТРЕССОВ**

Биопрепараты вместе с ботаническими пестицидами приобретают все большее распространение среди производителей продуктов питания и потребителей. Многие эксперты прогнозируют взрывной рост продаж ботанических препаратов в течение следующего десятилетия. Так считается, что рынок биопестицидов может вырасти с 4-5% от всего рынка средств защиты растений (СЗР) до 20% к 2025 году. Темпы роста в секторе ботанических пестицидов, возможно, даже еще выше, от сегодняшних 1-2% до около 7% от общей доли рынка СЗР.

Как указывает Е.Б. Гольдин (2014): «...в результате произошедших перемен в мировом сельском хозяйстве, в наступившем веке после периода упадка, происходит новый всплеск интереса к биологическим методам защиты растений». Одной из важнейших причин возрождения интереса к биологическому методу контроля вредных объектов и абиотических стрессов стал увеличивающийся спрос на качественные продукты питания, в том числе и со стороны органического земледелия, в котором использование химических пестицидов запрещено или сильно ограничено, а также растущей потребности со стороны закрытого грунта где применение химических препаратов ограничено.

Детальный обзор состояния биологической защиты в России дает академик РАН В.А. Захаренко (2015). Уровень развития биометода, он предложил характеризовать индексом биологической защиты растений (процентное отношение объема биологического метода к сумме объемов биологического и химического методов в натуральных или стоимостных показателях). За период 2008–2014 гг. этот индекс в России составил 2,05 %. В мировом земледелии биопрепараты ежегодно применяются на сумму 1,206 млрд. долларов, химические пестициды – 59 млрд. долларов. Отношение показателя использования биопрепаратов к сумме их и химических пестицидов (60,206 млрд. долларов) отражает индекс биологизации: 2 %, т.е. близок к российскому. Доля биологических фунгицидов в структуре биопрепаратов составляет 68,4 %, а инсектицидов – 31,6 %.

В России среднегодовой рост емкости рынка биопестицидов оценивается в 15%. Так, в 2012 году было реализовано 2,0 тыс. т биопрепаратов, что на 53% больше уровня 2009 года. При этом рынок биологических средств защиты оценивался в 15,8 млн. долларов, причем 82% физического объема производства приходилось на биофунгициды (Любоведская, 2017).

Такие перспективы развития биологической защиты от стрессов во многом связаны с высокой отдачей от данного приема. Исследования проведенные на различных сельскохозяйственных культурах и в разных регионах России и мира подтверждают данный вывод. В качестве иллюстрации можно провести результаты опытов на разных культурах.

#### ***На яровой пшенице***

В исследованиях В.В. Немченко, М.Ю. Цыпышева (2014) двукратная обработка Фитоспорином-М привела к повышению урожайности яровой пшеницы сорта Омская -36 на 3,1 ц/га. Применение на яровой пшенице препарата Экстрасол в Ивановской области увеличило урожайность на 1,3 ц/га на фоне без применения удобрений, а совместно с удобрениями прирост составил 3,8 ц/га (Привезенцев, Тарасов, 2016). Использование данного препарата в условиях Казахстана положительно повлияло на рост и развития растений (Амангельды и др., 2017). Значительный интерес представляют результаты исследований М.Ю. Цыпышевой (2014) о высокой эффективности баковых смесей фунгицидов с Фитоспорином-М. Использование биопрепаратов Экстрасол, Флавобактерин и Ризоагрин в Ульяновской области повышало урожайность яровой пшеницы на 3,3-4,9 ц/га, что эквивалентно внесению  $N_{30}P_{30}K_{30}$  (Никитин, Захаров, 2016).

#### ***На озимой пшенице***

В опытах Е.В. Кузина и др. (2013) обработка биопрепаратом Елена (*Ps. aureofaciense*) привела к значительному повышению продуктивности (от 1,3 ц/га Волгоградская и Воронежская области до 4,4 ц/га Краснодарский край) и улучшению качественных характеристик зерна (увеличилось содержание клейковины). В Ростовской области от применения Экстрасола урожайность различных сортов озимой пшеницы увеличилась на 28-36% (Репка и др., 2016). В исследованиях И.Я. Пигорева, С.А. Тарасова (2014),

обработка препаратами на основе *Ps. aureofaciense* и Триходермы по схеме – обработка семян + посевов в фазе кущения осенью + посевов в фазе кущения весной + посевов в фазе выхода в трубку привела к росту урожайности на 9,0 ц/га.

#### ***На яровом ячмене***

В Рязанской области обработка семян Фитоспорином-М увеличило урожайность ярового ячменя на 3,5 ц/га (Соколов, Виноградов, 2016). Обработка семян Экстрасол Ч13 привело к росту урожайности ярового ячменя на 4,0-4,9 ц/га (Старцева, Фадькин, 2014).

#### ***На горохе***

Применение на горохе сорта Ангела обработки семян Экстрасолом увеличило урожайность на 3,6 ц/га (Ситало и др., 2015). Применение смеси биопрепаратов (*Paenibacillus polytuxa*, *Achromobacter album*, *Enterobacter nimipressuralis*) на горохе привело к росту урожайности гороха на 3,9 ц/га (Кулинич, Турина, 16).

#### ***На картофеле***

В исследованиях М.М. Mane et al. (2014) установлено, что применение на картофеле биопрепаратов на основе *Trichoderma harzianum* и *Pseudomonas fluorescens* для обработки клубней и в период вегетации привело к значительному снижению развития альтернариоза и увеличило урожайность на 64 ц/га.

В исследованиях А.И. Черемисина, В.Н. Кумпан (2017) применение для обработки клубней Мизорина и Флавобактерина увеличило урожайность на 10 и 60 ц/га соответственно.

Использование в Республики Татарстан обработки клубней Бинорамом способствовало значительному снижению развития серебристой парши (Зайцева, 2014).

В Нижегородской области применение на картофеле Фитоспорина-М привело на 47 ц/га, причем был обнаружен выраженных иммунизирующий эффект от обработки (Уромова и др., 2016).

#### ***На сахарной свекле***

Двукратная обработка посевов смесью препаратов Гуапсин плюс и Трихофит привело к росту урожайности сахарной свеклы на 70 ц/га (Беседин и др., 2016). Особый интерес представляют исследования Л.Н. Пусенкова с сотр. (2015) по оценке влияния применения

биопрепаратов на основе бактерий рода *Бациллюс*, которые показали, что их использование приводит к значительному повышению устойчивости сахарной свеклы к стрессам (абиотическим и биотическим) и увеличили урожайность на 15-50 ц/га, причем наилучшие показатели были при двукратной обработке Фитоспорином-М. Имеются сведения о положительном влиянии биопрепаратов на снижение поражения корнеплодов свеклы гнилями (Невмержицкая, Нурмухаммедов, 2012).

#### ***На яровом рапсе***

В Алтайском крае применение препарата БиоВайс (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*, *Bacillus mucilaginosus*) на яровом рапсе увеличило урожайность на фоне без удобрений на 23%, а в сочетании с удобрениями на 29-33% (Курсакова, Афанасьева, 2016). Положительное влияние применения биопрепаратов на рапсе отмечает и К.Л. Родионов (2013).

#### ***На подсолнечнике***

В Воронежской области обработка семян комплексом биопрепаратов: Фунгилекс, Елена Ж, Витокотейль С, Гумат К, Экофит, Бактофосфин привело к росту урожайности подсолнечника на 5,2 ц/га, а при дополнительном опрыскивании еще на 2,2 ц/га. Положительный эффект от применения биопрепаратов на подсолнечнике получен и в Республике Татарстан.

Проведенный обзор показал, что на всех представленных культурах под влиянием биопрепаратов отмечается существенный рост урожайности, что позволяет говорить о возможности практического использования биологической защиты растений от стрессов в агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Вместе с тем, работы в данной области находятся, во многом на начальном этапе, что требует постоянного внимания к данной области.

С учетом развития существующих тенденций, практические навыки и компетенции в области использования биологической защиты растений от стрессов становятся важным элементом подготовки специалистов агрономического профиля.

## ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гужвин, С.А. Физиология и биохимия растений: учебное пособие / С.А. Гужвин, В.Д. Кумачева, Р.А. Каменев. – Персиановский: Донской ГАУ, 2019. – 172 с.
2. Кошкин, Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Агрономия», «Садоводство», «Агрохимия и агропочвоведение» по программам магистратуры /Е. И. Кошкин. – Москва: Дрофа, 2010. – 638 с.
3. Кузнецов, В.В. Физиология растений: учебник для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – Москва: Высшая школа: Абрис, 2011. – 783 с.
4. Лухменев, В. П. Средства защиты растений от вредителей, болезней и сорняков: учебное пособие / В. П. Лухменев, А. П. Глинушкин ; под редакцией В. П. Лухменева. – Оренбург: Оренбургский ГАУ, 2012. – 596 с.
5. Минаева, О.М. Биопрепараты для защиты растений: оценка качества и эффективности: учеб. Пособие/ О.М. Минаева, Е.Е. Акимова, Т.И. Зюбанова, Н.Н. Терещенко. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – 130 с.
6. Павлюшин В.А. Антропогенная трансформация агроэкосистем и ее фитосанитарные последствия/В.А. Павлюшин, С.Р. Фасулати и др. – Спб: ВИЗР, 2008. – 120 с.
7. Покровская, С.Ф. Использование дождевых червей для переработки органических отходов и повышения плодородия почв (вермикультура)/С.Ф. Покровская. – М.:Агропромиздат, 1991. – 32 с.
8. Попов, А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / А. И. Попов // СПб.: Изд-во С. Петерб. ун-та, – 2004. – 248 с.
9. Ручай, Н. С. Технология микробного синтеза: электронный курс лекций / Н. С. Ручай, И. А. Гребенчикова. – Минск: БГТУ, 2014. – 167 с.
10. Федоренко, В.Ф. Современные технологии производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения: науч.

Аналит. Обзор/ В.Ф. Федоренко, Н.П.Мишуров, Л.Ю. Коноваленко– М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 124 с.

11. Федулов, Ю. П. Рост и развитие растений: учебное пособие / Ю. П. Федулов, В. В. Котляров, К. А. Доценко, А. Я. Барчукова, Я. К. Тосунов, Ю. В. Подушин.– Краснодар: КубГАУ, 2013. – 85 с.

12. Федулов, Ю. П. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды: учеб. Пособие / Ю. П. Федулов, В. В. Котляров, К. А. Доценко. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 64 с.

13. Фундаментальная фитопатология/С.Ф. Багирова, В.Г. Джавахия, Ю.Т. Дьяков и др. – Кранд Москва, 2012. – 508 с.

14. Чулкина В.А. Интегрированная защита растений: фитосанитарные системы и технологии: учебник / В.А.Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, Под. ред. М.С.Соколова, И.А. Чулкиной. – М.: Колос, 2009. – 670 с.

15. Чулкина В.А. Экологические основы интегрированной защиты растений: учебник / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, Под ред. М.С. Соколова, В.А. Чулкиной. – М.: Колос, 2007. – 568 с.

16. Штерншис, М. В. Биологическая защита растений: учебник / М. В. Штерншис, И. В. Андреева, О. Г. Томилова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 332 с.

17. Штерншис, М. В. Биологическая защита растений: учебник / М. В. Штерншис, И. В. Андреева, О. Г. Томилова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 332 с.

18. Штерншис, М. В. Биотехнология в защите растений: Учеб. Пособие / М.В. Штерншис, О.Г. Томилова, И.В. Андреева; Под ред. М.В. Штерншис; М-во сел. Хоз-ва Рос. Федерации. Новосиб. Гос. Аграр. Ун-т. – Новосибирск: Новосиб. Гос. Аграр. Ун-т, 2001. – 153 с.

19. Юрин, В.М. Минеральное питание, физиология стресса и адаптации растений: учебно-методическое пособие // В.М. Юрин, В.В. Демидчик и др. – Минск: БГУ, 2014. –

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Биопрепараты используемые в растениеводстве Республики Татарстан

Для биологической защиты растений от болезней в Татарстане применяются следующие препараты.

РИЗОПЛАН (ж) – бактериальный препарат на основе живых клеток культуры *Pseudomonas fluorescens*. Обработка семян: Протравливание семян в день посева или за 1-2 дня до посева, 0,5-1,0 л/т (для зерновых культур). Для опрыскивания растений в период вегетации: 0,5-1,0 л/га. **Добавляют в баковые смеси с гербицидами для профилактики стрессов при обработке в засушливых условиях.**

ПСЕВДОБАКТЕРИН-2 (ж) – бактериальный препарат на основе живых бактерий *Pseudomonas aureofaciens*. Обработка семян за 1-2 дня до посева с нормой расхода 1 л/т (для зерновых колосовых культур). Для опрыскивания растений в период вегетации: 1 л/га.

ТРИХОДЕРМИН НОВА (п) – биологический фунгицид на основе гриба *Trichoderma*. Обработка семян: Протравливание семян в день посева или за 1-2 дня до посева, 2 л/т (для зерновых культур). Для опрыскивания растений в период вегетации: 2-3 л/га. Для опрыскивания соломы после уборки: 3,0 л/га.

ОРГАМИКА S (ж) – живая культура *Bacillus amyloliquefaciens*, штамм OPS-32. Обработка семян: Протравливание семян в день посева или за 1-2 дня до посева, 0,4 л/т (для зерновых культур).

ОРГАМИКА F (ж) – культура *Trichoderma asperellum*, штамм OPF-19. Обработка клубней картофеля: Протравливание при посадке или за 1-2 дня до посадки, 2,5 л/т.

ФИТОТРИКС – биофунгицид на основе *Trichoderma M18 (Trichoderma asperellum R2)* штамм ВКПМ F-1087. Обработка семян: 0,3 л жидкого препарата разводят в чистой воде из расчета 5-10 л воды на тонну семян. Для опрыскивания растений в период вегетации: жидкую форму препарата из расчета 2 л на 1 га разводят в 300 л (при условии пониженной влажности почвы) и 200 л (при условии повышенной влажности почвы) воды.

ФИТОТОНУС – биофунгицид, на основе *Bacillus subtilis/pumilus*.  
Обработка семян: 0,3 кг (л) (под зерновые культуры), 0,3-0,5 л (под овощные культуры) и 1,0 – 2,5 л (под картофель) сухого и жидкого препарата разводят в чистой воде из расчета 5-10 л воды на тонну семян. Для опрыскивания растений в период вегетации: жидкую форму препарата из расчета 2 л (для картофеля 2,5 л) на 1 га разводят в 300 л (при условии пониженной влажности почвы) и 200 л (при условии повышенной влажности почвы) воды.

МАЙСКИЙ – микробиологический фунгицид на основе *Pseudomonas sp.* – ПГ -5. Обработка семян: 0,3 кг (л) (под зерновые культуры), 0,3-0,5 л (под овощные культуры) и 1,0 – 2,5 л (под картофель) сухого и жидкого препарата разводят в чистой воде из расчета 5-10 л воды на тонну семян. Для опрыскивания растений в период вегетации: жидкую форму препарата из расчета 2 л (для картофеля 2,5 л) на 1 га разводят в 300 л (при условии пониженной влажности почвы) и 200 л (при условии повышенной влажности почвы) воды.

АЗОРИЗИН – микробиологический препарат на основе ризосферных бактерий стимулирующего действия (*Azospirillum brasilense*). Обработка семян: семена смачивают водой (1,5 – 2 % от их веса) добавляют необходимое количество препарата из расчета 0,1 кг сухого на гектарную норму семян и тщательно перемешивают до равномерного распределения препарата.

АГРОФИЛ – микробиологический препарат на основе бактерий рода агробактериум (*Agrobacterium radiobacter 10*). Обработка семян: 0,3 кг (л) сухого или жидкого препарата разводят в чистой воде из расчета 5-10 л воды или раствора прилипателя на тонну семян. Для опрыскивания растений в период вегетации: жидкую форму препарата из расчета 2 л на 1 га разводят в 300 л (при условии пониженной влажности почвы) и 200 л (при условии повышенной влажности почвы) воды.



