

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»
Аграрно-технологический институт**

«Допустить к защите»

Директор
агробиотехнологического
департамента Пакина Е.Н

(Ф.И.О.)

«_____» _____ 2021 г.

Выпускная квалификационная работа бакалавра

Направление: «Агрономия 35.03.04»

ТЕМА: Устойчивость возбудителя ризоктониоза картофеля к фунгицидам и её роль в защите клубней картофеля при выращивании и хранении

Выполнил студент: Курчаев Михаил Леонидович

Группа: САГбд-01-17

Студ. билет № 1032173895

Руководитель выпускной
квалификационной работы

Еланский Сергей Николаевич, д.б.н.,
профессор

(подпись)

Автор _____

(подпись)

г.Москва
2021 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

АННОТАЦИЯ выпускной квалификационной работы на тему:
«Устойчивость возбудителя ризоктониоза картофеля к фунгицидам и её роль в защите клубней картофеля при выращивании и хранении»

В работе исследовано внутривидовое разнообразие (анастомозные группы) и устойчивость к химическим и биологическим фунгицидам возбудителя ризоктониоза картофеля *Rhizoctonia solani*. В обзоре литературы приведены основные сведения о технологиях возделывания и хранения картофеля, а также о возбудителе ризоктониоза.

В результате выполнения работы были получены новые данные о российских штаммах возбудителя ризоктониоза. Впервые в России на картофеле выявлены штаммы, принадлежащие к анастомозным группам AG-5 и AG-K. Впервые найдены штаммы с высокой устойчивостью к пенцикуруну. Показана способность устойчивых к пенцикуруну штаммов и штаммов группы AG-K к росту при повышенной температуре +34°C. Изучена чувствительность российских штаммов *R. solani* к фунгицидам пенцикурон, флудиоксонил, тиабендазол и бензойная кислота, а также к агентам биоконтроля: препарату на основе бактерий *Bacillus subtilis* и штаммам грибов рода *Clonostachys* и *Trichoderma*.

**Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"Peoples' Friendship University of Russia"**

ABSTRACT to the graduation work on the topic: "Resistance of the causative agent of potato rhizoctonia blight to fungicides and its role in the protection of potato tubers during cultivation and storage"

The work investigated the intraspecific diversity (anastomotic groups) and resistance to chemical and biological fungicides of the causative agent of potato rhizoctonia blight *Rhizoctonia solani*. The review of the literature provides basic information about the technologies of cultivation and storage of potatoes, as well as about the causative agent of rhizoctonia. As a result of the work, new data were obtained on Russian strains of the causative agent of rhizoctonia. For the first time in Russia, strains belonging to the anastomotic groups AG-5 and AG-K were identified on potatoes. For the first time, strains with high resistance to pencycuron have been found. The ability of strains resistant to pencycuron and strains of the AG-K group to grow at an elevated temperature of +34°C has been shown. The sensitivity of Russian strains of *R. solani* to fungicides pencycuron, fludioxonil, thiabendazole and benzoic acid, as well as to biocontrol agents: a preparation based on bacteria *Bacillus subtilis* and strains of fungi of the genus *Clonostachys* and *Trichoderma*, was studied.

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Возделывание картофеля	7
1.1 Выбор участка и размещение посевов.....	7
1.2 Выбор предшествующей культуры	7
1.3 Подготовка почвы.....	9
1.4 Выбор сорта для посадки	10
1.5 Удобрения	10
1.6 Подготовка посадочного материала	13
1.7 Посадка картофеля	13
1.8 Уход за посадками.....	14
1.9 Уборка и хранение картофеля.....	16
Глава 2. <i>Rhizoctonia solani</i>	21
2.1 Морфология <i>Rhizoctonia solani</i>	21
2.2 Заражение картофеля <i>Rhizoctonia solani</i>	22
2.3 Симптомы заражения картофеля <i>Rhizoctonia solani</i>	24
2.4 Методы защиты картофеля от <i>Rhizoctonia solani</i>	27
2.5 Фунгициды для борьбы с ризоктониозом	29
Материалы и методы	34
Результаты и обсуждение	42
Заключение	50
Выводы.....	51
Публикации по теме работы и участие в конференциях.....	52
Цитированная литература	53

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum L.*) является одной из важнейших культур, возделываемых в России, которая занимает 3 место в мире по его выращиванию, уступая по площадям, выделяемым под картофель, только Китаю и Индии. Урожай картофеля постоянно варьируется, то в большую сторону, то в меньшую. По данным мониторинга Минсельхоза, если в России было собрано в 2018 году - 234,8 ц/га, в 2019 году - 255,6 ц/га, то уже в 2020 году – 245,7 ц/га. Основная часть урожая производится в личных приусадебных хозяйствах (ЛПХ); на долю сельскохозяйственных организаций (СХО) и крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ) приходится лишь 38,7% всего полученного в России урожая картофеля.

Заражение картофеля различными патогенами – одна из основных причин низкого урожая данной культуры. Особенно от этого страдают ЛПХ, которые часто не соблюдают севооборот и другие методы защиты [6].

Согласно государственному требованию (ГОСТ 33996-2016) до посадки допускается только та партия семенного картофеля, у которой процент заражения клубней ризоктониозом составляет не более 3% (клубень считается заражённым, если 10% его поверхности заражено ризоктониозом)

Почвообитающий гриб-патоген *Rhizoctonia solani Kühn* (телеоморфа: *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk), являющийся вредителем не только для картофеля, но и многих других культур, в том числе и диких, повсеместно встречается и наносит вред в производстве картофеля во всем мире [24]. Патоген может вызывать повреждения (язвы) на тканях растений, находящихся под почвой, и вызывать появление склероций на клубнях (черная парша) и воздушных клубней в пазухах листьев. Заражение ризоктониозом снижает урожайность и товарный вид продукта.

Целями работы являются изучение внутривидового разнообразия (анатомозных групп) и устойчивости к химическим и биологическим фунгицидам возбудителя ризоктониоза картофеля *Rhizoctonia solani*.

Для достижения целей были поставлены следующие **задачи**:

1. Определение принадлежности изолятов *R. solani* к анастомозной группе
2. Тестирование восприимчивости изучаемых штаммов к химическим препаратам.
3. Изучение влияние биологических препаратов и потенциальных агентов биоконтроля на рост *R. solani*

Глава 1. Возделывание картофеля

1.1 Выбор участка и размещение посевов

Выбирая участок для посева клубней картофеля, нужно учитывать то, что картофель, если его сравнивать с большим количеством других сельскохозяйственных культур, предъявляет наиболее высокие требования к рыхлости и воздухообеспеченности почв [4].

Дерново-подзолистые и супесчаные почвы с хорошей аэрацией и плодородием являются оптимальными для возделывания картофеля. Оптимальная влажность почвы находится в пределах 70-80%, гумуса должно быть не меньше 1,8%, а подвижного фосфора и обменного калия более 150-200 мг/кг [11].

Почвы, имеющие более тяжелый механический состав, рекомендуется использовать только если они высококультурены, в них требуются большие нормы органических удобрений.

Картофель необходимо размещать на ровных участках, избегая склонов более 2-3 градусов. При посадке на склонах более 3-5 градусов резко возрастает вероятность возникновения эрозии почв [4].

Разные сорта картофеля, различающиеся сроками созревания, устойчивостью к болезням, целями использования должны размещаться не ближе 100 метров друг от друга. Благодаря данной мере снижается распространение патогенов. Также следует выбирать поля, находящиеся далеко от мест зимовки и размножения сосущих насекомых. Для усиления эффекта пространственной изоляции стоит посадить лесополосы [11].

1.2 Выбор предшествующей культуры

Для того, чтобы сохранить положительный баланс гумуса в севооборотах с высоким удельным весом картофеля на супесчаных и дерново-подзолистых почвах, нужно вносить не менее 15-20 т/га органических удобрений в виде навоза или хорошо приготовленных компостов, а если речь идёт о севооборотах

с многолетними травами, то норма их внесения должна составлять не менее 10 т/га.

Лучшими предшественниками для картофеля в севообороте являются культуры, которые оставляют в почве большое количество корневых и пожнивных остатков, что, в свою очередь, способствует очищению полей от сорняков, а также мешает накоплению и размножению в почве вредителей, возбудителей различных грибных (фитофтороз, ризоктониоз, парша обыкновенная) и бактериальных (черная ножка, кольцевая гниль) болезней.

Для хорошего урожая картофеля следует использовать севообороты преимущественно с многолетними бобовыми травами или сидеральными культурами, а доля картофеля в них должна быть не более 25-40%. Сидеральные культуры не только обогащают почву органическими веществами, но и помогают предотвратить распространение болезней и вредителей. В зависимости от выбранного типа посевных площадей, условий климата и почвы, севообороты должны иметь разные схемы чередования культур. Продолжительность ротации без многолетних трав составляет четыре-шесть лет, а с многолетними травами – пять-девять лет. Во избежание распространения болезней и вредителей, картофель возвращают в севооборот на прежнее место не ранее чем через два-четыре года. На дерново-подзолистых суглинистых почвах картофель желательнее размещать после озимой ржи или озимой пшеницы. Хорошие урожаи дает картофель и после одногодичного клевера, который подсевают под озимую рожь. На супесчаных почвах неплохим предшественником под картофель являются озимые зерновые, высеянные по люпиновому пару.

Благодаря такому выбору предшествующих картофелю культур будут удовлетворены все условия для оптимального роста клубней [11]:

- Обеспеченность элементами питания
- Улучшенный водно-воздушный режим почвы
- Уменьшение в ней числа инфекций и вредных насекомых

1.3 Подготовка почвы

Не позже, чем через 7 дней после уборки предшественника, проводят лущение: дисковыми лущильниками ЛДГ-10А, ЛДГ-5, Л-111; тяжелыми дисковыми боронами БДТ-3, БДТ-7, БДТ-10; чизельными культиваторами КЧ-5,1, КЧН-5,4, КЧН-1,8. Почвы, засоренные корневищными и корнеотпрысковыми сорняками, обрабатывают на глубину 10-12 см, а чистые – на 5-7 см.

После лущения и внесения минеральных и органических удобрений проводят вспашку. В случае сильной засоренности её проводят после внесения глифосатсодержащих гербицидов, которые, в свою очередь, используют ранней осенью, во время фазы активного накопления питательных веществ сорняками, из-за чего они полностью погибают.

Если предшественником картофеля были сидеральные культуры, то осенью на песчаных и супесчаных почвах проводят рыхление на глубину 35-40 см комбинированными агрегатами РЩ-3,5; ПРПВ-5-50; КЧ-5,1; АРК-4,5.

При достижении физической спелости почвы начинают проводят весеннюю культивацию почвы, которая выполняется под углом в 45 градусов к направлению вспашки и каждую последующую в диагонально-перекрёстном направлении к предыдущей. Первую (закрытие почвенной влаги) проводят на глубину 5-7 см с помощью культиваторов КПС-4; КПШ-8; КПЗ-9,7. Перед посадкой и нарезкой гребней на глубину до 18-20 см проводят вторую культивацию.

Весеннюю обработку не засорённых камнями суглинистых почв выполняют фрезерованием с помощью роторных машин МРП-2,1; ПАН-2,8; КВФ-2,8; КВФ-4 и др., благодаря чему в зоне образования клубней создаётся структура с мелкими комками. За 3-7 дней до посадки гребни нарезают на средних и тяжёлых почвах с помощью культиваторов КРН-4,2; КГО-3; АК-2,8 и др. Высота гребней различна для разных типов почв: на суглинистых – 12-14 см; на лёгких – 14-16 см; при избыточном увлажнении – 16-18 см от дна борозды [11].

1.4 Выбор сорта для посадки

Величина и качество урожая сильно зависят от сорта картофеля, выбранного для выращивания. Сажать нужно только тот сорт, который является районированным для региона возделывания. В наши дни в Государственном реестре селекционных достижений есть 410 сортов (всего в мире – более 4 тыс.), отечественные из них составляют 52%, зарубежные - 48%. Сорта по целям их выращивания бывают столовые, промышленные, универсальные и кормовые.

Наибольшей ценностью для фермеров обладают сорта, устойчивые к комплексу вредителей, например, Ароза, Атлет, Брянский надёжный, Великан, Витесса, Гала, Голубизна, Журавинка, Колобок, Любава, Леди Розетта, Сокольский, Удача и др.

Особое внимание следует обращать на качество семенных клубней. В настоящее время набирает объём производство качественного сертифицированного семенного картофеля отечественных сортов, но, несмотря на это, семенного материала высокого качества всё ещё не хватает. Поэтому для того, чтобы удовлетворить запросы товарного картофелеводства, появляется необходимость закупать клубни за рубежом. Объём производства сертифицированных семян зарубежных сортов, в большинстве голландских и немецких селекционеров, в России на сегодняшний день более 40%. Зарубежные сорта выбирают, обычно, из-за их устойчивости к вирусным болезням, картофельной нематоде, пригодности к переработке [15].

1.5 Удобрения

Органические удобрения обеспечивают растения необходимыми питательными веществами и помогают оптимизировать общее плодородие почвы. При длительном применении органических удобрений качество почвы становится выше. Супесчаные почвы становятся более связными, начинают лучше удерживать в пахотном слое питательные вещества и воду, суглинистые – более рыхлыми и проницаемыми для воды и воздуха.

Навоз – это одно из самых эффективных и полезных органических удобрений. Из-за большой дозы внесения лучше всего его вносить на поля, расположенные не далее 3-4 км от животноводческих комплексов, иначе внесение навоза может не окупиться. Оптимальным по содержанию органического вещества и элементов питания является полуперепревший подстилочный навоз. Наиболее эффективна норма внесения навоза 40-60 т/га, на слабокультуренных почвах она может достигать 100 т/га. При внесении навоза свыше 40 т/га его окупаемость начинает постепенно снижаться из-за высокой стоимости перевозки.

Навоз на суглинистых почвах вносят осенью, из-за того, что он разлагается достаточно медленно (как в принципе и все органические удобрения). На супесчаных почвах весеннее внесение навоза дает небольшую прибавку урожая картофеля по сравнению с осенним. Когда под картофелем заняты значительные площади, доставка и внесение навоза весной нередко приводит к запаздыванию с посадкой, что существенно снижает урожайность: задержка с посадкой на 8-10 дней – на 17-20%, а на 15-20 дней – на 22-30%. В этом случае потери превышают эффект от внесения органических удобрений, поэтому их следует вносить осенью под зябь. Эффективность навоза зависит от качества и глубины его внесения. В условиях недостатка влаги при неглубокой заделке навоза в почву (на 6-8 см), его питательные вещества используются только в течение короткого времени, а затем они становятся недоступными для растений картофеля [4].

Органические удобрения нужно распределять равномерно по площади поля. Проводить заделку следует уже через 3-5 часов после разбрасывания. Вносят органические удобрения с помощью машин МТТ-4; ПРТ-7; ПРТ-11 и др.

Запашка сидеральных культур при урожайности 20т/га равносильна внесению 30т/га органического удобрения.

Органические удобрения могут разлагаться достаточно долго, из-за чего растение не будет получать нужные питательные вещества в срок. При этом

навоз не всегда дает растениям требуемые количества элементов питания. Поэтому при возделывании картофеля их внесение часто сочетают с применением минеральных удобрений. С их помощью можно создавать в почве благоприятный баланс питательных веществ (таких как азот, фосфор, калий и т.д.) для всех типов почв, с разной обеспеченностью питательными элементами. Из минеральных удобрений растение может поглощать питательные вещества во весь период вегетации.

В зависимости от сорта картофеля и целей его выращивания, объема использованных органических удобрений, химического и гранулометрического состава почвы требуется внесение разных доз и соотношений минеральных удобрений. Для столового картофеля оптимальное соотношение азота, фосфора и калия следующее: для ранних и среднеспелых сортов – 1:0,7-0,9:1,2-1,4; для среднепоздних сортов – 1:1,0-1,2:1,3-1,6 для позднеспелых сортов – 1:1,2-1,5:2,0. Для семенного картофеля – 1,0:1,2-1,8:2,0.

Важным фактором, определяющим эффективность действия минеральных удобрений, являются сроки их внесения. Фосфорные и калийные обычно вносят осенью с заделкой в почву. Азотные вносят весной, так как при осеннем внесении они могут вымываться из почвы [4].

Минеральные удобрения обычно вносят с помощью машин МТТ-4Ш; 4У; СУ-12; АБУ-0,7; РДУ-1,5; РШУ-12; АПЖ-12 до посадки разбросным способом или с помощью питающих культиваторов в почву. Если посадка происходила с помощью сажалок с туковысевающими аппаратами, то дополнительно вносят удобрения локально в рядки при посадке. В этом случае доза внесения вразброс снижается.

Помимо основных удобрений (таких как фосфор, калий, азот) требуется вносить до посадки 30-50кг/га д.в. магния и 30-60 кг/га д.в. серы. Во время вегетации методом некорневой подкормки вносят специальные составы микроудобрений [11].

1.6 Подготовка посадочного материала

Подогретым воздухом не более чем на 1°C в сутки медленно поднимают температуру насыпи клубней до конечного значения 8...15°C. Происходит это в хранилище с активной вентиляцией в течение 10-14 дней. Для получения раннего урожая клубни ранних и среднеспелых сортов предварительно проращивают на свету при 15-18°C в течение 20-25 дней.

Осеннее и весеннее озеленение клубней способствует сохранению семенного материала, увеличению всхожести и препятствует заражению растений различными патогенами [11].

Перед тем, как клубни посадить, их протравливают химическими препаратами, разрешёнными на территории Российской Федерации. Список препаратов можно найти в «Каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению в Российской Федерации».

Предпосадочная обработка клубней – одно из самых необходимых мероприятий в защите клубней от различных заболеваний. Она не только повышает урожайность и общее качество картофеля, но позволяет снизить затраты на все последующие защитные мероприятия от различных вредителей и болезней во время вегетации растения. Протравливание клубней уничтожает инфекции на клубнях и защищает его от действия патогенов, влияние которых может усиливаться в годы с затяжной весной [3]. Несмотря на то, что на данный момент стараются использовать экологические методы защиты, химическая обработка клубней остаётся главным мероприятием в борьбе с вредными микроорганизмами [8].

1.7 Посадка картофеля

Одним из самых важных мероприятий при возделывании картофеля является выбор срока посадки. От этого зависит урожайность и качество клубней. При ранней посадке картофель достигает возрастной устойчивости до начала лета тлей-переносчиков, следовательно, будет подвержен меньшему количеству вирусных заболеваний. При определении срока сева следует

учитывать погодные условия, физические характеристики почвы и состояние самих клубней. Сажать картофель рекомендуется при температуре не ниже 7°C на глубину 8-16 см.

Влажность почвы также является ограничивающим фактором. Если она превышает 75%, то посадку не проводят, так как это способствует развитию грибов-патогенов.

Для увеличения эффективности химических обработок и подкормок во время вегетации посадку каждого сорта следует проводить в сжатые сроки, в течение 5-7 дней.

Глубина посадки зависит от типа почв и их уровня влажности. Так, например, в гребни на глубину 6-10 см сажают на суглинистых почвах с достаточным увлажнением, благодаря чему клубни быстрее прорастают и всходят. Более глубокая посадка может приводить к удлинению сроков прорастания. А вот гладкую посадку на 8-10 см используют в районах с недостаточным уровнем влаги почвы, так как при таком способе испаряется меньше воды.

На урожай влияет и густота стеблестоя. При равномерном распределении растений картофеля по полю и слабой загущенности посадок они меньше заражаются вредителями и скорость распространения заболеваний замедляется; загущенность же, наоборот, приводит к их развитию. Густота посадки зависит от нескольких факторов: от характеристик клубней, целей выращивания и от уровня окультуривания почв. Для клубней продовольственного назначения она составляет 38-50 тыс., растений на 1 га, для семенного – 42-60тыс., на 1 га. На почвах с высоким уровнем плодородия можно позволить несколько более густую посадку, при этом не требуются внесения дополнительного количества удобрений [2].

1.8 Уход за посадками

Во время вегетации уход за посадками включает: создание и поддержание микрорельефа, рыхление междурядий, проведение мероприятий по борьбе с

сорной растительностью, болезнями и вредителями, подкормки, удаление ботвы перед уборкой.

То, как будет происходить уход за посевами и какие машины будут применяться при этом, зависит от типа почвы и принятой в хозяйстве технологии. На супесчаных почвах применяют "Заворовскую" технологию (при ней гербициды обычно не используются). Через 10 дней после посадки следует провести боронование сетчатыми лёгкими зубовыми боронами, изогнутыми по профилю гребня, или ротационными рыхлителями с одновременным рыхлением междурядий стрельчатыми лапами и окучиванием ярусными двух- или трёхстрельчатыми окучниками. Вторую обработку проводят по всходам, используя те же самые инструменты. Из-за относительно низкой для растения температуры воздуха всходы могут появиться позже обычного, или же сорняки на поле могут развиваться слишком активно. В таких случаях проводят дополнительную обработку через 8-10 дней после первой. Когда растение становится высотой 25-30 см проводят первое, а перед смыканием ботвы - второе окучивание.

Голландская технология подразумевает под собой одну обработку перед тем, как появятся первые всходы и по всходам фрезерным гребнеформирователем с образованием полнообъёмных гребней трапециевидной формы с насыпанием рыхлой почвы слоем до 16-18 см и более над клубнями. Через 7 дней гребни обрабатывают гербицидом. После этого начинают проводить обработки растений против различных патогенов [15]. В фазу активного роста картофеля требуется по 4 мм воды в день. Если в почве влаги недостаточно, то необходим полив. Абсолютно все сорта можно начать орошать с первой стадии бутонизации, а прекращать его следует в начале созревания клубней, потому что перед уборкой почва должна быть сухой (Шпаар и др., 2004).

Борьба с сорняками необходима не только из-за того, что они конкурируют с растениями за пространство, свет и питательные вещества, но и из-за того, что они могут быть переносчиками различных болезней [2].

Во время вегетации растение картофеля требуется защищать от поражения грибными патогенами и насекомыми с помощью фунгицидов и инсектицидов. Фунгициды нужно использовать в определённые сроки, определяемыми фазами развития растений. При обработке от фитофтороза более важно предотвращение развития болезни, а не ее лечение. Поэтому от правильности применения фунгицида, правильной повторности обработок зависит эффективность всей системы защиты.

1.9 Уборка и хранение картофеля

Начинать уборку можно, если более 95% клубней имеет грубую кожицу, а температура воздуха превышает 12°C. Перед началом уборки проводят удаление ботвы механическим, химическим, или комбинированным способами. Для уборки используют картофелекопатель или комбайн. Обычно используют прямоточную технологию "поле - хранилище", так как она обеспечивает минимальное повреждение клубней. Картофелекопатель (рис. 1) используют для уборки особо ценного семенного картофеля, чтобы избежать потери мелких клубней, а также в те моменты, когда из-за погодных-почвенных условий комбайны не могут быть использованы. Либо если финансовое положение хозяйства не позволяет купить комбайн. В других ситуациях уборку производят прицепными (рис. 2) или самоходными (рис. 3) комбайнами.



Рис. 1. Картофелекопатель



Рис. 2. Прицепной комбайн



Рис. 3. Самоходный комбайн

Для предотвращения гнилей картофель нужно собирать осторожно, правильно настроенными машинами, так, чтобы не вызывать механических повреждений. После помещения картофеля в хранилище он должен быть просушен. Семенной картофель может быть обработан разрешенными средствами защиты растений.

Закладываемый на хранение картофель должен быть здоров, не иметь значительных повреждений. В насыпи не должно быть большого количества земли. Для хранения может быть допущен картофель, удовлетворяющий следующим условиям [2]:

- Общее количество клубней, которые поражены фитофторозом, удущьем, сухими гнилями, не должно превышать 2,0-2,5%
- Картофеля с порезами, трещинами и другими повреждениями мякоти глубиной более 5 мм и длиной более 10 мм – не более 5%
- Клубней с ободранной на половину кожурой – не больше 8-10%
- Клубни с бактериальными гнилями, а также раздавленные, подмороженные и маточные – не допускаются
- Соломы, ботвы и других растительных остатков также не допускается в хранилище.

На практике используют несколько способов хранения, которые можно объединить в два основных: хранение навалом (рис. 4) и в контейнерах (рис.5). При хранении навалом картофель может размещаться сплошным слоем по всему периметру хранилища, в закромах вместимостью от 20 до 40-60 т, с оставлением центрального проезда, и в изолированных секциях вместимостью 200-500 тонн. Хранение навалом – наиболее дешёвый способ.

Существенными недостатками навалного хранения являются: сложность размещения клубней по сортам и репродукциям, невозможность выполнить требования по поддержанию различных температурно-влажностных режимов хранения продовольственного, технического и семенного картофеля, из-за чего семенные клубни начинают рано прорастать. Однако удобство механизированной загрузки и выгрузки клубней, высокий коэффициент использования помещения хранилища являются неоспоримыми преимуществами этого типа хранения.

При секционном хранении картофель размещают в полностью изолированных секциях различной вместимости. Такой способ позволяет поддерживать соответствующий температурно-влажностный режим хранения в разных отсеках в зависимости от назначения картофеля. Низкая температура хранения в отсеках с семенным материалом предупреждает преждевременное прорастание клубней в весеннее время.



Рис. 4. Навальный способ хранения [14]

Контейнерный способ хранения наиболее дорогой, так как связан с необходимостью изготовления пластиковых или деревянных контейнеров вместимостью 450-500 кг (применяются в России) и более, а также применения различных погрузочно-разгрузочных средств для перемещения контейнеров, укладки их в штабели и разгрузки; механизмов для их разгрузки. При контейнерном способе хранения предъявляются высокие требования к качеству закладываемого на хранения картофеля. Такой способ хранения применяется семеноводческими хозяйствами и селекционными центрами, поскольку у них возникает необходимость отдельного хранения разнообразных сортов и репродукций.

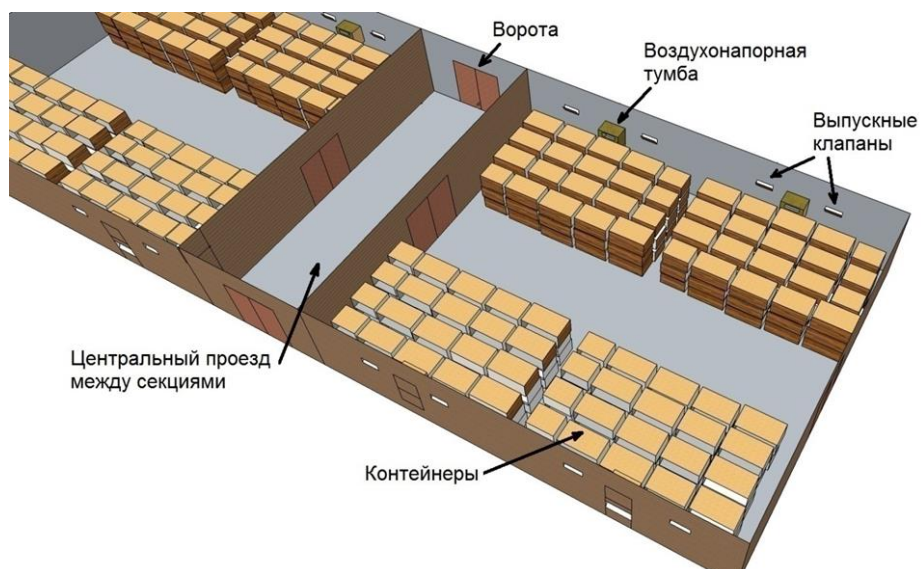


Рис. 5. Хранилище контейнерного типа [14]

Глава 2. *Rhizoctonia solani*

2.1 Морфология *Rhizoctonia solani*

Для того, чтобы идентифицировать грибы рода *Rhizoctonia* морфологическим методом, выделяют следующие признаки [41]:

- Ветви старых гиф могут расти как под прямым углом, так и под 45° углом к основным гифам
- В точке отделения от основной ветви, появляются септы
- Толщина гиф не однородна, в зависимости от возраста и среды может быть от 4,5 до 13 мкм. Длина гиф так же может быть различной, в зависимости от возраста, от 50 до 250 мкм.
- Мицелий может иметь различный цвет. От белого до желтовато-коричневого и тёмно-коричневого.
- Образование хламидоспор (их размер так же варьируется), похожих на конидии, в виде цепочек.
- Образование склероциев, которые могут иметь различную форму и размер (от 1 мм до нескольких сантиметров). Цвет склероциев варьируется от белого у молодых до различных оттенков коричневого у более зрелых. Некоторые штаммы не могут образовывать склероции [42].
- Многоядерность в растущих клетках
- Не спороносит
- Пряжки замечены не были
- Ризоморфы замечены не были
- Телеоморфная стадия относится к роду *Ceratobasidium*, *Thanatephorus*

2.2 Заражение картофеля *Rhizoctonia solani*

Rhizoctonia solani – опасный патоген картофеля, поражающий разные органы растения. Он может поражать стебли, клубни, корни, вызывать образование воздушных клубней в пазухах листьев, антоциановое окрашивание верхней части побегов (рис. 6). Заболевание встречается практически во всех регионах мира, где выращивается картофель [48]. Гриб не образует спор бесполого размножения, а роль базидиоспор в инициации заболевания до сих пор неизвестна. Основной способ распространения *R. solani* – с семенным материалом [44], [49]. В почве мицелий гриба может распространяться и заражать рядом расположенные клубни и корни. В зимний период сохранение гриба – на растительных остатках и семенных клубнях в виде склероциев. Может жить сапротрофно на растительных остатках.



Изображения взяты с сайта <http://www.kartofel.org>

Рис. 6. Проявление симптомов ризоктониоза на картофеле

Вид *Rhizoctonia solani* разделяют на 13 анастомозных групп (АГ), причем некоторые из них разделены на подгруппы. Штаммы из разных анастомозных групп вегетативно не совместимы, т.е. не могут образовывать анастомозы и обмениваться ядрами. АГ различаются патогенностью, биологическими и химическими характеристиками, спектром растений-хозяев [26].

Анастомозные группы определяют по слиянию гиф изолятов гриба. В настоящее время анализ анастомозных групп также можно проводить с помощью ПЦР-анализа [51]. К примеру, Carling et al. [27] разработали ПЦР-тесты для определения группы AG-2, а Lees et al. [39] для AG-3. Анастомозные группы различаются и по сиквенсу участка ядерных рибосомных генов [43].

Как было сказано выше, AG-группы часто связаны с каким-то определённым растением-хозяином. Так, AG-1 - с рисом, а AG-8 с зерновыми. Большинство исследований показывают, что штаммы *R. solani*, относящиеся к третьей анастомозной группе являются наиболее патогенными для картофеля, а штаммы других AG групп заражают картофель только как альтернативного хозяина [48]. К примеру, в своём исследовании Campion et al. [26] сообщили, что склероции сформировались на клубнях, выращенных в почве, зараженной AG-3, но не на клубнях, выращенных в почвах заражённых либо AG-5, либо AG-2-1. В Венесуэле изоляты AG-3 также были более вирулентными, чем AG-2-1 [28].

Однако другие AG-группы также могут вызывать заболевания картофеля. Woodhall et al. [51] обнаружили, что AG-2-1 и AG-5 тоже вызывают появление симптомов ризоктониоза на посевах картофеля в Великобритании, хотя и с гораздо меньшей частотой, чем AG-3. Подобные результаты были получены при выращивании картофеля во Франции [26].

Исследования патогенности, проведенные в закрытом грунте на юге Австралии, продемонстрировали, что все изоляты AG-3, AG-4 и AG-5 вызывали симптомы заболевания у картофеля. Изоляты AG-3 и AG-5 вызвали черную паршу и язву стебля, однако симптомы черной парши были менее тяжелые у AG-5. Тесты на патогенность для картофеля сорока южноафриканских изолятов, представляющих различные AG *R. solani*, указали, что AG-3 была наиболее вирулентной группой для картофеля и поражение клубней и стеблей. AG-4 и AG-5 вызывали значительно меньшее поражение, чем AG-3, и ни один из представителей AG-7 или AG-8 не проявил вирулентность по отношению к росткам картофеля [47].

2.3 Симптомы заражения картофеля *Rhizoctonia solani*

R. solani относят к некротрофным грибам, то есть она заражает ткани растения-хозяина, после чего утилизирует их [36]. При сильном поражении гриб вызывает гибель поражённого растения [38]. *R. solani* поражает картофель на всех этапах его развития. Гриб проявляет себя в виде черной парши клубней, гниения глазков и ростков, отмирания столонов и корней, «белой ножки» стеблей [10]. Основной вред патоген наносит во время развития всходов.

Заболевания, вызываемые *R. solani*, могут приводить как к количественным потерям урожая, так и к снижению качества клубней. Количественные потери происходят из-за заражения стеблей, столонов и корней, что непосредственно влияет на количество и размер клубней, тогда как качественные потери в основном происходят из-за деформации форм клубня и развития склеротий на поверхности [51]. Известно, что ризоктониоз картофеля вызывает потери до 30% товарного урожая [25].

Углубленная пятнистость – проявляется в виде круглых серых язв шириной от 3 до 10 мм. Формируется с конца бутонизации до конца вегетации. Бывает двух типов: открытой (рис. 7) и закрытой с растрескиванием по середине эпидермисом (рис. 8). При нарушении целостности эпидермиса можно наблюдать углубления от 2 до 12 мм (некоторые сорта могут иметь углубления вплоть до 25 мм), заполненные сухой коричневой массой (рис. 9) [21].



Рис. 7. Открытые язвы углублённой пятнистости [21]



Рис. 8. Закрытые язвы углублённой пятнистости [21]



Рис. 9. Картофель с углублённой пятнистостью в разрезе [21]

Чёрная парша (рис. 10). Самой приметной выделяющей ризоктониоз чертой является наличие черных склероциев на клубнях, однако эта форма патогена является практически безвредной. Склероции находятся на поверхности, из-за чего повреждений не происходит. Если заражённые клубни посадить в почву, то склероции прорастут. Мицелий начнёт проникать в ростки, из-за чего на них появятся красно-коричневый или чёрно-коричневые пятна, которые позже сольются и примут форму кольца. На этом этапе развития патогена растения выдёргивается из почвы с трудом. Данная характеристика и является отличительной чертой от чёрной ножки (бактериальное заболевание). Бывает, что ростки погибают ещё под землёй, до того, как вырастут достаточно для выхода на поверхность.



Рис. 10. Чёрная парша картофеля

Белая ножка – образуется в период цветения. Появляется из-за базидиальной стадии гриба - *Thanatephorus cucumeris*. Основным симптомом – бело-сероватая плёнка базидиоспор на нижней части стебля (рис. 11) [2].



Рис. 11. Белая ножка

Появление зелёных воздушных клубней в пазухах побегов, низкорослые кусты, увядание картофеля в дневные часы, скручивание листьев, деформация клубней также являются заметными симптомами ризоктониоза.

2.4 Методы защиты картофеля от *Rhizoctonia solani*

Защита картофеля от ризоктониоза предполагает под собой целый комплекс мероприятий. В современной практике стараются использовать такие методы предотвращения заражения, которые не приносят вред экологии и при этом не являются дорогостоящими, стараются наладить высокопродуктивные агроэкосистемы, которые регулируют сами себя [20].

В настоящее время, хоть и не существует полностью устойчивых к возбудителю ризоктониоза сортов, но выведены сорта, имеющие повышенную устойчивость, такие как: Янтарный, Акросия, Алена, Аспия и др., [2].

Для того, чтобы не допустить распространения патогенов, находящихся в почве, используют севооборот. Так, при повышении доли картофеля в севообороте с 12-15% до 75% существенно ухудшается фитосанитарное состояние почв. В практике сельскохозяйственных предприятий доля картофеля в севообороте обычно не превышает 30%; если не превышать данный процент, то заселенность ризоктониозом существенно снижается [20]. Возвращение картофеля на прежнее место посадки не ранее, чем через 4 года, заметно препятствует распространению не только *Rhizoctonia solani*, но и многих других патогенов (нематод, многих вирусов и бактерий, фузариоза и т.д.) [2]. Если предшествующей культурой являются рапс или горчица, то количество пропагул *R. solani* в почве значительно снижается [12]. Такой же эффект достигается при выборе таких предшественников для картофеля как люцерна, овес, вико-овсяная смесь, ячмень, костер, донник, которые снижают наличие гриба *R. solani* третьей анастамозной группы в почве до 0-5 пропагул на 100г, что в 1,4-2,2 раза ниже порога вредоносности. В то время как капуста, огурцы, кукуруза, морковь, пшеница в качестве предшественника не снизили численность популяции возбудителя ризоктониоза в почве до порога вредоносности [22].

Суглинистые почвы – наиболее благоприятные для ризоктониоза. На них развитие болезни достигало 61,3%, на лёгких почвах падало на 40-53%, самые же вредные для патогена почвы – торфяно-болотистые [10]. Дерново-

подзолистые почвы являются среднесупрессивными к ризоктониозу, в то время как выщелоченные чернозёмы – кондуктивными. Повышать супрессивность почв можно с помощью внесения органических удобрений, так как они влияют на численность сапротрофов и антагонистов. Так, введение в севооборот занятых паров приводит к снижению численности грибных и бактериальных патогенов картофеля, к повышению качества клубней и увеличению урожайности [20]. Минеральные удобрения также уменьшают вероятность заражения ризоктониозом. Так, по результатам исследования проведенным Иванюком и др., [10] было выявлено, что использование высоких доз минеральных удобрений благоприятно влияет на фитосанитарное состояние почв: вред от болезни снижается в 1,3-2 раза, а урожайность увеличивается. Причина такого влияния кроется в том, что из-за высокого количества питательных средств сапротрофные микроорганизмы размножаются активнее, подавляя развитие патогенных. Вместе с тем происходит и усиление иммунитета растений.

По результатам многочисленных исследований время посадки также является одним из факторов, влияющих на вероятность заражения ризоктониозом. Чтобы снизить активность патогена клубни нужно сажать в прогретую почву (выше +8°C).

Температура, влажность почвы и воздуха – это основные показатели, влияющие на развитие ризоктониоза на картофеле. Однако различные исследования на эту тему дают достаточно двойственные результаты, которые порой являются полной противоположностью друг друга [10].

Александров в 1996 году [1] анализируя воздействие температуры почвы на развитие ризоктониоза на ростках, пришёл к выводам, что наиболее благоприятной для развития патогена (41,7%), является 17°C, при 35°C же опускается до 2,6%, а при 40°C до нуля, в то время как при 6°C всего лишь до 20%.

Как было сказано выше, влажность почвы так же является одним из основополагающих факторов в развитии ризоктониоза. Выявлено, что при 60-

70% влажности от полной влагоёмкости, проявление патогена на ростках достигало 33,6-39%, при уменьшении влажности до 30-50% -14,2-30,7% а при повышении до 80-95% - не более 8,6%. Но от такой высокой влажности, страдал не только патоген, но и сам клубень картофеля, который не мог нормально развиваться при таких условиях.

Также нельзя забывать про показатели кислотности почвы и её гранулометрического состава. Было выявлено, что ризоктониоз может проявляться при любой кислотности. Но надо отметить, что именно уровень рН от 5,5 до 6,5, идеальный для развития картофеля, самый подходящий и для чёрной парши. При других же значениях рН появление болезни было не сильно снижено, примерно на 6,4-7,3.

При правильной глубине посадки (которая отличается для разных почв и условий увлажнения) у растения раньше ростки выходят на поверхность, из-за чего начинает образовываться хлорофилл, что приводит к повышению устойчивости к развитию ризоктониоза [10]. Проращивание клубней перед посадкой позволяет получить более ранние всходы, которые появляются раньше на 10-12 дней, что способствует повышению устойчивости к ризоктониозу. Проращивают семенные клубни на свету 20-25 дней при температуре равной 16-20°C, попадания солнечных лучей и влаги на клубни не допускается [2].

2.5 Фунгициды для борьбы с ризоктониозом

Для борьбы с болезнями картофеля, которые вызывают патогенные грибы, в том числе и с ризоктониозом, нельзя обойтись без использования фунгицидов. Спектр их применения широк. От опрыскивания почвы перед посадкой (Квадрис, Юниформ) и обработки клубней перед посевом (Витавакс 200, Кагатник, Максим, Бенорад, Альбит), до обработки во время посадки (Престиж) и протравливания (Вист) и опрыскивания перед закладкой на хранение (таблица 1).

Своевременное использование защитных препаратов является залогом успеха при получении высоких урожаев в сельском хозяйстве.

Таблица 1. Фунгициды, рекомендуемые для обработки картофеля от ризоктониоза (по данным государственного каталога пестицидов, 2021 г.)

Название препарата	Действующее вещество	Период обработки клубней
Квадрис, СК	Азоксистробин	Опрыскивание почвы при посадке клубней
Юниформ, СЭ	Азоксистробин + мефеноксам	Опрыскивание почвы при посадке клубней
Кагатник, ВРК	Бензойная кислота (в виде триэтаноламинной соли)	Обработка клубней перед посадкой, так же возможна обработка во время хранения
Престиж, КС	Имидаклоприд + пенцикурон	Обработка клубней до или во время посадки
Витавакс 200ВВ, ВСК	Карбоксин + тирам	Обработка клубней перед посадкой
Вист, шашки насыпные	Тиабендазол	Фумигация семенных клубней во время хранения
Максим, КС	Флудиоксонил	Обработка клубней перед посадкой
Бенорад, СП	Беномил	Обработка клубней перед посадкой
Альбит, ТПС	Поли-бета-гидроксимасляная кислота + магний сернокислый + калий фосфорнокислый + калий азотнокислый + карбамид	Обработка клубней перед посадкой

Применение одних и тех же химических препаратов для борьбы с ризоктониозом не только экологически небезопасно, но и неэффективно, так как может приводить к появлению резистентности у гриба-патогена [5]. Для предотвращения возникновения резистентности необходимо использовать весь арсенал интегрированной системы защиты, включающий севообороты, агротехнические мероприятия, контроль качества семенного материала,

правильное хранение и подготовку к посадке семенных клубней. Очень хорошие результаты дает включение в систему защиты биофунгицидов.

Биопрепараты обладают рядом преимуществ, по сравнению с обычными средствами [17]:

- Отсутствие резистентности со стороны патогенов
- Отсутствие пагубного влияния на почву и её микрофлору
- Стимуляция роста растения [16]
- Повышение устойчивости растения к факторам внешней среды [18]

По данным союза органического земледелия на 2021 год [17] следующие биологические препараты, эффективные при борьбе с ризоктониозом, разрешены в Российской Федерации (таблица 2):

Таблица 2. Разрешённые в России биологические фунгициды против ризоктониоза

Название препарата	Действующее вещество	Применение
Псевдобактерин-3	Живые клетки и метаболиты штамма <i>Pseudomonas</i>	Профилактика заболевания и на начальной стадии развития патогена. Обработка клубней за 1-2 дня до посадки
БисолбиСан, Ж	<i>Bacillus subtilis</i> , штамм Ч-13	Обработка почвы и клубней перед посадкой
Ризоплан, Ж	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , штамм AP- 33	Обработка клубней до или во время посадки
Алирин-Б, Ж	<i>Bacillus subtilis</i> , штамм В-10 ВИЗР	Внесение в почву или обработка листьев

Таблица 2 (продолжение). Разрешённые в России биологические фунгициды против ризоктониоза

Название препарата	Действующее вещество	Применение
Стернифаг, СП	<i>Trichoderma harzianum</i> , штамм ВКМ F-4099D	Обработка почвы до посадки или после уборки предшествующей культуры
Споробактерин, СП	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Trichoderma viride</i> , штамм 4097	Обработка клубней за неделю до посадки
Витаплан, СП	<i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ В-2604D + ВКМ В- 2605D	Обработка клубней перед посадкой или обработка во время вегетации
Глиокладин, таб	<i>Trichoderma harzianum</i> , штамм ВИЗР-18	
ПРОТЕБАК-ТР		

Для усиления положительного эффекта от применения биофунгицидов их используют совместно со стимуляторами роста и органическими или минеральными удобрениями. Такие смеси могут снижать активность ризоктониоза в несколько раз, увеличивать урожайность растения и выход здоровых клубней [13].

Опыты проводимые Гайнатулиной и др., [7]. показали, что совместное использование биологических и химических препаратов повышает эффективность защиты при борьбе с возбудителем ризоктониоза и сдерживает его распространение. Так, одновременное внесение ТМТД с опрыскиванием растений Споробактерином (в другом варианте опыта ТМТД + Трихоцин), снижало в среднем на 14,5 % степень развития ризоктониоза на стеблях, а распространенность болезни на растениях – на 51,2 % по сравнению с контролем. Биологическая эффективность использования ТМТД + Споробактерин или ТМТД + Трихоцин составила соответственно 83,6% или

89,6%. Увеличенная эффективность от действия препаратов так же приводила к повышению урожайности картофеля и высокой сохранности клубней при хранении.

Правильная система защиты позволяет получить высокий урожай качественных и красивых клубней.

Материалы и методы

Образцы пораженных ризоктониозом клубней картофеля были собраны в период с 2012 года по 2020 год в разных регионах России, а также в Германии и Австралии (рис. 12, таблица 3). В сборе образцов, выделение чистых культур и анализе полученных штаммов принимали участие М.М. Ярмеева, С.Н. Еланский, И.С. Проничева, Е.М. Чудинова.

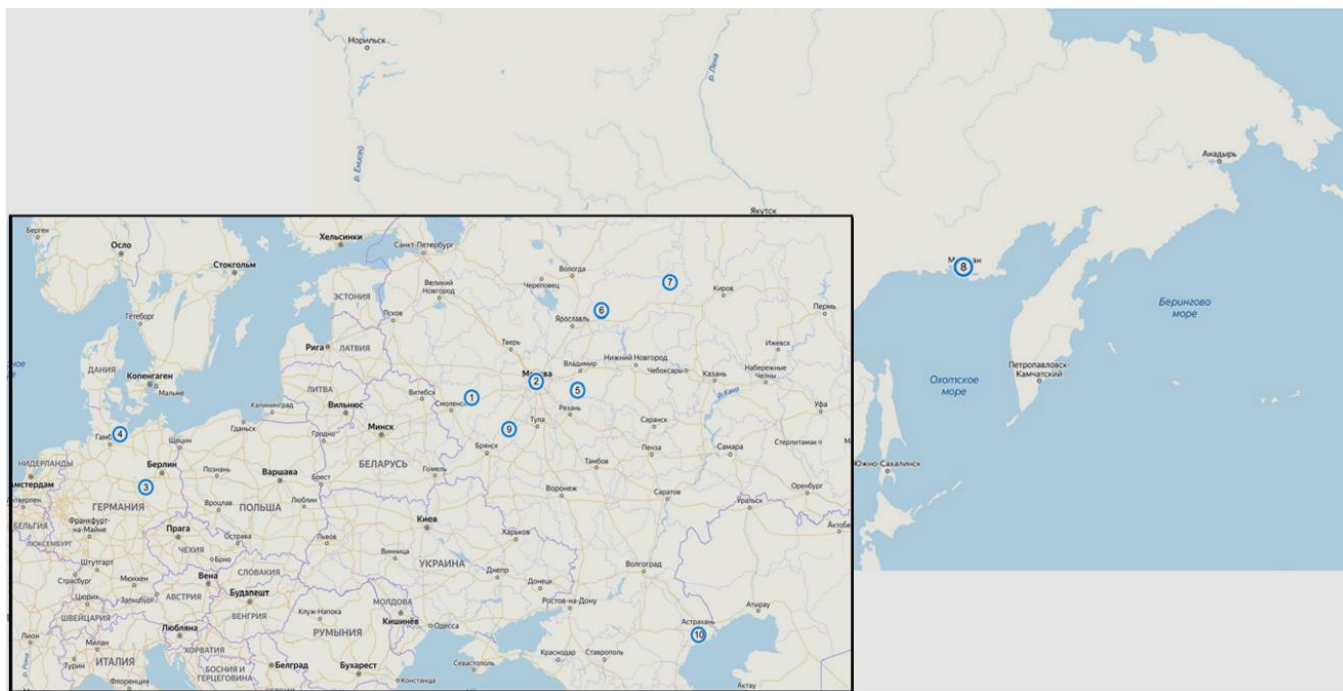


Рис. 12 Места сбора поражённых ризоктониозом образцов картофеля

Таблица 3. Места сбора пораженных ризоктониозом органов картофеля и количество выделенных в чистые культуры изолятов

Регион	Точка на карте (рис.1)	Заражённая часть растения*	Год	Сорт	Количество выделенных изолятов <i>R. solani</i>
Смоленская область	1	КК	2012	Удача	10
Московская область	2	КК	2012	Юбилей Жукова	2
Московская область	2	КК	2013	Санте	11

Таблица 3 (продолжение). Места сборов поражённых ризоктониозом органов картофеля и количество выделенных в чистые культуры изолятов

Регион	Точка на карте (рис.1)	Заражённая часть растения*	Год	Сорт	Количество выделенных изолятов <i>R. solani</i>
Германия, Поле 1	3	КК	2013	Дельфин	2
Германия, Поле 1	3	КК	2013	Эстрелла	2
Германия, Поле 2	4	КК	2013	Сафия	1
Костромская область, поле 1	6	КК	2014	Манифест	6
Владимирская область	5	КК	2014	Ред Скарлет	4
Костромская область, Поле 2	7	КК	2017	Неизвестно	5
Магаданская область	8	КК	2017	Неизвестно	2
Калужская область	9	КК	2018	Романо	1
Московская область	2	КК	2018	Сафия	1
Московская область	2	КК	2019	Гала	2
Астраханская область	10	СК	2020	Неизвестно	2
Австралия, Виктория	-	КК	2020	Неизвестно	2

*КК – клубень картофеля

СК – стебель картофеля

Выделение чистых культур *R. solani* проводили из находящихся на поверхности клубня склероциев с использованием методом влажных камер. Фильтровальную бумагу предварительно смачивали стерильной водой и клали на протёртые спиртом стёкла. Сверху на них помещали заранее промытый от земли и нарезанный картофель. Через 2-5 дней проводили выделение изолятов гриба с поверхности клубня. Для этого иглой под бинокуляром брали с поверхности картофеля чёрные склероции и помещали их на питательную среду (сусло-агар или картофельно-глюкозный агар), в которую был добавлен антибиотик пенициллин (бензилпенициллина натриевая соль, 1000 ед/мл).

Для исследования мы использовали только те изоляты, которые по морфологическим характеристикам подходили под описание *R. solani* (морфология мицелия, многоядерные (двухядерные) клетки, образование склероциев). В общей сложности было проанализировано 46 изолятов *R. solani*.

Для определения анастомозной группы (AG) изучаемых штаммов (использовалась последовательность участка ДНК ITS1-5,8S-ITS (рис. 13), мы проводили выделение ДНК и ПЦР. Для извлечения ДНК мицелий выращивали на гороховой среде (для получения которой 170 г замороженного гороха варили 10 минут в дистиллированной воде, после её пропускали через марлю и автоклавировали 30 мин при 1 атм) и измельчали в жидком азоте. Далее мицелий помещали в пробирки, в которые добавляли по 700 мкл СТАВ буфера и встряхивали, после чего их держали при 65°C один час. Затем 500 мкл охлаждённого хлороформа добавляли в пробирки, которые центрифугировали при 13000 об/мин в течение 10 минут, и полученные супернатанты переносили в 1,5 мл микроцентрифужные пробирки, в которые добавляли 400 мкл изопропанола и 70 мкл 5 М ацетата калия (рН 4,6), после чего их снова встряхивали и центрифугировали при 13000 об/мин при комнатной температуре в течение 10 минут. Затем супернатанты удаляли из пробирок, добавляли в них 150 мкл 70% этанола и центрифугировали при 13000 об/мин при комнатной температуре в течение 5 минут. Супернатанты опять удаляли, и полученные гранулы сушили на воздухе при комнатной температуре до полного

выветривания спирта и ресуспендировали в 50 мкл стерильной воды [37]. Для амплификации были использованы ITS1 и ITS4 праймеры, при секвенировании в обоих направлениях были использованы эти же праймеры [50]. Полученные сиквенсы были депонированы в базе Genbank.

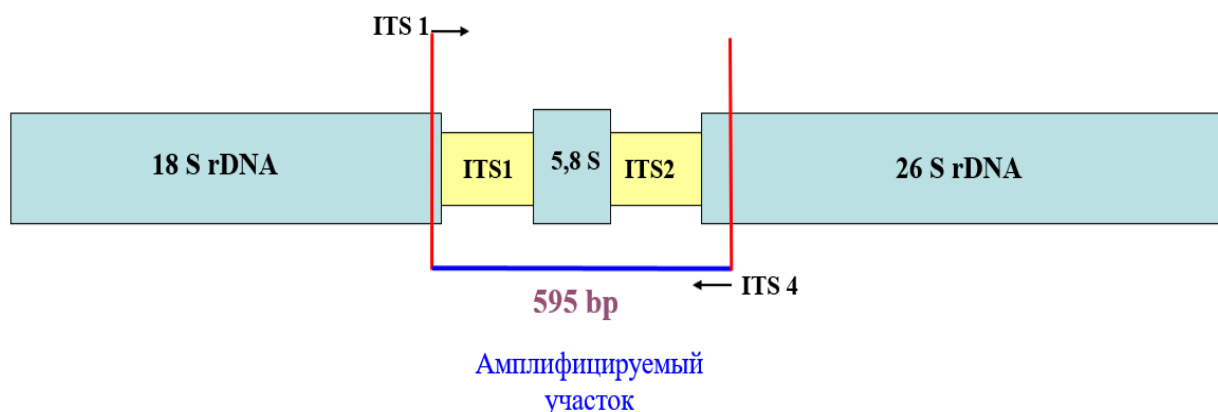


Рис. 13. Амплифицируемый участок

Концентрацию ДНК определяли на спектрофотометре NanoDrop 2000 (Thermo Scientific, США) путем измерения оптической плотности при 260 нм. ПЦР-ампликоны секвенировали с помощью набора для циклического секвенирования BigDye® Terminator v.3.1 (Applied Biosystems, США) и автоматического секвенатора Applied Biosystems 3730 xl (Applied Biosystems, США). Каждый фрагмент секвенировали в обоих направлениях с использованием тех же праймеров, которые описаны выше. Последовательности контигов использовали для идентификации грибковых изолятов AG на основании сходства с использованием программы BLASTn (версия 2.0, Национальные институты здравоохранения США NCBI, Бетесда, Мэриленд, США). Нуклеотидные последовательности выравнивали с использованием MEGA 7 (алгоритм ClustalW) с последующей проверкой вручную и редактированием, если необходимо. Филогенетический анализ был выполнен методом максимального правдоподобия в MEGA 7. Метод начальной загрузки был выполнен в 1000 повторений. Справочные последовательности *R. solani* были получены от Fiers et al. [30], Muzhinji et al. [40], Yang et al. [52] и базы данных GenBank [54].

Для определения анастомозов группы тестируемых изолятов использовали ITS-последовательности. Этот метод дает те же результаты, что и ранее разработанный метод разделения изолятов *R. solani* на AG на основе реакций анастомоза [43].

Средами, на которых изучали влияния химических и биологических фунгицидов, являются картофельно-глюкозный агар и сусло-агар. Для приготовления картофельного агара использовался картофельный отвар, с добавлением глюкозы (20 г/л) и агара (12 г/л), после чего полученную массу стерилизовали в автоклаве при давлении в 1,5 атм, в течение 30-40 минут. Для приготовления сусло-агара использовали неохмеленное 7 % пивное сусло, куда добавили 12 гр на литр порошка агара, который растворили при нагревании, стерилизовали так же в автоклаве при 0,5 атм в течение 30 минут.

Фунгицид для тестирования добавляли для достижения следующей конечной концентрации в среде (по действующему веществу (ДВ)) 0,01, 0,1, 1, 10, 100, 1000 мг/л. В качестве контроля использовали среду без добавления фунгицида. Для изучения влияния на *R. solani* были выбраны самые распространённые химические фунгициды, используемые для защиты картофеля при возделывании и хранении в России (таблица 4): Максим (ДВ - флудиоксонил), Кагатник (бензойная кислота), Престиж (Пенцикурон), Текто (Тиабендазол). Мицелиальный блок сажали в центр чашки Петри со средой, все варианты опыта проводились в двух повторностях. Далее посевные чашки инкубировали при $24 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 4 дней, и измеряли под перпендикулярным углом диаметр выросшей грибковой колонии, усредняли полученные результаты, на основании которых рассчитывали показатель ЕС50 (концентрацию фунгицида, в 2 раза замедляющую скорость роста колонии гриба относительно контроля).

Таблица 4. Описание фунгицидов

Действующее вещество (д.в)	Химическая формула	Торговое наименование
Пенцикурон	[3-фенил-1-(4-хлорбензил)-1-циклопентилмочевина]	Престиж® Концентрат эмульсии 150 г/л (Bayer Crop Science)
Флудиоксонил	[4-(2,2-дифтор-1,3-бензодиоксол-4-ил)-пиррол-3-карбоновой кислоты]	Максим® Концентрат суспензии 25 г/л (Syngenta)
Бензойная кислота	Бензойная кислота	Кагатник® Водорастворимый концентрат 300 г/л (Shchelkovo Agrohim)
Тиабендазол	[2-(4-тиазолил)-1H-бензимидазол]	Текто® Водорастворимый концентрат 500 г/л (Syngenta)

Максим – контактный фунгицид для протравливания семенных клубней картофеля перед посадкой и перед закладкой на хранение. Действующим веществом является флудиоксонил. Флудиоксонил относится к фенилпирролам, классу несистемных фунгицидов широкого спектра действия [33]. Фенилпиррольные фунгициды являются производными антибиотика пиррольнитрина, синтезируемого некоторыми бактериями рода *Pseudomonas* [34]. Согласно исследованиям, флудиоксонил препятствует росту мицелия и прорастанию конидий [30] из-за того, что он нарушает функции клеточных мембран [9].

Кагатник – фунгицид широко действия, использующийся против гнилей при хранении картофеля (обработка перед закладкой на хранение), а также для

обработки клубней при посадке. Действующим веществом является триэтаноламинная соль бензойной кислоты.

Текто – контактный фунгицид. Действующее вещество – тиабендазол. Применяется для защиты при хранении в виде пироженных шашек (Вист), а также тиабендазол применяется в качестве компонента препарата Имикар, используемого для предпосевной обработки клубней. С помощью шашек Вист проводят обработку помещений хранилища и клубней при хранении. Для этого поджигают шашки в вентиляционном канале хранилища и запускают внутреннюю циркуляцию воздуха на несколько часов. Тиабендазол – бензимидазольный фунгицид, который связывается с грибным белком β -тубулином и ингибирует деятельность микротрубочек (Еланский и др., 2018). К нему отмечено возникновение мутаций устойчивости у разных групп фитопатогенных грибов, в том числе у возбудителя серебристой парши картофеля *Helminthosporium solani* [29].

Престиж – контактный фунгицид, применяемый до и во время посадки клубней картофеля. Действующим веществом является пенцикурон [19]. Высокоустойчивых штаммов *R. solani* до проведения нашей работы не было отмечено.

Также нами было проверено влияние высоких температур на рост штаммов *Rhizoctonia solani*. Для этого небольшие блоки мицелия исследуемых изолятов сажали в центр чашки Петри с сусло-агаром и инкубировали при $+34\pm 1^\circ\text{C}$ (эксперимент) и $+24\pm 1^\circ\text{C}$ (для контроля) в течение 5 дней в темноте. После инкубационного периода измеряли диаметр колоний (в двух направлениях).

Для проверки эффективности агентов биоконтроля использовали штамм *Bacillus subtilis* (препарат Картофин), а также штаммы родов *Clonostachys* (штаммы 21-58 и 21-43) и *Trichoderma* (штаммы 1 и 2). Штамм *R. solani* сажали на чашку Петри с агаризованной средой, и в ту же чашку на расстоянии трети от размера чашки наносили суспензию спор гриба – потенциального агента биоконтроля или суспензию бактерий *Bacillus subtilis*. Для бактерии мы

оценивали радиус роста *R. solani* без влияния агента биоконтроля и радиус, направленный в сторону агента биоконтроля, и сравнивали их (рис. 14). Для *Clonostachys* sp. и *Trichoderma* sp. оценивали микотрофную активность.



- 1 – Радиус *R. solani* без влияния агента биоконтроля (R1)
- 2 – Радиус в направлении агента биоконтроля (в самом узком месте) (R2)

Рис. 14. Измерение роста *R. solani* для оценки эффективности штамма *Bacillus subtilis*

Результаты и обсуждение

В общей сложности нами было проанализировано 55 изолятов *R. solani*. По анализу участка ITS1-5,8S-ITS2 пятьдесят один из них был отнесен к многоядерным, а два - к двужядерным представителям (рис. 15). Среди изучаемых многоядерных представителей сорок девять относились к AG-3 (самая распространённая анастомозная группа на картофеле) и два изолята - к AG-5 (один из Московской и один из Смоленской областей). AG-5 - редкая на картофеле группа. Ранее была встречена на картофеле в Китае и Франции. Два изолята из пораженных стеблей картофеля, собранных в Астраханской области, были идентифицированы как двухъядерные и относились к AG-K группе. AG-5 и AG-K в России и Белорусии на картофеле найдены впервые. Все сиквенсы депонированы в Genbank NCBI, номера депонированных последовательностей приведены на рис. 15.

Для изучения устойчивости *R. solani* к фунгицидам было выбрано сорок шесть изолятов. Абсолютно все штаммы были чувствительны к тиабендазолу ($EC_{50} < 7,2$ мг/л) (таблица 5). К бензойной кислоте устойчивость не была такой однозначной, показатель EC_{50} варьировал от 5,38 до 362 мг/л.

К флудиоксонилу все штаммы были чувствительны ($EC_{50} < 1,5$ мг/л), но изоляты R12S2PT32, R13M2PT1, R12M1PT3 отличались более высокими показателями EC_{50} : - 7,6 мг/л; 20,0 мг/л; 41,7 мг/л соответственно. Данные штаммы были собраны в разных регионах: 2 в Московской области и 1 в Смоленской области. После длительного (1 месяц и более) культивирования на чашках Петри с флудиоксонилом у нескольких штаммов развиваются резистентные участки. Такой же эффект наблюдался при длительной инкубации с бензойной кислотой.

Почти все штаммы оказались чувствительными (максимальный $EC_{50} = 5,13$ мг/л) (рис. 16), но три изолята (два, принадлежащие к группе AG-5 (R12S2PT7 и R13M2PT1) и один из AG-3 (R14VMrs6)) имели очень высокую устойчивость к пенцикуруну ($EC_{50} > 1000$ мг/л) (рис. 17). Устойчивые штаммы

также происходили из разных областей: Московской, Смоленской и Владимирской.

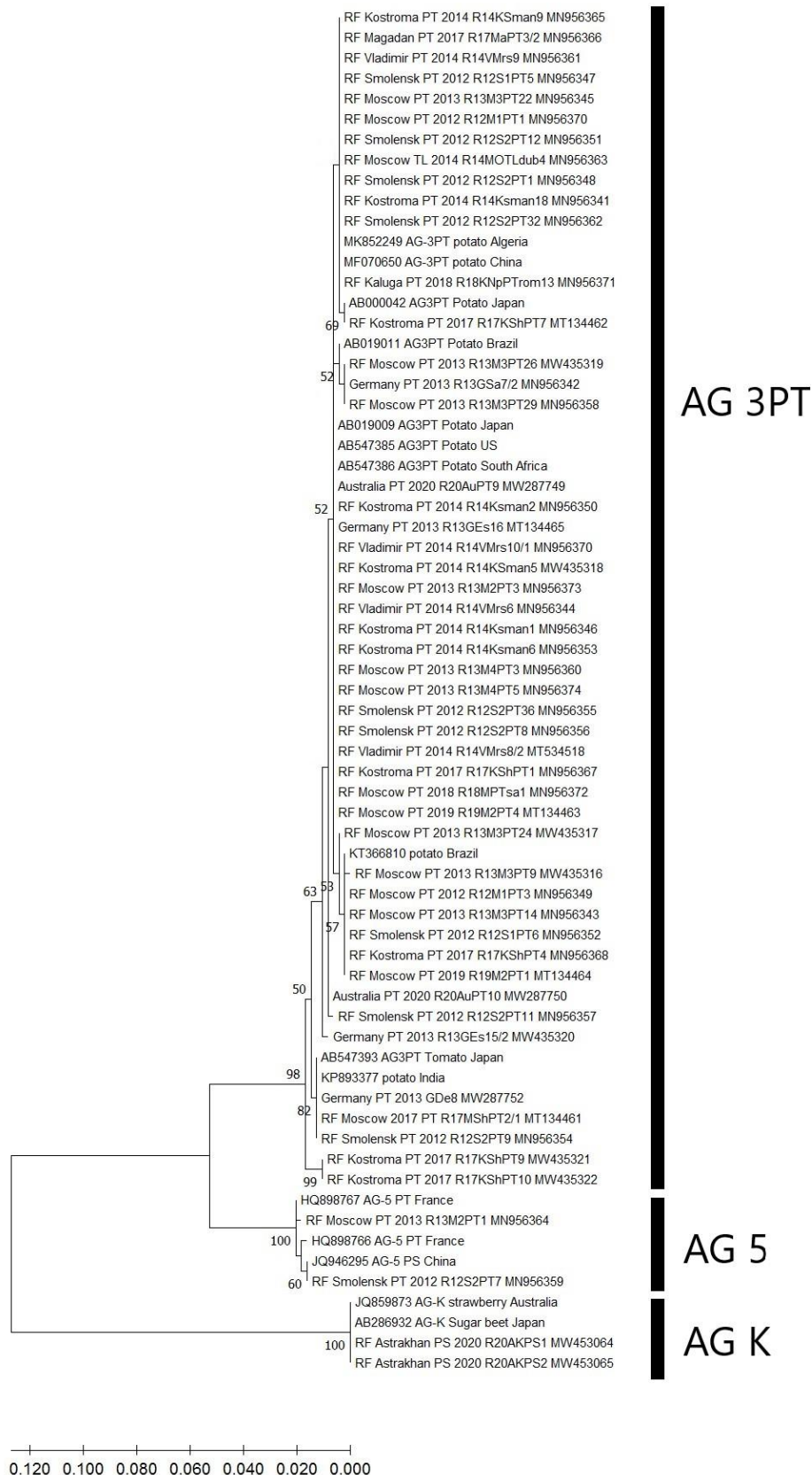


Рис. 15 Дендрограмма сходства последовательностей ITS1-5,8S-ITS2. Построена по методу максимального подобия (Maximum likelihood)

Таблица 5. Чувствительность *R. solani* к химическим фунгицидам

Штамм	Флудиоксонил ЕС₅₀, мг/л	Пенцикурон ЕС₅₀, мг/л	Бензойная кислота ЕС₅₀, мг/л	Тиабендазол ЕС₅₀, мг/л
R12S2PT1	0.01	0.01	61.21	4.23
R12S2PT7	0.02	>1 000.00	60.63	0.52
R12S2PT8	0.01	0.01	67.86	4.88
R12S2PT9	0.02	0.02	41.30	7.14
R12S2PT11	0.01	0.02	7.80	4.84
R12S2PT12	0.01	0.02	7.22	4.68
R12S2PT32	7.6	0.02	60.29	5.38
R12S2PT36	0.01	0.02	5.64	0.76
R12S1PT5	0.01	0.01	53.66	5.05
R12S1PT6	0.01	0.01	362.50	0.56
R12M1PT1	0.01	0.01	6.47	0.58
R12M1PT3	41.7	0.02	219.12	4.69
R13M3PT14	0.01	0.01	66.74	3.20
R13M3PT22	0.05	0.02	50.00	3.25
R13M3PT29	0.45	1.09	6.25	0.68
R13M2PT1	0.03	>1 000.00	10.00	6.21
R13M2PT3	20.0	0.02	55.00	0.12
R13M4PT3	0.01	0.02	6.38	0.63
R13M4PT5	0.04	0.01	36.54	0.53
R13GDe8	0.07	0.25	61.84	0.56
R13GDe21	1.50	0.02	87.14	4.55
R13GEs15	0.07	0.07	5.56	0.65
R13GEs16	0.06	0.03	93.57	2.50
R13GSa7/2	1.04	0.05	49.60	0.58
R14KSman1	0.05	0.06	5.56	5.50

Таблица 5 (продолжение). Чувствительность *R. solani* к химическим фунгицидам.

Штамм	Флудиоксонил EC₅₀, мг/л	Пенцикурон EC₅₀, мг/л	Бензойная кислота EC₅₀, мг/л	Тиабендазол EC₅₀, мг/л
R14KSman2	0.95	0.06	37.00	3.21
R14KSman6	1.15	0.07	250.0	0.57
R14KSman9	0.02	1.07	51.54	0.51
R14KSman18	1.33	0.06	55.00	0.48
R14VMrs6	0.35	>1 000.00	55.67	0.61
R14VMrs8/2	0.05	0.02	6.15	0.57
R14VMrs9	0.55	1.08	5.38	0.60
R14VMrs10/1	0.05	0.06	34.55	3.21
R17KShPT1	0.06	0.05	333.04	5.00
R17KShPT4	0.06	0.11	18.08	3.48
R17KShPT7	1.04	0.05	27.56	3.94
R17MShPT2/1	0.06	0.08	6.51	0.59
R17MaPT3/2	0.05	0.08	5.86	0.62
R18KNpPTrom13	0.08	0.14	7.13	0.67
R18MPTsa1	0.05	5.13	6.61	0.58
R19M2PT1	1.08	0.01	5.98	0.50
R19M2PT4	1.03	0.00	6.31	0.55
R20AuPT9	0.05	0.07	7.08	0.50
R20AuPT10	0.05	0.07	5.55	0.55
R20AKPS1	0.66	4.50	71.29	0.58
R20AKPS2	0.66	2.50	65.89	0.52

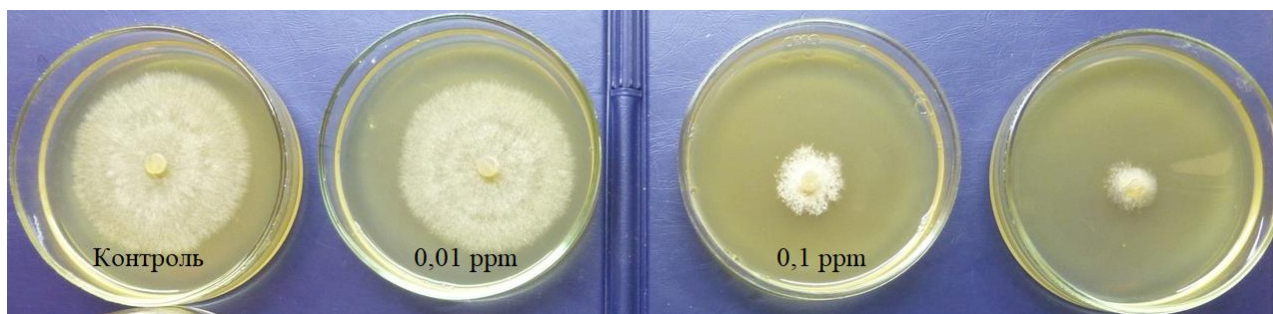


Рис. 16 Пример штамма R14KSman1 чувствительного к пенцикуруну

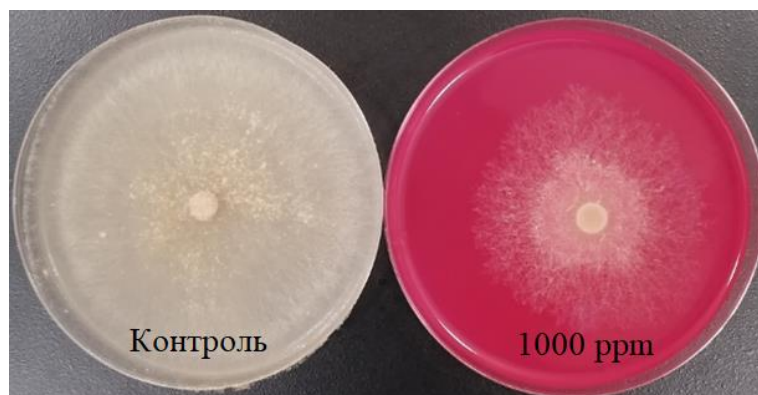


Рис. 17. Пример высокой устойчивости Штамма R13M2PT1

Был изучен рост 46 изолятов *R. solani* при температурах +24°C и +34°C. Диаметр колоний при обычной температуре (+24°C) через 48 часов инкубации составлял от 24 до 59 мм. Среди многоядерных изолятов только три, устойчивые к пенцикуруну, смогли расти при высокой температуре (+34°C). Оба двухъядерных изолята *R. solani* росли как при +34°C, так и при +24°C. После недели инкубации роста чувствительных многоядерных изолятов не зарегистрировано.

Анализ грибных и бактериальных агентов биоконтроля показал эффективность всех изучаемых штаммов. Так, *Bacillus subtilis* оказался эффективен, его антагонистическая активность, выражалась в ингибировании роста колонии *R. solani* и образовании зоны, свободной от роста бактерии. Интересно, что разные исследованные штаммы *R. solani* по-разному реагировали на присутствие *Bacillus subtilis*. Так, рост штаммов R14KSman6 и R13M2PT3 сильно ингибировался бактерией, а R13GEs16 в присутствии бактерии рос почти как на контроле.

Микофаг *Clonostachys* sp. практически не влиял на рост колонии, но после срастания колоний рос поверх мицелия *R. solani*. Взаимодействие *Clonostachys*

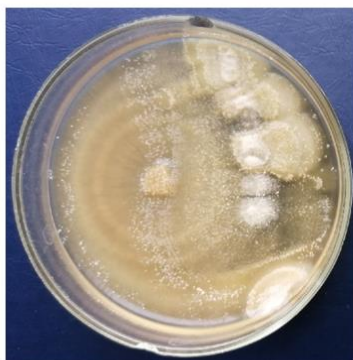
sp с AG-5 отличалось от взаимодействия с AG-3 и AG-K. После соединения колоний *R. solani* начинал расти на *Clonostachys* sp (рис. 18).

Штамм группы AG-3



24 день

Clonostachys паразитирует на штамме группы AG-3



35 день

Штамм группы AG-5



24 день

Штамм группы AG-5 успешно сопротивляется

Рис. 18. Рост *Clonostachys* на колонии *R. solani*

Trichoderma, наоборот, ограничивала рост, но при этом ее мицелий после срастания колоний начинал расти поверх *R. solani* (рис. 19)



3 день



7 день

Trichoderma ограничивает рост и паразитирует на штамме группы AG-3

Рис. 19. Действие *Trichoderma* на изолят *R. solani* группы AG-3

Во всем мире зарегистрировано преобладание на картофеле подгруппы *R. solani* AG-3 PT, инфицирующей картофель. В России к этой группе относилось

и большинство тестируемых изолятов, но между ними были обнаружены некоторые генетические различия. Практически все изоляты, в том числе собранные на Дальнем Востоке России, в Австралии и Германии, имели идентичные (или почти идентичные) последовательности с представленными в NCBI штаммами AG-3 PT из Японии, Китая, Алжира, Бразилии и Южной Африки.

Последовательности двух изолятов AG-5 различались на 2 нуклеотида (сходство 99,05%), они имели 99,2-100% генетического сходства с эталонными изолятами AG 5 из Китая и Франции [53], [35]. Последовательности двух штаммов AG-K группы идентичны; они были подобны последовательностям изолятов AG K из Австралии (выделены из клубники) и Японии (из сахарной свеклы).

Наши результаты показывают, что последовательности ITS1 более вариабельны, чем последовательности ITS2. Большинство обнаруженных неоднозначностей были стандартными вариабельными сайтами, обнаруженными французскими учеными [35], в нескольких изолятах были обнаружены атипичные замены нуклеотидов. В 5,8S рРНК вариаций в составе нуклеотидов не обнаружено.

Ранее сообщалось, что некоторые изоляты из AG-5 имеют более высокий уровень устойчивости к пенцикуруну по сравнению со штаммами других групп AG. Среди французских изолятов отмечены штаммы группы AG-5 с повышенным уровнем устойчивости к пенцикуруну (EC_{50} до 5 мг/л) [26]. Пенцикурун, разработанный специально для борьбы с *R. solani*, успешно применяется в сочетании с другими химическими средствами в составе различных препаратов (Prestige, Monseren). Для этого химического агента был зарегистрирован высокий уровень эффективности [45], [31]. Впервые обнаружены высокоустойчивые к пенцикуруну штаммы AG-5 и AG-3 ($EC_{50} > 1000$ мг/л).

Флудиоксонил обеспечивает эффективный контроль против всех изолятов *R. solani*, аналогичные результаты были получены в Канаде [23], Тунисе [32],

Южной Африке [40]. Флудиоксонил оказался эффективным против ризоктониоза в полевых условиях по сравнению с другими фунгицидами [23], [46]. Поскольку на картофеле преобладают чувствительные изоляты, целесообразно применение флудиоксонила и пенцикурона в системах защиты картофеля в России.

Особое внимание следует обратить на способность штаммов расти при высокой температуре. Учитывая развитие выращивания картофеля и других растений пасленовых в южных регионах [30], устойчивые к температуре и пенцикуруну агрессивные штаммы *R. solani* могут вызвать большие потери урожая картофеля. Между тунисскими изолятами были обнаружены три штамма AG-3, которые могли расти при высокой температуре (30°C), но были чувствительны к пенцикуруну [32].

Заключение

Исследования показали наличие в российских полевых популяциях особо опасных изолятов *R. solani*: устойчивых к фунгицидам и высокой температуре, агрессивных к картофелю. Впервые выявлены штаммы, принадлежащие к группам AG-5 и AG-K. Для предотвращения болезни, снижения потерь урожая и улучшения качества семян и клубней картофеля требуется постоянный контроль за вредоносными штаммами среди населения регионов.

Выводы

- Среди российских штаммов *R. solani* выявлены принадлежащие к анастомозным группам AG-3, AG-5, AG-K. Группы AG-5 и AG-K обнаружены в России впервые.
- Флудиоксонил, пенцикурон и тиабендазол эффективны против подавляющего большинства изученных штаммов *R. solani*.
- Были выявлены 3 штамма с очень высокой устойчивостью к пенцикурону.
- Ингибирующий эффект бензойной кислоты различался для разных штаммов. В целом бензойная кислота оказалась менее эффективной, чем прочие проанализированные химические фунгициды.
- Биологический препарат Картофин на основе *B. subtilis* показал эффективность против возбудителя ризоктониоза, но его действие было штаммоспецифично, что требует дальнейшего изучения.
- Протестированные штаммы родов *Trichoderma* и *Clonostachys* перспективны для использования при создании биопрепаратов против *R. solani*

Публикации по теме работы и участие в конференциях

1. Yarmeeva M.M., Kurchaev M.L. et al. Anastomosis groups and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia solani* strains isolated from potato in Russia // Journal of plant diseases and protection. 2021. In press.
2. Участие в XIII Международной научно-практической конференции молодых учёных «Инновационные процессы в сельском хозяйстве»

Цитированная литература

1. Александров О. Т. Особенности проявления ризоктониоза картофеля в Беларуси и разработка мер борьбы с ним: 06.01.11/ Белор. науч.-исслед. Ин-т защиты раст. – Прилуки Минской обл., 1996 – 158 с.
2. Анисимов Б. В. и др. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. – М.: Картофелевод, 2009. – 272 с.
3. Васильева С. В. и др. Роль предпосадочной обработки клубней в борьбе с болезнями картофеля //Земледелие. – 2018. – №. 5.
4. Волков Д. С., Воронин А. Н., Гусев Г. С. Современные технологии производства картофеля в условиях Нечерноземной зоны. – 2013.
5. Вошедский Н. Н., Сорокин Н. С. Антирезистентная программа в действии //Защита и карантин растений. – 2003. – №. 5. – С. 12-14.
6. Гадельшин Р. Р., Гайнутдинов И. Г. Перспективы развития производства и переработки картофеля в России //Вектор экономики. – 2020. – №. 6. – С. 30-30.
7. Гайнатулина В. В., Хасбиуллина О. И. Эффективность применения биопрепаратов и фунгицидов в борьбе с ризоктониозом картофеля //Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2020. – №. 4. – С. 93-99.
8. Говоров Д. Н., Живых А. В., Шабельникова А. А. Применение пестицидов. Год 2016-й //Защита и карантин растений. – 2017. – №. 5. – С. 3-4.
9. Еланский С. Н. и др. Устойчивость *Helminthosporium solani*, *Colletotrichum coccodes* и *Rhizoctonia solani* к фунгицидам, используемым для обработки клубней картофеля //Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – №. 3.
10. Иванюк В. Г. и др. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. – Мн.: Белпринт, 2005. – 696 с.

11. Иванюк В.Г и др. Настольная книга картофелевода / под ред. С.А. Турко; РУП «Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». – Минск, Рэйплац, 2007. – 191 с.
12. Малюга А. А. и др. Влияние предшественников и предпосадочного протравливания семенных клубней на численность возбудителя ризоктониоза картофеля в почве //Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – №. 3.
13. Пусенкова Л. И. и др. Биопрепараты для защиты картофеля от болезней //Защита и карантин растений. – 2010. – №. 10.
14. Пшеченков К. А., В. Н. Зейрук, С. Н. Еланский, С. В. Мальцев, С. Б. Прямов. Хранение картофеля. М.: Агроспас, 2016. 128 с.
15. Пшеченков, К. А. Технологии выращивания и уборки картофеля / К. А. Пшеченков, В. Н. Зейрук, С. В. Мальцев // Развитие новых технологий селекции и создание отечественного конкурентоспособного семенного фонда картофеля : Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 05–07 июля 2016 года / Под редакцией С.В. Жеворы. – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха", 2016. – С. 278-299.
16. Ряховская Н. И., Гайнатулина В. В., Макарова М. А. Эффективность биофунгицидов против ризоктониоза на картофеле в условиях Камчатского края //Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – №. 3. – С. 25-27
17. Союз органического земледелия, 2021
18. Черемисин А. И., Якимова И. А. Влияние стимуляторов роста и биофунгицидов на продуктивность микрорастений картофеля //Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №. 3.
19. Чувелев Е. В., Пузырьков П. Е., Дорожкина Л. А. Влияние циркона и силипланта на содержание препарата престиж в растениях картофеля //Защита и карантин растений. – 2013. – №. 12.

20. Шалдяева Е. М. Экологическое обоснование систем мониторинга и защиты картофеля от ризоктониоза в Западной Сибири //Автореф. докт. дисс. Краснодар. – 2007.
21. Шалдяева Е. М., Пилипова Ю. В., Шатунова М. П. Ризоктониоз картофеля в северной лесостепи приобья П. Углубленная пятнистость //защиты растений. – 2005. – Т. 3. – С. 72.
22. Шалдяева Е.М. Развитие ризоктониоза картофеля при повторном возделывание культуры /Е.М. Шалдяева, Ю. В. Пилипова // Вредители и болезни и растений Междунар сб науч тр -Новосибирск, 2001 - С 61-63
23. Bains P. S. et al. Rhizoctonia disease of potatoes (*Rhizoctonia solani*): Fungicidal efficacy and cultivar susceptibility //American Journal of Potato Research. – 2002. – Т. 79. – №. 2. – С. 99-106.
24. Banville G. J., Carling D. E., Otrysko B. E. Rhizoctonia disease on potato //Rhizoctonia species: Taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control. – Springer, Dordrecht, 1996. – С. 321-330
25. Banville G. J. Yield losses and damage to potato plants caused by *Rhizoctonia solani* Kuhn //American Potato Journal. – 1989. – Т. 66. – №. 12. – С. 821-834.
26. Champion C. et al. Anastomosis groups, pathogenicity and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia solani* isolates collected on potato crops in France //European Journal of Plant Pathology. – 2003. – Т. 109. – №. 9. – С. 983-992.
27. Carling D. E., Kuninaga S., Brainard K. A. Hyphal anastomosis reactions, rDNA-internal transcribed spacer sequences, and virulence levels among subsets of *Rhizoctonia solani* anastomosis group-2 (AG-2) and AG-BI //Phytopathology. – 2002. – Т. 92. – №. 1. – С. 43-50.
28. Cedeño L. et al. Identificación y virulencia de grupos de anastomosis de *Rhizoctonia solani* Kühn asociados con papa en Mérida, Venezuela //Interciencia. – 2001. – Т. 26. – №. 7. – С. 296-300.
29. Chudinova E.M., L.Y. Kokaeva, S.N. Elansky, I.A. Kutuzova, A.S. Pertsev, M.A. Pobedinskaya The occurrence of thiabendazole-resistant isolates of

helminthosporium solani on potato seed tubers in russia. Journal of Plant Diseases and Protection, (127):421–423, 2020.

30. Devaux A. et al. Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems //The Potato Crop. – Springer, Cham, 2020. – C. 3-35.

31. Djéballi N., Belhassen T. Field study of the relative susceptibility of eleven potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties and the efficacy of two fungicides against *Rhizoctonia solani* attack //Crop Protection. – 2010. – T. 29. – №. 9. – C. 998-1002.

32. Djéballi N. et al. Tunisian *Rhizoctonia solani* AG3 strains affect potato shoot macronutrients content, infect faba bean plants and show in vitro resistance to azoxystrobin //Australasian Plant Pathology. – 2014. – T. 43. – №. 3. – C. 347-358.

33. Duan Y. et al. Effect of phenylpyrrole fungicide fludioxonil on morphological and physiological characteristics of *Sclerotinia sclerotiorum* //Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2013. – T. 106. – №. 1-2. – C. 61-67.

34. Errampalli D. Effect of fludioxonil on germination and growth of *Penicillium expansum* and decay in apple cvs. Empire and Gala //Crop Protection. – 2004. – T. 23. – №. 9. – C. 811-817.

35. Fiers M, Edel-Hermann V, Héraud C, Gautheron N, Chatot C, Le Hingrat Y, Steinberg C (2011) Genetic diversity of *Rhizoctonia solani* associated with potato tubers in France. Mycol 103(6):1230-1244

36. Glazebrook J. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens //Annu. Rev. Phytopathol. – 2005. – T. 43. – C. 205-227.

37. Kutuzova I. A. et al. Resistance of *helminthosporium solani* strains to selected fungicides applied for tuber treatment //Journal of Plant Pathology. – 2017. – C. 635-642.

38. Laluk K., Mengiste T. Necrotroph attacks on plants: wanton destruction or covert extortion? //The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists. – 2010. – T. 8.

39. Lees A. K. et al. Development of conventional and quantitative real-time PCR assays for the detection and identification of *Rhizoctonia solani* AG-3 in potato and soil //Plant Pathology. – 2002. – Т. 51. – №. 3. – С. 293-302.
40. Muzhinji N, Woodhall JW, Truter M, Van der Waals JE (2018) Variation in fungicide sensitivity among *Rhizoctonia* isolates recovered from potatoes in South Africa. Plant Dis 102(8):1520-1526
41. Parmeter J. R. et al. (ed.). *Rhizoctonia solani*, biology and pathology. – Univ of California Press, 1970.
42. Sharma M., Gupta S. K., Sharma T. R. Characterization of variability in *Rhizoctonia solani* by using morphological and molecular markers //Journal of phytopathology. – 2005. – V. 153. – №. 7-8. – P. 449-456.
43. Sharon, M., Sneh, B., Kuninaga, S., Hyakumachi, M., Naito, S. (2008). Classification of *Rhizoctonia spp.* using rDNA-ITS sequence analysis supports the genetic basis of the classical anastomosis grouping. Mycoscience, 49(2), 93-114.
44. Slack S. A. Seed certification and seed improvement programs //Potato health management. – 1993. – С. 61-65.
45. Thind T. S., Mohan C., Kaur S. Promising activity of pencycuron, a phenylurea-based fungicide, for effective management of black scurf of potato //Indian Phytopathology. – 2002. – Т. 55. – №. 1. – С. 39-44.
46. Truter M. et al. Etiology and alternative control of potato rhizoctoniasis in South Africa : дис. – University of Pretoria, 2006.
47. Truter M., Wehner F. C. Anastomosis grouping of *Rhizoctonia solani* associated with black scurf and stem canker of potato in South Africa //Plant disease. – 2004. – Т. 88. – №. 1. – С. 83-83.
48. Tsrer L. Biology, epidemiology and management of *Rhizoctonia solani* on potato //Journal of Phytopathology. – 2010. – Т. 158. – №. 10. – С. 649-658.
49. Tsrer L., Aharon M., Erlich O. Survey of bacterial and fungal seedborne diseases in imported and domestic potato seed tubers //Phytoparasitica. – 1999. – Т. 27. – №. 3. – С. 215-226.

50. White T. J. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics //PCR protocols: a guide to methods and applications. – 1990. – T. 18. – №. 1. – C. 315-322.
51. Woodhall J. W. et al. Characterization of *Rhizoctonia solani* from potato in Great Britain //Plant Pathology. – 2007. – T. 56. – №. 2. – C. 286-295.
52. Yang S, Min F, Wang W, Wei Q, Guo M, Gao Y, et al (2017) Anastomosis group and pathogenicity of *Rhizoctonia solani* associated with stem canker and black scurf of potato in Heilongjiang Province of China. Am J of Potato Res 94(2):95-104
53. Yang Y., Wu X. First report of potato stem canker caused by *Rhizoctonia solani* AG-5 in China //Plant disease. – 2012. – T. 96. – №. 10. – C. 1579-1579.
54. Yarmeeva M.M., Kurchaev M.L. et al. Anastomosis groups and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia solani* strains isolated from potato in Russia // Journal of plant diseases and protection. 2021. In press.