

634.8  
М 54

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**РЕНТГЕНОГРАФИЯ  
В ВИНОГРАДАРСТВЕ**

Санкт-Петербург  
2015

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)»

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет  
Анапский филиал»

**РЕНТГЕНОГРАФИЯ В ВИНОГРАДАРСТВЕ**



Методические указания

Санкт-Петербург

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

2015

Рентгенография в виноградарстве: метод. указания/ сост.: Н. Н. Потрахов, М. А. Никольский, А. Ю. Грязнов, К. К. Жамова, Н. Е. Староверов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 53 с.

Рассмотрены вопросы использования рентгенографии в виноградарстве. Дано описание физико-технических особенностей рентгеновской съемки виноградного растения и его отдельных элементов, проанализированы рентгеновские признаки дефектов и болезней растения, а также его семян на различных этапах развития.

Предназначены для широкого круга специалистов, работающих в области выращивания и переработки винограда.

## Содержание

<b>Введение .....</b>	4
<b>1. Особенности строения виноградного растения .....</b>	7
1.1. Семена .....	7
1.2. Побеги .....	9
1.3. Глазки .....	11
<b>2. Физико-технические основы рентгенографии.....</b>	13
2.1. Рентгеновское изображение.....	13
2.2. Способы получения рентгеновского изображения .....	16
<b>3. Аппаратура для микрофокусной рентгенографии.....</b>	20
3.1. Передвижная рентгенодиагностическая установка ПРДУ-02.....	20
3.2. Рентгеновский микроскоп РМ-01 .....	22
3.3. Портативный рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС-Р».....	23
<b>4. Применение рентгенографии в виноградарстве.....</b>	24
4.1. Определение всхожести семян винограда .....	24
4.2. Определение качества срастания привитых компонентов саженцев винограда .....	29
4.3. Определение степени пораженности винограда сосудистым некрозом	33
4.4. Определение сохранности виноградных глазков .....	41
<b>Заключение.....</b>	44
<b>Список использованной литературы.....</b>	45
<b>Приложение .....</b>	48

Утверждено

редакционно-издательским советом университета  
в качестве методических указаний

## ВВЕДЕНИЕ

Виноградарство является одной из древнейших сельскохозяйственных сфер деятельности человека, и в настоящее время производство винограда и вина имеет большой удельный вес в сельском хозяйстве многих стран. Получению урожая винограда предшествует селекционная работа по выведению новых сортов, сочетающих в себе набор полезных хозяйственно-ценных признаков, в первую очередь устойчивость к биотическим и абиотическим условиям среды с учетом этапов размножения посадочного материала и агротехнологических особенностей эксплуатации виноградных насаждений. Все это обусловлено проведение серьезных научных исследований, направленных на создание новых агротехнологий в виноградовинодельческой отрасли.

В связи с широким распространением филлоксеры виноградарство было вынуждено перейти на привитую культуру. Для обеспечения виноградо-винодельческих хозяйств посадочным материалом, в мире ежегодно производится от 800 до 1000 млн шт. привитых виноградных саженцев. Производство здоровых, хорошо развитых саженцев районированных сортов, свободных от карантинных объектов и опасных болезней и отвечающих стандарту качества, – основная задача каждого питомника. На виноградниках, заложенных саженцами высокого качества, увеличивается продолжительность жизни растений в 1,5 – 2 раза, продуктивность возрастает на 40–50 %. Существенно уменьшаются капиталовложения на перезакладку насаждений. При совокупной реализации этих факторов улучшаются экономические показатели, повышается конкурентоспособность товаропроизводителей [1], [2].

В настоящий момент основными документами, регламентирующими требования, предъявляемые к посадочному материалу винограда, являются: Федеральный закон Российской Федерации от 17 декабря 1997 г. № 149-ФЗ «О семеноводстве» в редакции от 23.06.2014 г. № 160-ФЗ, а также ГОСТ Р 53050–2008 и ГОСТ 31783–2012. Данные нормативно-правовые акты опреде-

ляют категорию посадочного материала, а также его соответствие требованиям сортовой чистоты, к внешнему виду, регламентируют состояние однолетних побегов и другие параметры.

Виноградное растение в процессе своего роста подвергается воздействию биотических и абиотических факторов среды, которые способны нарушить нормальное развитие отдельных органов и всего растения в целом. Традиционные способы диагностики подобных поражений базируются на визуальной характеристике или проведении исследований под микроскопом. Такие способы трудоемки и требуют специального анализа по каждому виду дефектов. Основными достоинствами визуального способа являются относительная простота и оперативность, однако внутренние аномалии визуально уже не фиксируются и требуют дополнительной проверки, которая предусматривает полное или частичное разрушение (вследствие препарирования) объекта контроля.

Большинство современных методов контроля позволяют оценить лишь текущее состояние в развитии растений без возможности прогнозирования последующего протекания процесса. Особые затруднения, с которыми сталкивается специалист, возникают при необходимости регистрировать не только внешние, но и внутренние повреждения растения, зачастую даже косвенно не обнаруживаемые на поверхности. И здесь большое значение приобретают интроскопические методы контроля, которые позволяют реально наблюдать патологические изменения внутренних структур, а не только догадываться об этих изменениях по косвенным признакам.

В настоящее время в международной практике для исследования внутренних структур растительных организмов используются различные методы интроскопических исследований. Из последних достижений следует отметить, что с 2011 г. в зарубежных литературных источниках встречаются работы по изучению внутренних структур виноградного растения с использованием реконструктивной томографии. В 2011 г. коллектив ученых из Кали-

форний в исследованиях сосудистой системы ксилемы использовал рентгеновский томограф с высокой разрешающей способностью. Его применение позволило получить объемную модель сосудистой системы для автоматизированного количественного анализа анатомических особенностей проводящей системы ксилемы [3]. В 2012 г. для визуализации внутренней структуры виноградного растения в месте прививки с помощью рентгеновского компьютерного томографа удалось построить объемную модель места срастания подвойно-привойных компонентов саженца, что позволило изучить процесс дифференциации клеток проводящей системы в месте соприкосновения трансплантов [4].

В целом же рентгенография для изучения внутренней структуры растений и семян древесных пород как за рубежом, так и в нашей стране используется достаточно давно [5].

Так, работы ученых ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» и ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства» показали, что рентгенография является одним из наиболее перспективных методов регистрации скрытых дефектов у растительных организмов, позволяющим визуализировать все его внутренние формообразующие структуры, а следовательно, и их плотностные, объемные и линейные аномалии [6], [7]. В свою очередь, технология микрофокусной рентгенографии служит наиболее объективным, точным и быстрым способом регистрации скрытых дефектов [8] – [11].

В настоящих методических указаниях изложены основные принципы использования нового направления интроскопического метода исследований в виноградарстве – цифровой микрофокусной рентгенографии. Показаны физические основы метода, аппаратура для его реализации, проанализированы рентгенографические признаки и их соответствие реальному состоянию растения.

## 1. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ВИНОГРАДНОГО РАСТЕНИЯ

В процессе развития виноградное растение проходит несколько стадий – от семени до зрелого растения.

### 1.1. Семена

Виноградные семена относятся к анатропным, имеют овально-грушевидную форму с удлиненным клювиком. Для семян *V. vinifera* характерны длинный клювик и халаза, расположенные на верхней трети спинной стороны. Клювик семян других видов этого рода более короткий, а халаза находится в средней части спинной стороны [12] – [14].

Семя винограда (рис. 1.1) состоит из внешнего и внутреннего покровов, эндосперма и зародыша. Внешний покров образуется из внешнего интегумента семяпочки. В нем различают внешний, промежуточный и внутренний слои. Внешний слой состоит из одного ряда тангенциально расположенных клеток, которые содержат крахмал и рафины. Клетки среднего слоя тонкостенные, рыхлого строения. У несозревших семян (рис. 1.1) они содержат в большом количестве крахмал и рафины, а у созревших – высыхают, сплющиваются и становятся вместилищем танина. Этот слой легко поглощает воду и увеличивает свою толщину, поэтому его называют губчатым. Внутренний слой образуется из внутреннего эпидермиса и состоит из 2 – 6 слоев радиально удлиненных каменистых клеток.

Оболочка из каменистых клеток почти полностью окружает семена винограда, свободными от нее остаются только халаза и верхушка клювика, где находится отверстие – микропиле. В различных зонах семени число каменистых клеток неодинаково: в клювике около микропиле их больше, а в средней части – меньше.

Внутренний покров образуется из внутреннего интегумента семяпочки и также состоит из трех слоев, каждый из которых имеет один слой клеток.

Внешний слой (эндодермис) представляет собой сильно сплющенные тонкостенные клетки, а средний – тонкостенные многоугольные клетки.

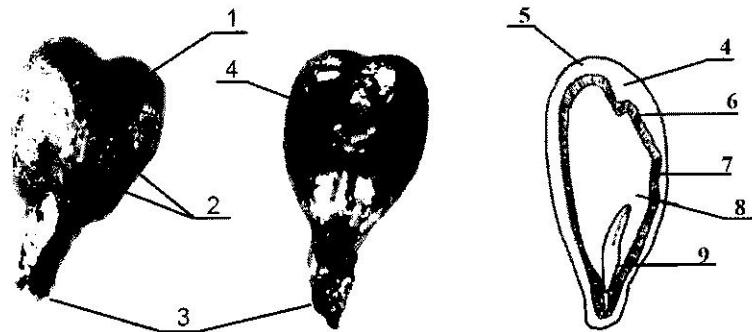


Рис. 1.1. Строение виноградного семени:  
1 – шов; 2 – впадины; 3 – клювик; 4 – халаза; 5 – эпидерма; 6 – эндодермис;  
7 – защитный слой; 8 – эндосперм; 9 – зародыш

Внутренний слой плотно прилегает к эндосперму. Клетки этого слоя подвержены значительным изменениям. При созревании на радиальных стенках семян появляются утолщения, в полностью созревших семенах стеки клеток бурые, поэтому эндосперм резко ограничен.

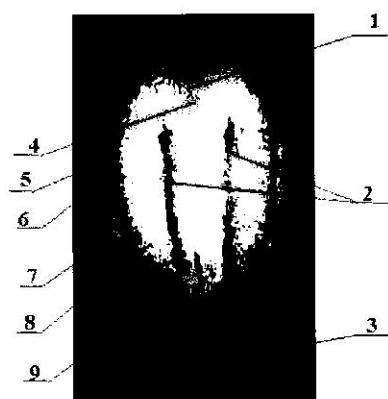


Рис. 1.2. Рентгеновское изображение виноградного семени:  
1 – шов; 2 – впадины; 3 – клювик; 4 – халаза; 5 – эпидерма; 6 – эндодермис;  
7 – защитный слой; 8 – эндосперм; 9 – зародыш

Эндосперм занимает внутреннюю часть семян. Он состоит из множества крупных клеток с утолщенными в углах стенками. Клетки содержат в избытке капли жира, белковые вещества, протоплазму и минеральные соли. Зародыш находится в клювике, корешок обращен к микропиле. Две семядоли зародыша имеют удлиненную сердцевидную форму. Между ними находится небольшая зародышевая почечка – эпикотиль (столбик) цилиндрической формы, заканчивающийся корешком. Все элементы строения семени и, что особенно важно, его внутренней структуры, представленные на рис. 1.1, уверенно идентифицируются на рентгеновском изображении (рис. 1.2).

Семена винограда используются в виноградарстве в основном только при селекции, для выведения новых сортов. Учитывая, как правило, низкую всхожесть семян и трудности при их проращивании, актуальна задача предварительного индивидуального отбора. Следует отметить, что используемый в семеноводстве метод флотации позволяет удалять лишь пустые и плохо выполненные семена, но не выделяет семян с внутренними дефектами, не сказывающимися на их плотности [15], [16].

## 1.2. Побеги

Побег является одним из основных органов виноградного растения, объединяющим стебель с расположенными на нем листьями, а также почками, и выполняет основные жизненные функции куста. Каждый структурный элемент побега имеет собственное анатомическое и морфологическое строение. На рис. 1.3 показано строение виноградного побега с рентгенограммами отдельных его элементов.

В настоящее время одной из наиболее значимых проблем производства посадочного материала является получение саженцев с хорошо сросшимися трансплантатами (подвой и привой). Отсутствие кругового каллюса, свидетельствующее о несостоявшейся прививке, легко обнаруживается уже на ранних этапах производства саженцев. Прививки с такими дефектами могут

быть отбракованы при визуальном осмотре. Однако обнаружение скрытых внутренних дефектов места спайки затруднительно и визуально не всегда может быть осуществлено. Кроме этого существует серьезная проблема диагностики поражения проводящей системы саженцев сосудистым некрозом.

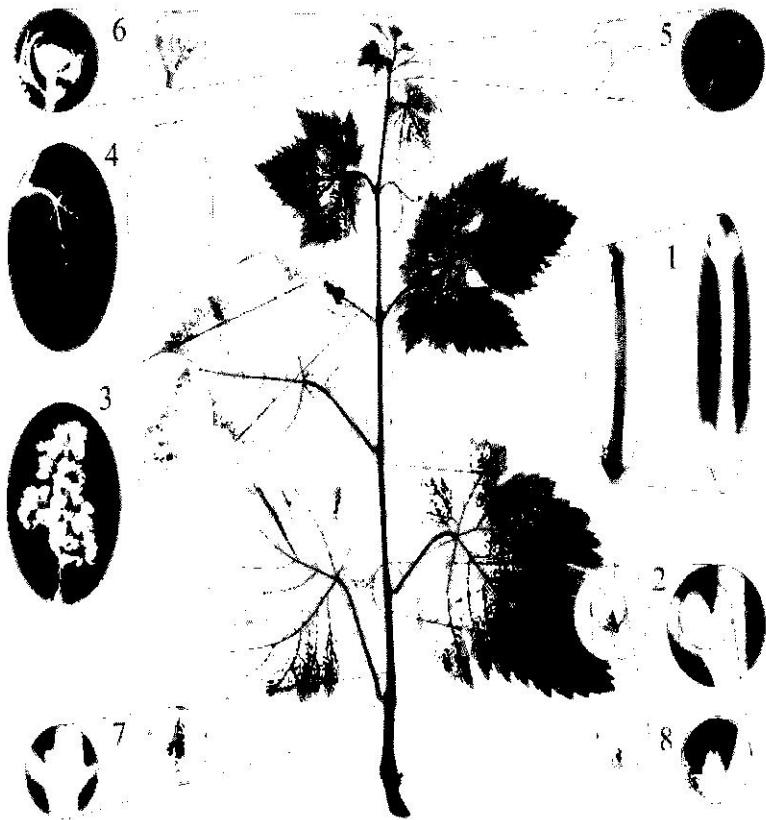


Рис. 1.3. Виноградный побег с рентгеновскими изображениями отдельных частей:  
1 – междуузлие; 2 – узел; 3 – соцветие; 4 – лист; 5 – усик; 6 – коронка побега;  
7 – глазок; 8 – пасынок

Некрозы являются причиной серьезных нарушений в жизнедеятельности растений винограда. Рано заболевшие некрозом растения заметно отстают в развитии, дают слабый прирост, имеют слабую корневую систему и в зависимости от степени поражения могут привести к полной гибели насаждения.

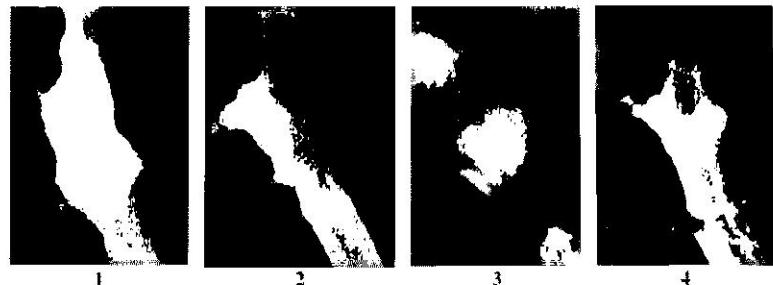


Рис. 1.4. Рентгеновские изображения привитых саженцев винограда:  
1 – нормальное срастание компонентов прививки, нормально развитая колычевая каллюсная ткань; 2 – дефект места спайки – одностороннее отсутствие каллюса («кзевота»);  
3 – дефект места спайки – наличие большого количества каллюсной ткани без образования функциональной проводящей системы; 4 – дефект места спайки – механическое по-  
вреждение

Для того чтобы диагностировать то или иное состояние саженцев – качество срастания транспланта и степень поражения сосудистым некрозом, необходимо проводить анатомические поперечные срезы. Но это не позволяет сохранить объект исследования в случае отсутствия поражений. Использование метода рентгенографии обеспечивает визуализацию всех его внутренних формообразующих структур без разрушения. В качестве примера на рис. 1.4 представлены рентгеновские изображения привитых саженцев винограда.

### 1.3. Глазки

Важное значение при анализе состояния виноградного растения имеет контроль состояния глазков. Виноградный глазок представляет собой комплексное морфологическое образование винограда, объединяющее несколько почек; возникает и развивается в пазухе листьев на узлах однолетних побегов виноградного растения. Почка представляет собой зародыш побега и выполняет ряд функций: роста, возобновления роста, вегетативного размножения (рис. 1.5). В свою очередь, в практике виноградного питомниководства обязательным приемом перед нарезкой черенков привоя является проверка состояния почек глазков. Принято считать, что черенки привоя, имеющие ме-

не 90 % живых глазков, для прививки не пригодны. Однако отбракованные таким образом черенки могут быть повторно проанализированы после доведения глазков до набухания с целью определения последующего определения здоровых глазков. Признаком здорового глазка, в этом случае, является расщепление чешуек и хорошее набухание. В случае перерастания глазки окончательно бракуются.



Рис. 1.5. Продольный срез зимующего глазка:

1 – кроющие чешуи; 2 – волоски; 3 – подушечка; 4 – подстилающий слой; 5 – главная почка; 6 – замещающие почки; 7 – зачаточный узел; 8 – зачаточное междуузлие; 9 – зачаточное соцветие; 10 – конус нарастания главной почки зимующего глазка

Сам отбор глазков для прививки начинают на 4–5 день после начала прогрева, продолжительность отбора составляет от 12 до 15 дней, с частотой 3–4 раза [17].

Следует отметить, что данный способ достаточно трудоемок, поэтому отбор занимает значительное время. В процессе прививки есть большая вероятность механического повреждения глазка. Во время стратификации существует проблема неравномерного каллюсообразования у подвойно-привойных компонентов, связанная с их разной физиологической активностью, которая обусловлена тем, что черенки привоя подверглись прогреванию и тем самым были простимулированы обменные процессы. Этую проблему можно решить путем «подгона» черенков подвоя, стимулируя и в них обменные процессы. Однако это влечет дополнительные трудо- и энергозатраты.

## 2. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕНТГЕНОГРАФИИ

### 2.1. Рентгеновское изображение

Рентгенографическое исследование основано на регистрации рентгеновского излучения, прошедшего через объект исследуемый орган в теле человека. Прошедшее через объект контроля излучение ослабляется в различной степени в зависимости от распределения плотности и толщины его тканей и становитсяносителем информации о внутреннем строении объекта. Таким образом, формируется рентгеновское изображение объекта [18] (рис. 2.1).

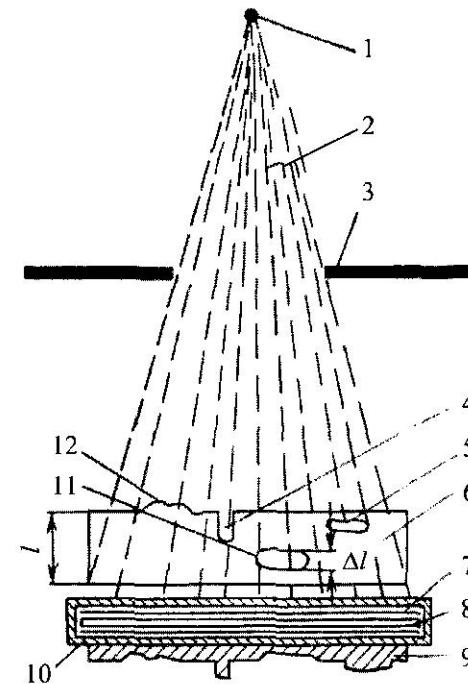


Рис. 2.1. Схема рентгенографии:

1 – источник излучения; 2 – поток рентгеновского излучения; 3 – диафрагма; 4 – впадина на поверхности объекта; 5 – воздушная полость; 6 – просвечиваемый объект; 7, 8, 10 – элементы конструкции приемника изображения; 9 – эпюра плотности почернения изображения; 11 – включение толщиной  $\Delta l$  (плотнее основы объекта толщиной  $l$ ); 12 – утолщение объекта

Рентгеновское изображение является теневым проекционным изображением, поскольку формируется только той частью пучка излучения, которая не изменила направления распространения в пространстве в результате взаимодействия с объектом исследования. Излучение, рассеянное при взаимодействии, кроме специальных случаев [19] – [21], не несет информации о внутреннем строении объекта и является фактором, ухудшающим качество изображения.

Сформированное рентгеновское изображение аналоговым или цифровым способом преобразуется в видимое (оптическое) изображение, которое анализирует специалист (оператор) и на основе ранее приобретенного опыта выносит заключение о внутреннем состоянии исследуемого объекта.

Изменение плотности почертования оптического изображения однородного объекта независимо от способа первичного преобразования рентгеновского изображения в видимое зависит от физической плотности вещества объекта. Это дает основание считать, что контроль за плотностью почертования оптического изображения является контролем за изменением плотности растительной и биологической ткани (рис. 2.1).

Соответственно, основная задача при формировании рентгеновского изображения заключается в том, чтобы передать в нем с наибольшей подробностью информацию о размерах, форме, плотности и толщине составляющих объект элементов или деталей при возможно меньшей дозе облучения.

На рентгеновском снимке выявляются как неоднородности плотности материала просвечиваемого объекта, так и различия в толщине этого материала. Встречающиеся на практике дефекты в большинстве случаев имеют характер пустот или неоднородностей в материале объекта. Соответственно, на снимках эти дефекты проявляются в виде темных пятен, искривленных линий или полос и т. д.

Если дефекты не обнаружены, то это не всегда означает, что их нет. Дефект может быть расположен таким образом, что при выбранных режиме и

схеме просвечивания он не выявляется. Не обнаруживаются и дефекты достаточно малого размера, так как чувствительность метода рентгенографии имеет конечное значение и в некоторых случаях может оказаться недостаточной.

В настоящее время в рентгенографии для оценки возможностей выбранного способа просвечивания используется несколько характеристик:

1. Чувствительность – минимальная протяженность обнаруживаемого по рентгеновским снимкам дефекта в направлении просвечивания, выраженная либо в единицах длины – абсолютная чувствительность  $\Delta l$ , либо в процентах (или долях) толщины просвечиваемого объекта – относительная чувствительность  $\Delta l/l \cdot 100\%$  (рис. 2.1).

2. Резкость изображения, определяемая областью «размытия» изображения – шириной приграничной области между темными и светлыми участками изображения (рис. 2.2).

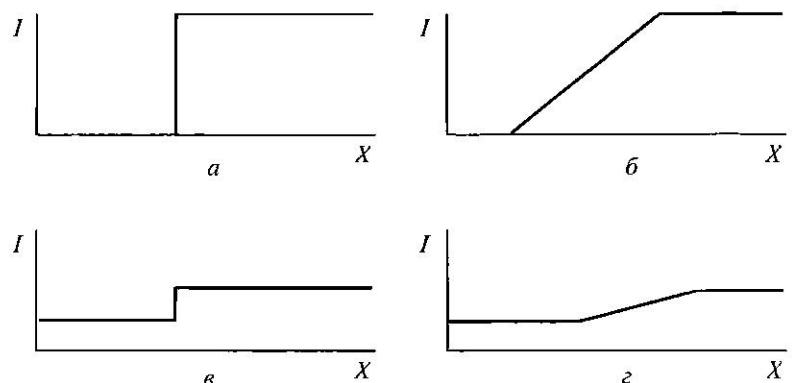


Рис. 2.2. Эпюра плотности почертования рентгеновского изображения одиночной детали объекта контроля:

*a* – резко и контрастно; *б* – нерезко и контрастно;  
*в* – резко и неконтрастно; *г* – нерезко и неконтрастно

3. Контрастность изображения, определяемая соотношением плотности почертования снимка в засвеченных и незасвеченных областях приемника изображения, так называемой эпюрой плотности почертования визуализиро-

ванного рентгеновского изображения объекта контроля. Эпюра плотности почернения обусловлена распределением интенсивности рентгеновского излучения  $I$  на выходе из объекта контроля.

4. Вывляемость дефектов  $n$ , характеризуемая отношением числа обнаруженных дефектов  $N$  к полному числу дефектов  $N_0$ .

## 2.2. Способы получения рентгеновского изображения

Размеры отдельных элементов растения, тем более отдельных деталей его структуры, составляют от нескольких сотых долей миллиметра до нескольких миллиметров.

В связи с этим широкоизвестный в медицинской диагностике контактный способ получения рентгеновских изображений [22] не позволяет в настоящее время обеспечить качество изображения семян, достаточное для обнаружения основных дефектов их внутреннего строения. Для решения этой задачи может быть использован микрофокусный способ получения рентгеновских изображений [23].

Основным отличием микрофокусного способа съемки от традиционного контактного является уменьшенный в десять и более раз размер фокусного пятна рентгеновской трубы, используемой для проведения рентгенографических исследований.

На рис. 2.3 схематично представлена типовая конструкция современной рентгеновской трубы и указаны рентгенооптические параметры, варьируемые при съемке. Основными из этих параметров являются:

- размер фокусного пятна (участок на мишени анода рентгеновской трубы, с поверхности которого происходит генерация излучения);
- фокусное расстояние (от фокусного пятна до объекта съемки);
- поле облучения (участок поверхности приемника рентгеновского изображения, на которую падает поток излучения).

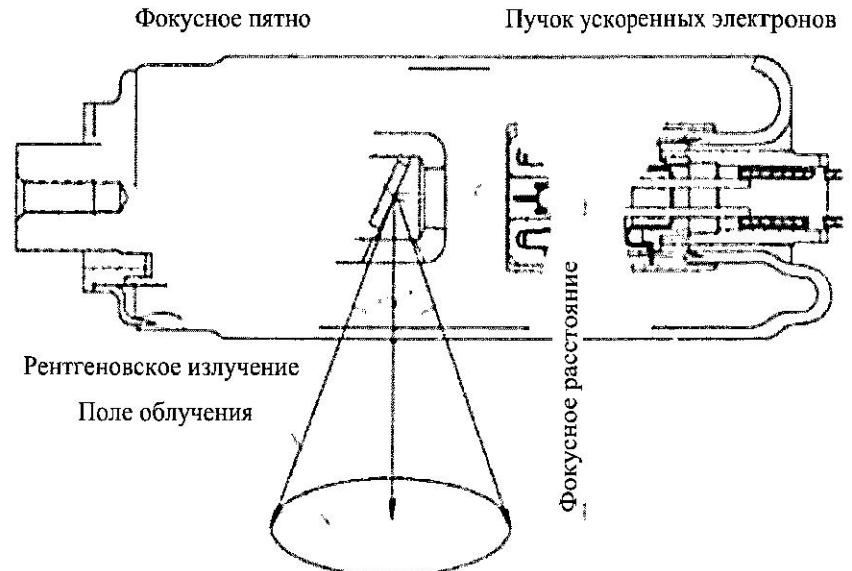


Рис. 2.3. Типовая конструкция рентгеновской трубы и основные рентгенооптические параметры просвечивания

При съемке контактным способом (рис. 2.4) используется рентгеновская трубка (далее источник излучения) 1 с протяженным фокусным пятном  $d_1$  ( $d_1 \approx 1 \text{ мм}$ ).

Объект съемки 2 располагается на достаточно большом расстоянии  $f$  от источника излучения 1 и вплотную («в контакте») к приемнику изображения 3 (рис. 2.4, а). Такое расположение технических средств и объекта рентгеновской съемки принято в стандартной рентгенографии [24]. Из рисунка хорошо видно, что в условиях стандартной рентгенографии, во-первых, размер фокусного пятна  $d$ , а также расстояние между источником излучения и объектом  $f$  существенно влияют на качество (нерезкость  $H_f$ ) изображения. При этом расстояние  $f$  выбирается, исходя из требований к нерезкости получаемых снимков, с учетом конкретных размеров фокусного пятна рентгеновской трубы  $d_1$  и толщины объекта.

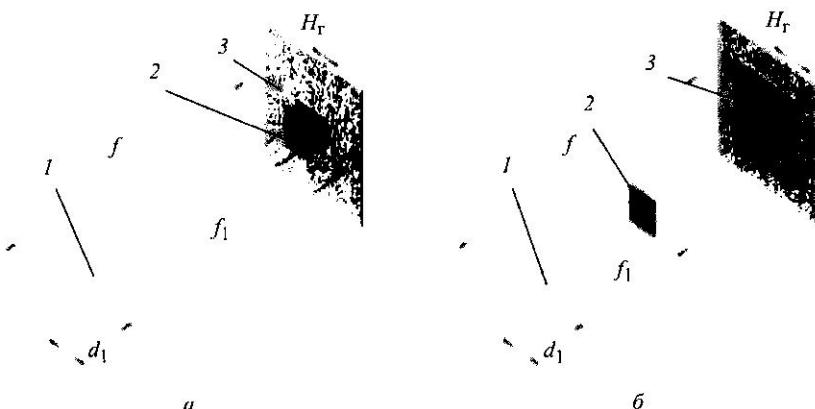


Рис. 2.4. Рентгенооптическая схема съемки в стандартной рентгенографии:  
а – контактный способ; б – способ съемки с увеличением изображения

Уменьшение расстояния  $f$  (фокусного расстояния) приводит к ухудшению качества снимка вследствие увеличения  $H_r$ . Во-вторых, даже незначительное удаление приемника изображения от объекта съемки на расстояние  $\Delta f = f - f_1$  приводит к значительному ухудшению качества снимка вследствие увеличения нерезкости  $H_r$  (рис. 2.4, б). Очевидно, что для уменьшения нерезкости изображения необходимо увеличивать расстояние между объектом и источником излучения. В общем случае отношение расстояний  $f$  и  $f_1$  определяет коэффициент увеличения изображения объекта  $m$  по сравнению с его истинными геометрическими размерами:

$$m = \frac{f}{f_1}.$$

Соответственно, при контактной съемке  $f \approx f_1$  и  $m \approx 1$ .

При съемке с увеличением изображения используется источник излучения 1 с так называемым точечным фокусным пятном  $d_2$  (рис. 2.5). Практика рентгенографии показывает, что для большинства рентгенодиагностических задач коэффициент увеличения изображения не превышает 5–7 раз [25]. В этом случае для получения резких увеличенных изображений биологических тканей размер фокусного пятна должен составлять менее 0.1 мм (или 100

мкм). Соответственно, методика съемки с помощью таких источников излучения в соответствии с ГОСТ 22091.9–86 получила название «микрофокусная рентгенография», а способ съемки с увеличением изображения – «микрофокусный способ». При съемке с увеличением изображения объект 2 (рис. 2.5, б) располагается на определенном расстоянии как от источника излучения 1, так и от приемника изображения 3.

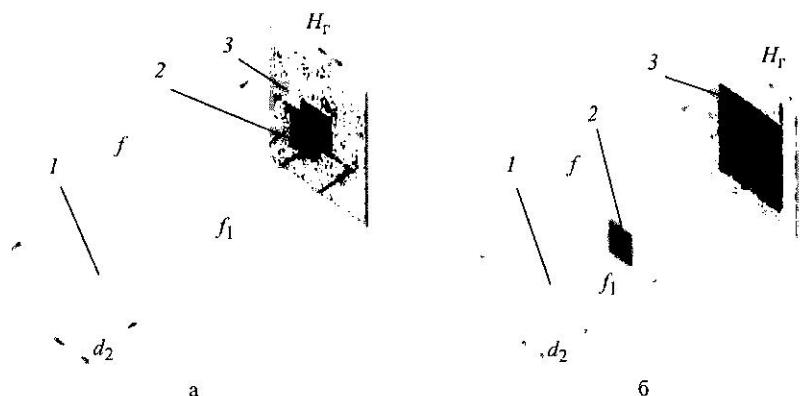


Рис. 2.5. Рентгенооптическая схема съемки в микрофокусной рентгенографии:  
а – контактный способ; б – способ съемки с увеличением изображения

Независимо от того, в каком положении находится объект съемки в пространстве между фокусным пятном источника излучения и плоскостью приемника, резкость полученного изображения в указанном диапазоне значений коэффициента его увеличения сохраняется (рис. 2.5, б).

### 3. АППАРАТУРА ДЛЯ МИКРОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ

Каждый структурный элемент виноградного растения имеет собственное анатомическое и морфологическое строение, что приводит к различиям в линейных характеристиках, а также – показателях плотности. Вследствие этого при рентгенографическом исследовании виноградного растения необходимо подбирать индивидуальные режимы съемки для каждого его элемента с целью получения максимально информативных рентгеновских снимков.

В настоящее время разработано целое семейство отечественных технических средств для рентгенографии растений различного назначения.

#### 3.1. Передвижная рентгенодиагностическая установка ПРДУ-02

Специализированная передвижная рентгенодиагностическая установка ПРДУ-02 (рис. 3.1), предназначена для оперативного контроля объектов сельскохозяйственной отрасли: продовольственного и фуражного зерна, семян зерновых и овощных культур, саженцев плодовых кустарников и деревьев.

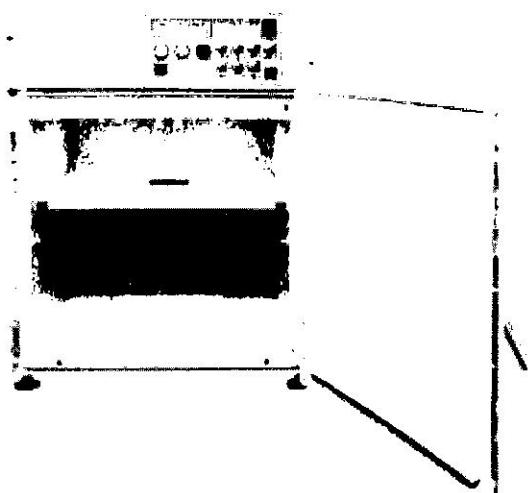


Рис. 3.1. Внешний вид установки ПРДУ-02

ПРДУ состоит из рентгенозащитной камеры, источника излучения и пульта управления рентгеновским излучением. Диапазон изменения анодного напряжения – 5...50 кВ, диапазон изменения анодного тока – 20...200 мкА. Основным достоинством установки ПРДУ-02 является малый размер фокусного пятна рентгеновской трубки (менее 50 мкм), который сохраняется в широком диапазоне анодных напряжений, что позволяет получать для различных объектов изображения удовлетворительного качества с увеличением до 50 раз. В качестве приемника излучения используется пластина с фотостимулируемым люминофором, способным «запоминать» (накапливать) часть поглощённой в нем энергии рентгеновского излучения. Под действием лазерного излучения экран испускает люминесцентное излучение, интенсивность которого пропорциональна количеству поглощённой при экспозиции энергии. Кванты видимого излучения преобразуются в электрический сигнал, формирующий цифровое изображение. Полученное таким образом изображение передаётся на компьютер, что позволяет производить его последующую обработку: форматирование, обрезчивание, контрастирование, запоминание.

Рентгенозащитная камера снабжена дверью для загрузки объектов съемки. Органы управления (кнопки и ЖК-дисплей) вынесены на переднюю панель камеры. Внутри рентгенозащитной камеры располагается моноблок источника рентгеновского излучения. Управление источником излучения осуществляется с помощью микропроцессорного устройства. Выбор режимов съемки: напряжения, тока и времени экспозиции производится нажатием на соответствующую кнопку. Информация об установленных режимах, готовности к работе и окончании съемки, а также о возможных неисправностях источника излучения выводится на ЖК-дисплей. Предусмотрена возможность управления источником излучения от внешнего ПК. Дверь рентгенозащитной камеры снабжена блокировкой, отключающей высокое напряжение на трубке при открывании.

Внутри рентгенозащитной камеры располагается столик для размещения объектов съемки и пластины с фотостимулируемым люминофором. На внутренних боковых стенках рентгенозащитной камеры закреплено несколько рядов опор на разной высоте от дна с целью размещения столика для образцов и выбора, тем самым, коэффициента увеличения изображения. Пластина с фотостимулируемым люминофором располагается на дне рентгенозащитной камеры.

Установка ПРДУ-02 позволяет получать одновременно изображения от нескольких единиц до нескольких сотен семян с увеличением до десяти раз. Этого достаточно, чтобы выявить основные типы дефектов структур виноградного растения на различных этапах его развития.

### 3.2. Рентгеновский микроскоп РМ-01

Для исследования более «мелких» морфологических особенностей строения семян необходимо получать изображение с большим увеличением. С этой целью использовалась еще одна специализированная установка, созданная в результате цикла работ по микрофокусной рентгенографии растений – рентгеновский микроскоп РМ-01 (рис. 3.2).

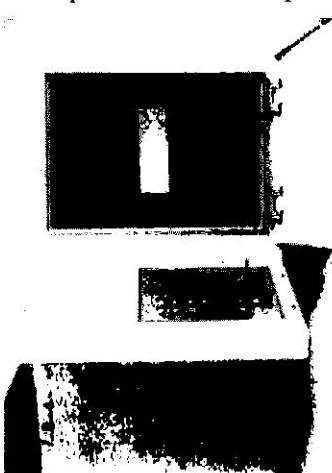


Рис. 3.2. Внешний вид рентгеновского микроскопа РМ-01

В отличие от установки ПРДУ-02 рентгеновский микроскоп РМ-01 принципиально позволяет получать снимки отдельных семян с увеличением до тысячи раз. С этой целью объект съемки размещается в специальном держателе, который в автоматическом режиме обеспечивает его перемещение в горизонтальной плоскости (по двум координатам), по вертикали, а также вращение вокруг оси. Визуализация рентгеновского изображения осуществляется

с помощью приемника изображения, построенного по схеме «экран–оптика–ПЗС» [26]. Возможно также использование более чувствительного приемника на основе ФСЛ-экрана.

### 3.3. Портативный рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС-Р»

Портативный цифровой рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС» предназначен для проведения рентгенографических работ непосредственно в полевых условиях. Комплекс «ПАРДУС» включает в себя портативный рентгеновский аппарат «ПАРДУС-Р» и устройство визуализации рентгеновского изображения «РЕНТГЕНОВИДЕОГРАФ» (рис. 3.3).

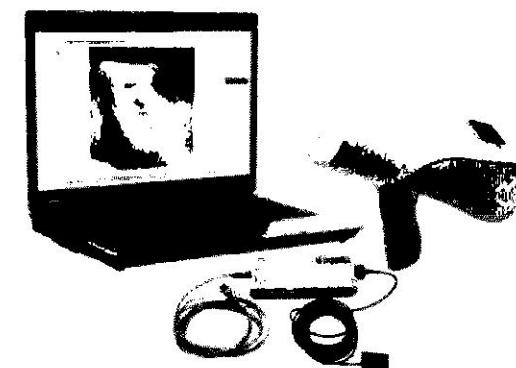


Рис. 3.3 Портативный цифровой рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС»

Рентгеновский аппарат разработан на основе оригинального моноблочного источника рентгеновского излучения [27] и микрофокусной рентгеновской трубки БС-11 с вынесенным анодом и прострельной мишенью. Устройство визуализации выполнено на основе рентгеночувствительной ПЗС-матрицы форматом 30×40 мм. Изображение диагностируемого участка растения выводится на экран портативного персонального компьютера. Комплекс полностью автономен от электрической сети. Ресурса встроенных аккумуляторов достаточно для проведения более чем 100 рентгенографических исследований.

## 4. ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОГРАФИИ В ВИНОГРАДОВСТВЕ

### 4.1. Определение всхожести семян винограда

Семена винограда используются в виноградарстве в основном только при селекции с целью выведения новых сортов. Всхожесть семян низкая, прорастают они медленно, всходы появляются часто через месяц и очень неравномерно, поэтому актуальна задача предварительной подготовки семян, которая включает в себя их индивидуальный отбор. Для этого используется метод флотации, позволяющий удалять пустые и плохо выполненные семена. Однако он не дает возможности выявить семена с внутренними дефектами, негативно сказывающимися на их способности к прорастанию [28].

Использование метода рентгенографии для анализа качества семян основано на том, что различные части семян поглощают мягкое рентгеновское излучение по-разному, и, следовательно, их изображения могут различаться на рентгенограмме. Так, хорошо выполненные жизнеспособные семена имеют на рентгенограммах светлое изображение, тогда как пустоты, некрозы, микротрешины и другие повреждения ввиду их слабого поглощения дают темные участки изображения. Это позволяет оценивать структуру и степень развития зародыша и эндосперма, определять механические травмы и повреждения, вызываемые насекомыми и патогенами. При этом небольшие дозы облучения не влияют на жизнеспособность семян.

При селекции рентгенография может быть полезна для выделения семян как ущербных (недоразвитых, поражённых болезнями, травмированных), так и с плюс-признаками, т.е. с признаками (морфологическими, физическими), которые бы коррелировали с положительными признаками целого растения, из них выращиваемого, например с быстрым ростом, высокой и ранней плодовитостью, качеством плодов [29].

Для проведения рентгенографических исследований подготавливается карточка с семенами (рис. 4.1).

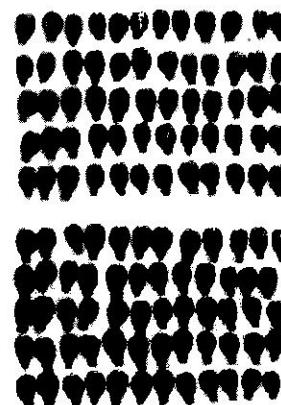


Рис. 4.1. Проба семян, на карточке, подготовленная к съемке

Карточка должна иметь рабочее поле из бумаги с клейким слоем, с площадью, допускающей размещение группы семян для одновременной съёмки с заданным увеличением (для ПРДУ-02 – приблизительно 120 семян). Для двухкратного рентгеновского увеличения карточка имеет размеры 130×85 мм, внутри которой в пределах прямоугольника 80×60 мм расклеиваются семена рядами по 13–16 в ряду в зависимости от крупности, с ориентацией продольной оси семян параллельно длинной стороне прямоугольника.

Семена раскладываются на карточки пинцетом или с помощью специального кондуктора, спинкой к клейкому слою – для соблюдения однородности позиции относительно фокуса трубы. Схема съемки представлена на рис. 4.2.

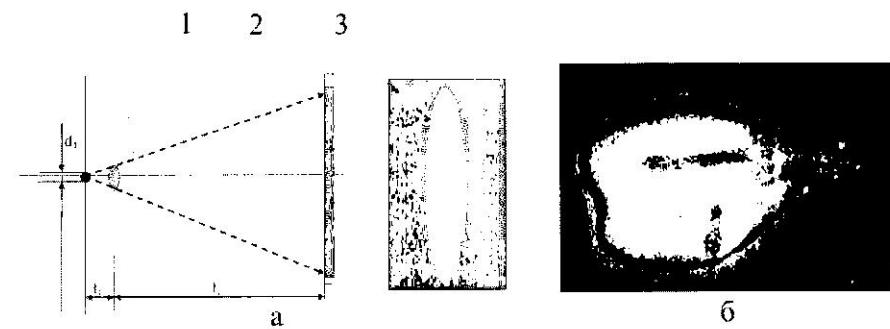


Рис. 4.2. Схема способа съемки с увеличением (а);  
1 – точечный источник излучения;  
2 – виноградное семя; 3 – приемник изображения;  
изображение виноградного семени (б):

Снимки (рис.4.3) после сканирования анализируются на экране компьютера визуально или автоматически с помощью разработанной компьютерной программы распознавания дефектов и их количественной оценки.



Рис. 4.3. Рентгеновский снимок пробы семян

У нормальных семян на рентгенограмме отчетливо просматриваются обе доли эндосперма, выступ семенного шва, область зародыша. Оболочки равномерно светлые, без нерегулярных затемнений (рис. 4.4)

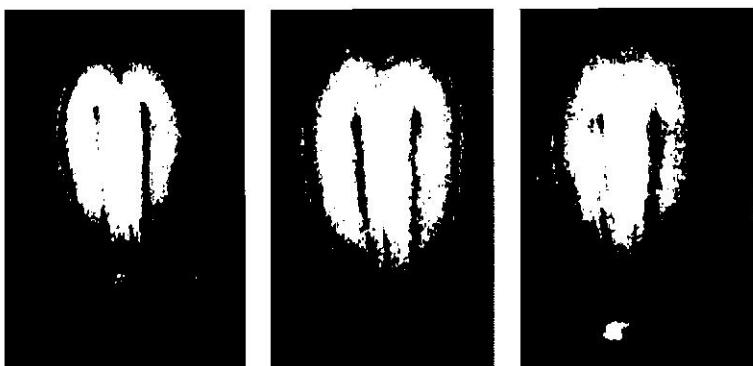


Рис. 4.4. Рентгенограммы нормальных семян

Основным диагностическим признаком при анализе семян винограда является состояние тканей эндосперма, тем более что для него характерна весьма широкая изменчивость. Оценить качество зародыша при наличной технике не представляется возможным, однако можно констатировать, что он или присутствует, или его ниша пуста (полностью или частично), или в его зоне имеется повреждение механического или биологического происхождения.

Характерный, повторяющийся рисунок нормального семени, с допустимыми отклонениями по размеру, форме, оптической плотности, диффузной и локальной, должен быть зафиксирован в компьютере как эталон, отклонения от которого (далее установленных пределов) будут квалифицироваться программой как дефекты.

Резкие отклонения оптической плотности от эталона (общелокальные), общие и локальные, характеризуют семя как неполноценное (рис 4.5).

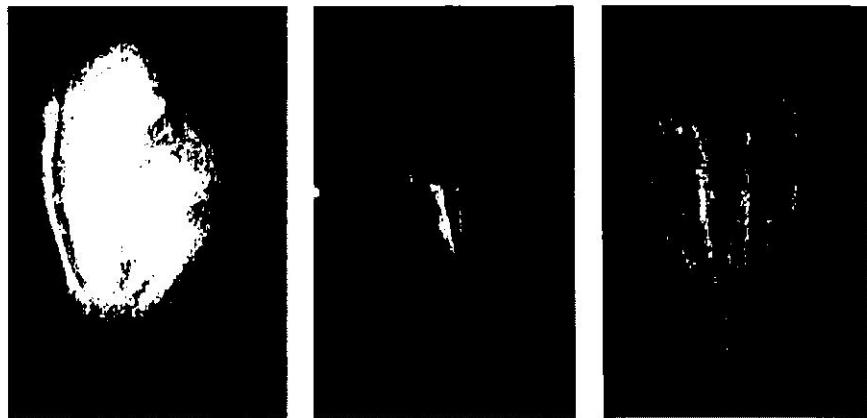


Рис. 4.5. Рентгенограммы с аномалиями развития семени

К рентгенографическим признакам семян с аномалиями развития относятся следующие: нерегулярность распределения оптической плотности по площади рентгеновской проекции как в сторону её увеличения, так и уменьшения, обусловленные (слева направо) бесформенным развитием эндосперма, его отсутствием и неполным развитием.

В случае зараженности насекомыми на снимках видны каналы, выеденные насекомыми, в виде тёмных, слегка извитых полос на светлом фоне неповреждённой ткани эндосперма (рис. 4.6). Внутри каналов иногда видны светлые проекции личинок.

В случае необходимости выявления именно заражённости насекомыми в программу вводится характерный образ каналов и личинок в них.

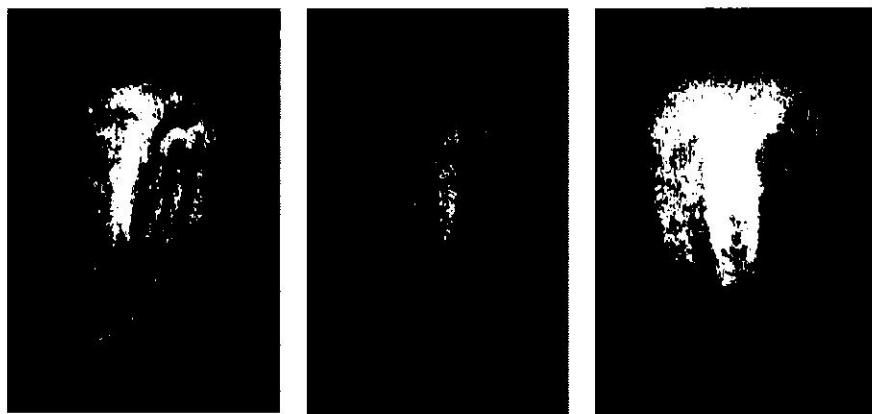


Рис. 4.6. Рентгенограммы семян, зараженных насекомыми

Затемнения в области зародыша с контрастной границей с эндоспермом свидетельствуют об отсутствии зародыша (рис. 4.7).

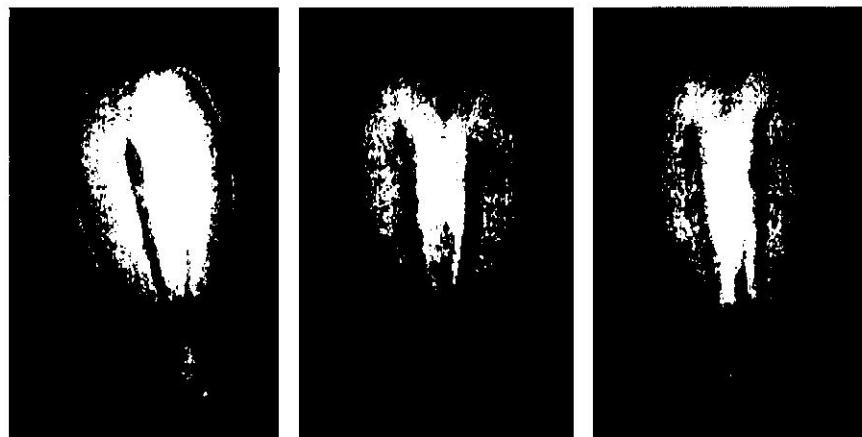


Рис. 4.7. Рентгенограммы семян с отсутствующим зародышем

Также к признакам отсутствия зародыша относятся потемнения, расположенные в нерегулярных местах проекции, однозначно квалифицируемые программой как дефект. В случае необходимости выявления именно дефектов зародыша в программу вводится характерный образ потемнений в области зародыша.

#### 4.2. Определение качества срастания привитых компонентов саженцев винограда

В настоящее время одной из наиболее значимых проблем производства посадочного материала является получение саженцев с хорошо сросшимися трансплантатами (подвой и привой). Отсутствие кругового каллюса, свидетельствующее о несостоявшейся прививке, легко обнаруживается уже на ранних этапах производства саженцев. Прививки с такими дефектами могут быть отбракованы. Однако обнаружение скрытых внутренних дефектов места спайки визуально весьма затруднительно и не всегда может быть осуществлено.

Наилучшие результаты в этом случае дает рентгенография [11], [30].

Для получения наиболее информативных снимков саженцы располагают таким образом, чтобы плоская и желобчатая стороны были перпендикулярны потоку рентгеновского излучения для лучшего отображения омегообразной прививки в месте спайки. В случае неправильного расположения саженца снимки места спайки получаются неинформативными и требуют повторной съемки (рис. 4.8).

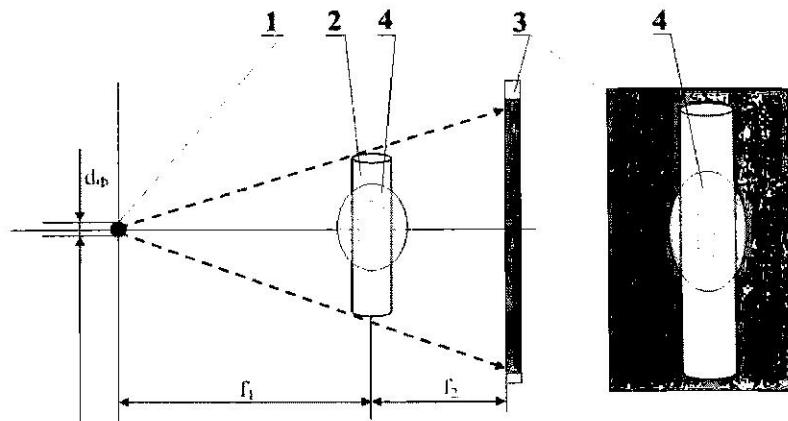


Рис. 4.8. Схема съемки привитого саженца винограда:  
1 – точечный источник излучения; 2 – привитый саженец винограда; 3 – приемник изображения; 4 – место спайки подвойно-привойных компонентов

Производится соответствующая экспозиция, после которой отснятый материал можно удалить, освобождая место для следующего.

Снимки анализируются визуально или автоматически с помощью программы распознавания и количественной оценки дефектов.



Рис. 4.9. Примеры рентгеновских снимков, места спайки привитых саженцев винограда при разном положении объекта съемки относительно пучка рентгеновского излучения: а – правильное расположение (плоская и желобчатая стороны располагаются перпендикулярно пучку); б – неправильное (плоская и желобчатая стороны располагаются под небольшим углом к пучку), в – неправильное (перпендикулярно пучку располагаются спинная и брюшная стороны)

Для анализа места спайки привитых компонентов саженцев оказалось (с учетом параметров использовавшейся аппаратуры) достаточным прямое геометрическое увеличение изображения объектов на рентгеновских снимках в два раза.

В случае нормального срастания на рентгенограмме заметно сохранение характерной линейчатой структуры стебля при переходе подвоя в привой, с незначительным осветлением места прививки, позволяющим фиксировать непрерывность сосудистой ткани, а также отсутствие выраженных чёрных поперечных линий (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Нормальное срастание компонентов прививки, normally развитая кольцевая каллюсная ткань

При визуальном анализе рентгенограмм достаточно надежно выявляются и могут быть описаны 3 типа основных дефектов срастания: «зевота» – полное или частичное несмыкание компонентов прививки; некачественное срастание – наличие большого количества каллюсной ткани без образования функциональной проводящей системы; механические изломы места спайки.

При наличии «зевоты» или одностороннем отсутствии каллюса хорошо заметно отсутствие характерных утолщений на месте спайки. В месте прививки видна чёрная фигурная линия, повторяющая линию контакта привоя и подвоя, или клиновидная чёрная линия, утолщающаяся к краю, указывающая на пустоту между компонентами прививки (рис. 4.11).



Рис. 4.11. Дефект места спайки – полное или одностороннее отсутствие каллюса («зевота»)

О наличии «зевоты» также свидетельствует: отсутствие светлых утолщений по краям стебля в месте спайки; наличие поперечных и фигурных чёрных линий на участке прививки, где в норме должны иметь место только светлый рисунок, характерный для неповреждённого стебля, и овальные пятна повышенной яркости, сквозь которые, однако, просматривается характерный рисунок сосудистой ткани.

Основным признаком некачественного срастания является прерывание характерной линейчатой структуры стебля светлым опухолевидным образованием с участками повышенной яркости, сквозь которые не просматривается сосудистая ткань (рис. 4.12).



Рис. 4.12. Дефект места спайки – наличие большого количества каллюсной ткани без образования функциональной проводящей системы



Рис. 4.13. Дефект места спайки – механическое повреждение

При механических изломах в области прививки имеются чёрные поперечные включения разной толщины, не повторяющие характерный профиль линии контакта привоя с подвойом (рис. 4.13).

#### 4.3. Определение степени поражённости винограда сосудистым некрозом

Привитый виноградный черенок представляет собой механическим образом соединенные органы (черенки) двух разных виноградных растений. Черенок, на который осуществляется прививка, называется подвой и представляет собой подвойный сорт винограда американского или американо-европейского гибрида, устойчивого к филлоксере. Черенок, который прививают, называется привой и представляет собой «культурный» сорт винограда не устойчивый к филлоксере (рис.4.14).

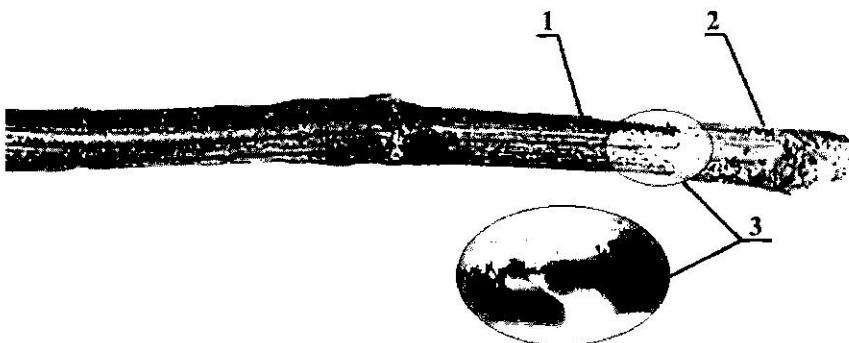


Рис. 4.14. Привитый черенок винограда:  
1 – привой; 2 – подвой; 3 – место прививки

При производстве привитых саженцев винограда, начиная с травмирующих операций при самой прививке, и далее, во время стратификации и выращивания в школке, подвойно-привойные компоненты и готовая прививка неизбежно подвергаются воздействию повреждающих факторов как биотического, так и абиотического характера, которые могут приводить к некачественному срастанию компонентов. Отсутствие кругового каллюса, свиде-

тельствующее о несостоявшейся прививке, легко обнаруживается уже на ранних этапах производства саженцев (рис. 4.15).

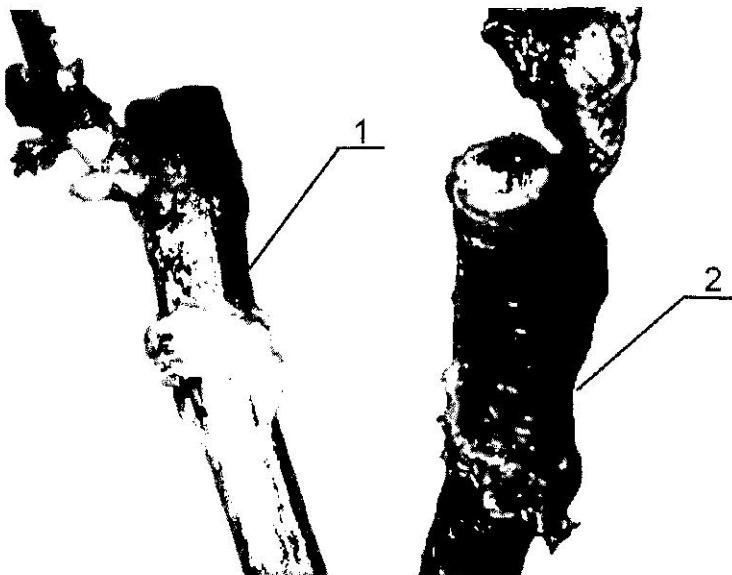


Рис. 4.15. Привитые черенки винограда после стратификации:  
1 — прививка с наличием кругового каллюса;  
2 — прививка с отсутствием кругового каллюса

Прививки с такими дефектами могут быть отбракованы. Однако обнаружить скрытые внутренние дефекты места спайки довольно затруднительно и визуально не всегда возможно. Выявить такого рода дефекты можно только с помощью специальных методов, из которых наиболее объективным, точным и быстрым является метод микрофокусной рентгенографии (рис. 4.16).

Для анализа поражения виноградных саженцев некрозом оказалось (с учетом параметров использовавшейся аппаратуры) достаточным прямое геометрическое увеличение изображения объектов на рентгеновских снимках в два раза [31]. Для получения наиболее информативных снимков у привитых саженцев достаточно двух снимков (в зоне спайки и пятки), у корнесобственных — одной (в зоне пятки). Это связано с особенностями распространения и локализации сосудистого некроза в виноградных саженцах — отмира-

ние тканей сосудов и прилегающих к ним клеток, независимо от типа саженцев, происходит по брюшной и спинной сторонам (рис. 4.17).

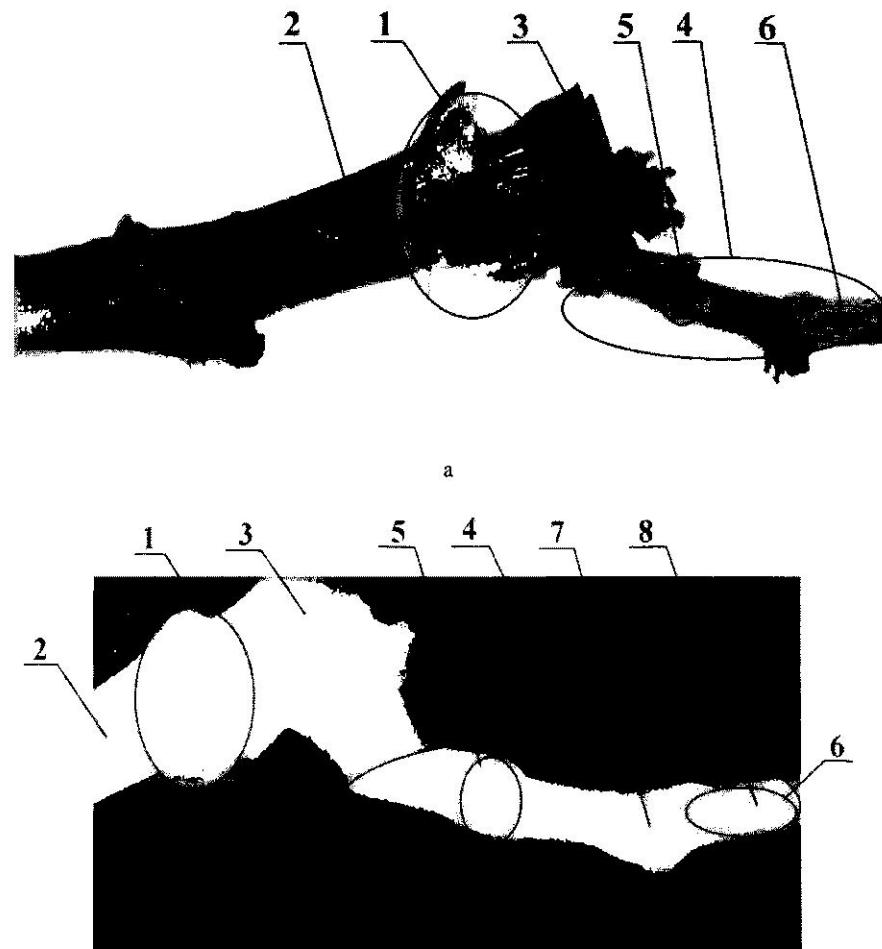


Рис. 4.16. Привитый саженец винограда:  
а — фотография; б — рентгенограмма  
1 — место спайки; 2 — подвой; 3 — привой; 4 — однолетний прирост; 5 — узел;  
6 — междуузлие; 7 — диафрагма; 8 — сердцевина

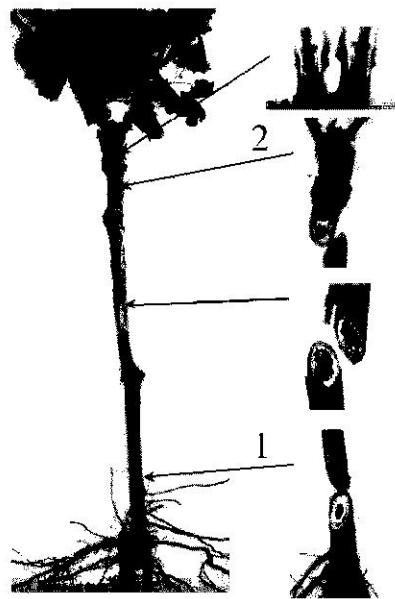


Рис. 4.17. Локализация сосудистого некроза у привитого саженца винограда:  
1 – зона пятки; 2 – зона прививки

Особое место среди основных заболеваний виноградных саженцев занимает сосудистый некроз. Причины появления некроза многообразны. Анализ показывает, что 80 % саженцев поражается сосудистым некрозом, но в разной степени. При слабом проявлении сосудистого некроза процент изреженности на третий год посадки виноградных саженцев составляет 3–4 %, в то время как при сильном поражении достигает 100 % [16]. Для того чтобы диагностировать и определить степень поражения сосудистым некрозом посадочного материала винограда, необходимо проводить продольные или поперечные срезы, но это не позволяет сохранить объект исследования в случае отсутствия данного заболевания.

Некроз сосудистой ткани выражается в запустевании сосудов, высыпанием их содержимого и клеток обкладки, частичном заполнении омертвевших клеток консервирующими веществами типа танинов. В целом плотность

омертвевших тканей становится меньше, что и позволяет их обнаружить на рентгеновском снимке в виде тёмных тяжей вдоль стебля, разной ширины и степени потемнения. Отмирание тканей сосудов и прилегающих к ним клеток происходит по брюшной и спинной сторонам.

В силу неоднородного строения виноградного побега (черенка) его теневое рентгеновское изображение тоже имеет неоднородное затемнение. Схема возникновения теневого изображения виноградного побега приведена на рис. 4.18. Как видно на рентгеновском снимке за счет меньшей плотности сердцевины, получается более темной по сравнению с древесиной.

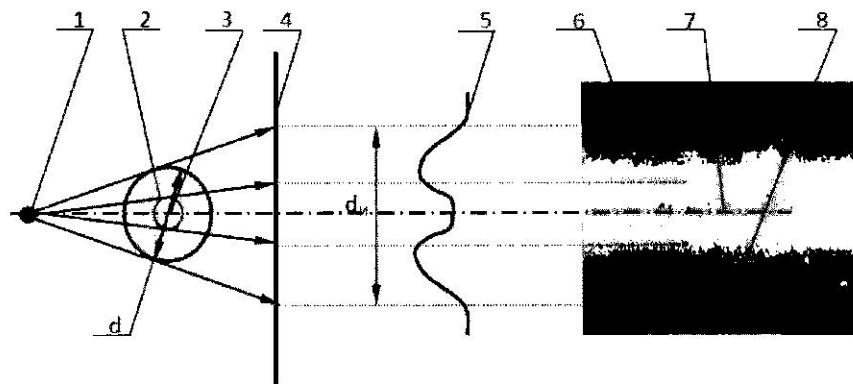


Рис. 4.18. Схема возникновения теневого рентгеновского изображения виноградного черенка:  
1 – источник излучения; 2 – объект (черенок); 3 – сердцевина; 4 – плоскость изображения;  
5 – распределение потока квантов; 6 – изображение объекта; 7 – темная линия сердцевины;  
8 – темная линия внешней области черенка;  
d – диаметр объекта;  $d_{и}$  – диаметр изображения

Изменение плотности виноградного черенка, пораженного сосудистым некрозом, позволяет проводить анализ оптической плотности полученных снимков в поперечном направлении и дает возможность не только обнаруживать наличие или отсутствие заболевания, но и диагностировать степень поражения.

Визуальный анализ рентгенограмм черенков и саженцев винограда на предмет поражённости их сосудистым некрозом позволил прийти к выводу,

что целесообразно оценивать степень поражения черенков в трёх градациях: отсутствие, слабая и средняя, а саженцев в четырех: отсутствие, слабая, средняя и сильная степени поражения.

Отсутствие пораженности некрозом характеризуют достаточно высокая общая яркость изображения, характерная линейчатая структура стебля без контрастных переходов, регулярные продольные потемнения сердцевины и коры. Могут встречаться единичные тонкие тёмные линии. Для компьютерного распознавания признака может быть использована эпюра плотности почернения поперечной проекции черенка, характерны высокие средние значения яркости и незначительные колебания её по профилю (рис. 4.19).

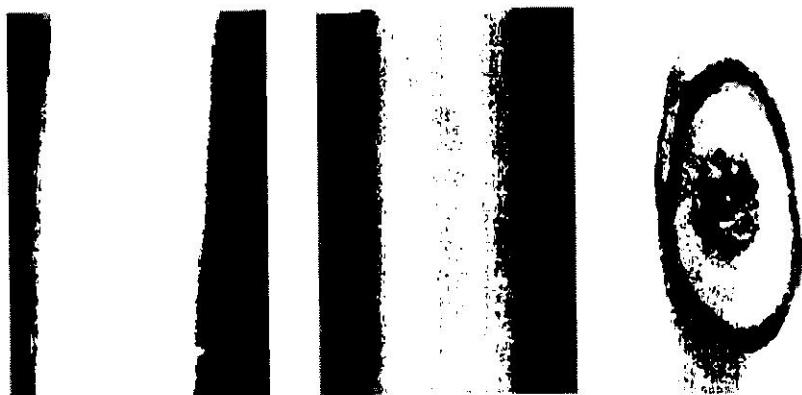


Рис. 4.19. Рентгенограммы саженцев (черенков) с отсутствием пораженности сосудистым некрозом

В случае слабой пораженности некрозом можно заметить появление тёмных широких полос по краям проекции, с одной или обеих сторон от сердцевины (рис. 4.20). Для изображения характерны следующие особенности эпюры плотности почернения поперечной проекции стебля: снижение среднего уровня яркости образа, появление широких боковых провалов кривой, увеличение глубины центрального минимума (потемнение проекции сердцевины).

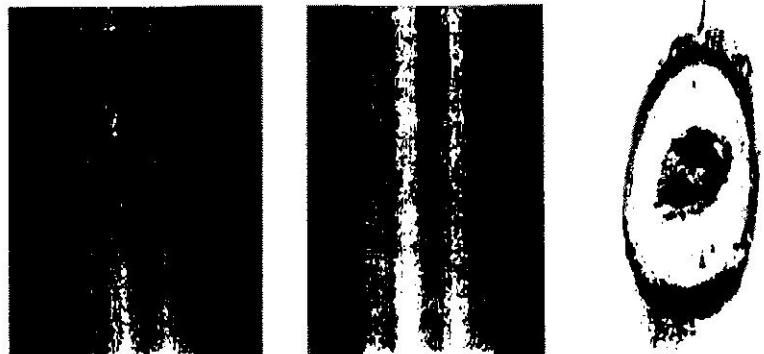


Рис. 4.20. Рентгенограммы саженцев (черенков) со слабой пораженностью сосудистым некрозом

При средней пораженности отмечается расширение проекции сердцевины и боковых тёмных полос с обеих сторон от сердцевины и ослабление общей яркости проекции. Для рентгеновских снимков таких образцов характерны снижение среднего уровня яркости изображения, появление широких боковых спадов кривой плотности почернения изображения с обеих сторон от центрального минимума, значительное увеличение глубины центрального минимума (потемнение проекции сердцевины, рис. 4.21).

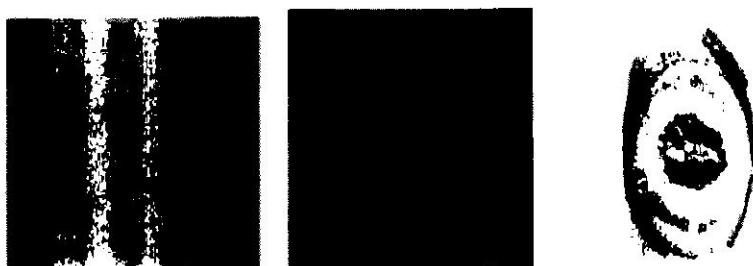


Рис. 4.21. Рентгенограммы саженцев (черенков) со средней пораженностью сосудистым некрозом

При сильной пораженности некрозом видно общее сильное потемнение проекции, расширение проекции сердцевины и боковых тёмных полос. Единичными становятся тонкие светлые линии первичной ксилемы и оставшихся здоровых сосудов (рис. 4.22).

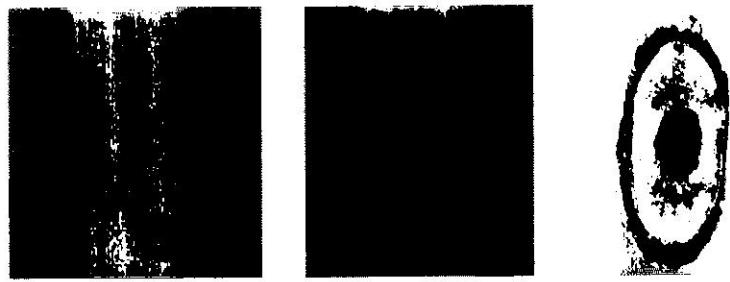


Рис. 4.22. Рентгенограммы саженцев (черенков) с сильной поражённостью сосудистым некрозом

Анализ рентгенограмм черенка с разной степенью поражённости показывает, что при отсутствии поражённости ткани черенка пропускают излучение значительно хуже (снимок получается светлее).

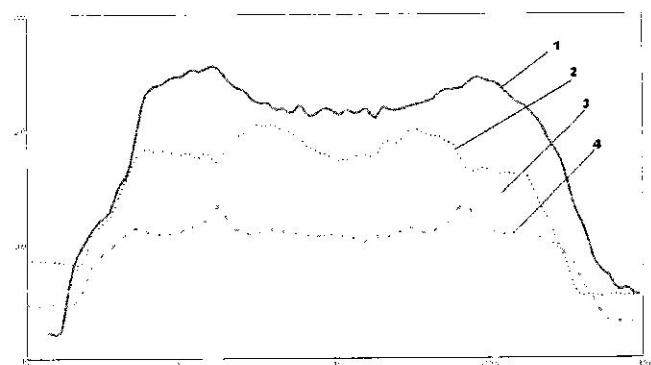


Рис. 4.23. Эпюра плотности почернения рентгенограмм черенков с различной поражённостью некрозом:

- 1 – отсутствие поражённости некрозом;
- 2 – слабая поражённость некрозом;
- 3 – средняя поражённость некрозом;
- 4 – сильная поражённость некрозом

Кроме того, меняется характер кривой эпюры плотности почернения изображения – у здорового черенка эпюра с покатыми краями и выемкой в центре, располагающейся на месте сердцевины; при сильной пораженности некрозом эпюра имеет глубокую выемку посередине (соответствующую высокой ткани сердцевины) и светлые полосы, соответствующие уплотнившейся омертвевшей ткани на границе раздела сердцевины и проводящих тканей древесины (рис. 4.23).

#### 4.4. Определение сохранности виноградных глазков

Для получения наиболее информативных снимков черенки винограда располагают таким образом, чтобы узел с глазком и расположенным с противоположной стороны усиком размещаются перпендикулярно потоку рентгеновского излучения для лучшего отображения глазка (рис. 4.24).

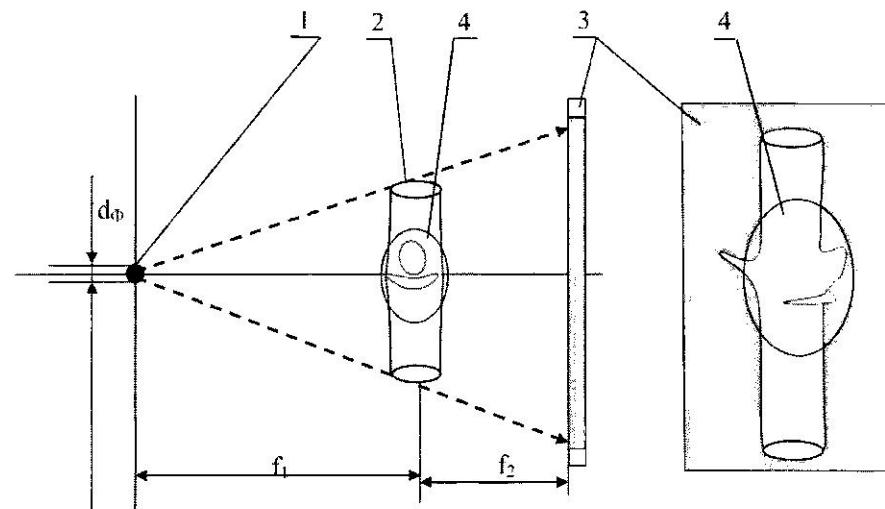


Рис. 4.24. Схема съемки черенка винограда:  
1 – точечный источник излучения; 2 – черенок винограда;  
3 – приемник изображения; 4 – глазок винограда

Для анализа глазков оказалось (с учетом параметров использовавшейся аппаратуры) достаточным прямое геометрическое увеличение изображения объектов на рентгеновских снимках в два раза [32].

В процессе исследований для повышения информативности снимков значительное внимание было уделено оптимизации режимов съемки объектов исследования. Экспериментальные исследования показали, что получение резких и контрастных снимков обеспечивают следующие режимы работы аппаратуры: напряжение 30 кВ, ток трубки 150 мкА, экспозиция 0,3 с. Указанные параметры съемки позволяют с наибольшей точностью получить информацию о размере, форме и плотности составляющих объект деталей.

Снимки анализируются визуально или автоматически с помощью программы распознавания и количественной оценки.

При визуальном анализе рентгенограмм достаточно надежно выявляются и могут быть описаны два типа основных дефектов: поражение главной или замещающих почек; полностью погибший глазок с мертвыми главной и замещающими почками.

Характерная картина здоровых, неповрежденных глазков винограда (рис. 4.25) характеризуется просветлением рентгеновского изображения глазка в области центральной почки с равномерным затемнением контура у края, подушечка глазка при этом равномерно высветлена на рентгенограмме с оптической плотностью, близкой к плотности диафрагмы.

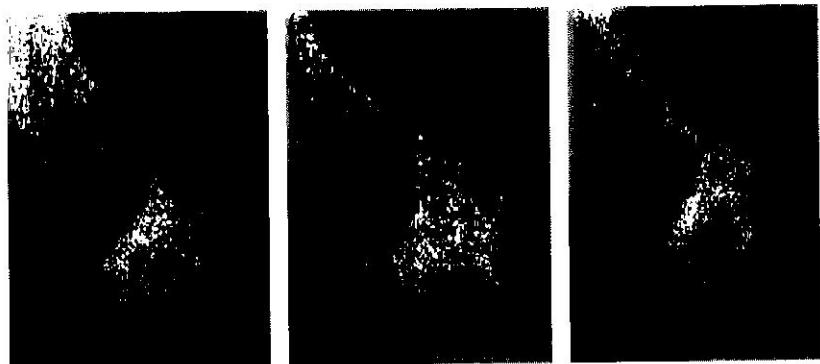


Рис. 4.25. Рентгеновские снимки здоровых (неповрежденных) глазков винограда



Рис. 4.26. Рентгеновские снимки мертвых глазков винограда

К признакам мертвого состояния (рис. 4.26) относится равномерное затемнение всего глазка, резкое относительно подушечки. В области диафрагмы наблюдаются узкие протяженные затемнения трещиноватого характера с длиной, равной длине диафрагмы черенка.

Признаки поврежденного состояния: характеризуются наличие затемнения в центре глазка в области центральной почки, просветление по краям глазка, равномерное затемнение от основания подушечки к конусообразной верхушке глазка (рис. 4.27, 4.28)



Рис. 4.27. Рентгеновские снимки поврежденных глазков винограда (центральная почка мертвая, замещающая – живые)

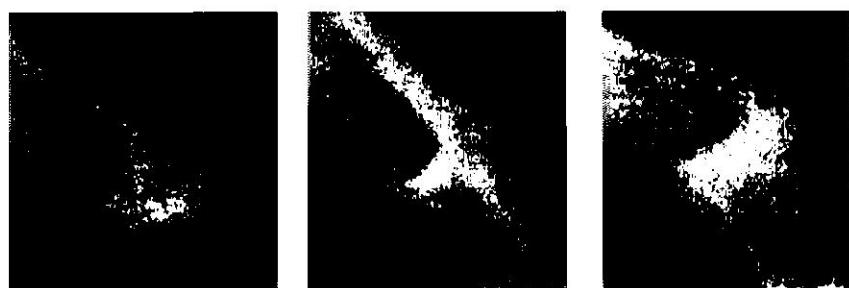


Рис. 4.28. Рентгеновские снимки поврежденных глазков винограда (живая, замещающая почка)

Таким образом, рентгенографический метод оценки сохранности глазков винограда позволяет визуализировать все его внутренние формообразующие структуры, а следовательно, диагностировать наличие или отсутствие повреждения почек в глазке.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение нескольких лет совместными усилиями сотрудников Анапской опытной зональной станции виноградарства и виноделия и Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (СПбГЭТУ) проводились работы по созданию технологии диагностики скрытых дефектов виноградного растения. Разработанные в результате исследований методика микрофокусной рентгенографии виноградного растения, а также комплект технических средств для ее реализации обеспечивают регистрацию всех возможных дефектов каждого из элементов растений.

Особо следует отметить, что указанная технология позволяет не только подробно визуализировать внутренние формообразующие структуры виноградного растения, но и анализировать степень влияния различных возможных дефектов на дальнейшее развитие растения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осадчий И. Я. Анатомия и морфология виноградной прививки. Новочеркасск: Лик. 2011. 86 с.
2. Агроэкологические и экономические ресурсы устойчивого производства винограда / К. А. Серпуховитина, Е. А. Егоров, А. И. Жуков, Н. Н. Перов. Краснодар: Издательский Дом – Юг., 1999. 178 с.
3. Automated analysis of three-dimensional xylem networks using high-resolution computed tomography / Craig R. Brodersen, Eric F. Lee, Brendan Choat // New Phytologist. 2011. Vol. 191. P. 1168–1179.
4. Visualization of the 3D structure of the graft union of grapevine using X-ray tomography / Mayeul Milien, AnneSophie Renault-Spilmont, Sarah Jane Cookson // Scientia Horticulturae. 2012. Vol. 144. P. 130–140.
5. Gustaffson A., Simak M. Effect of X- and Y-ray on conifer seed. // Med. Statens Scogs for skonings institut. 1958. Vol. 48, № 5. P. 1–24.
6. Савин В. Н. Рентгенография для выявления внутренних повреждений и их влияние на урожайные качества семян / В. Н. Савин, М. В. Архипов, А. Л. Баденко и др. // Вестник с.-х. наук. 1981. № 10. С. 99–104.
7. Зайцев В. А. Перспективы рентгенографии в диагностике качества семян / В. А. Зайцев, З. В. Редькина, Л. Б. Грун и др. // Селекция и семеноводство. 1981. № 7. С. 37–38.
8. Нино В. П. Рентгенодиагностическая установка для экспресс-контроля качества / В. П. Нино, А. Ю. Грязнов, Е. Н. Потрахов, Н. Н. Потрахов // Пищевая промышленность. 2008. № 5. С. 18–20.
9. Грязнов А. Ю. Цифровая микрофокусная рентгенография в клинической практике / А. Ю. Грязнов, Е. Н. Потрахов, Н. Н. Потрахов // Петербургский журнал электроники. 2008. № 2–3. С. 163–166.
10. Васильев А. Ю. Микрофокусная рентгенография – от прошлого к будущему / А. Ю. Васильев, Н. С. Серова, И. М. Буланова, Н. Н. Потрахов, А. Ю. Грязнов // Петербургский журнал электроники. 2008. № 2–3. С. 19–25.

11. Никольский М. А. Определение скрытых дефектов места спайки, привитых саженцев винограда / Сборник материалов международной дистанционной научно-практической конференции молодых ученых «Параметры адаптивности многолетних культур в современных условиях развития садоводства и виноградарства. Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиВ, 2008. С. 109–113.
12. Нагорный П. И. Микофлора кавказской виноградной лозы // Тр. Тифлисского ботанического сада. Сер. II. 1930. Т. 5. С. 125.
13. Козарь И. М. Справочник по защите винограда от болезней, вредителей и сорняков. Киев: Урожай, 1990. 112 с.
14. Защита виноградников от болезней и вредителей: рекомендации / А. И. Талаш [и др.]. Краснодар: СКЗНИИСиВ. 2009. 85 с.
15. Защита винограда от болезней, вредителей и сорняков / А. И. Талаш, В. Е. Пойманов, С. И. Агапова. Ростов/н/Д: Издательский Дом – Юг. 2001. 96 с.
16. Талаш А. И. Карантин и система контроля при производстве виноградных саженцев // Питомникодство винограда. Краснодар: Издательский Дом – Юг. СКЗНИИСиВ, 2004. С. 43–50.
17. Малтабар Л. М. Виноградный питомник (теория и практика) / Л. М. Малтабар, Д. М. Козаченко. Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2009. 290 с.
18. Быстров Ю. А., Иванов С. А. Ускорительная техника и рентгеновские приборы: учеб. для ВУЗов. М.: Высшая школа, 1983
19. Блохин М. А. Физика рентгеновских лучей. М.: Гостехтеоретиздат, 1953.
20. Бушуев В. А., Ингал В. Н., Белявская Е. А. // Кристаллография, 1996. Т. 41. Б.5.
21. Кузьмин Р. Н. Рентгеновская оптика // Соросовский образовательный журнал, 1997. №2.
22. Основы рентгенодиагностической техники: учеб. пособие под ред. Н. Н. Блинова. М.: Медицина, 2002. 392 с.
23. Мазуров А. И., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография в медицине // Мед. техника. 2011. № 5. С. 30–34.
24. Кеннет Л. Бонтрагер М. Руководство по рентгенографии с рентгеноанатомическим атласом укладок: изд-во ИНТЕЛМедтехника, 2005. 848 с.
25. Васильев А. Ю. Рентгенография с прямым многократным увеличением в клинической практике. М.: ИПТК «ЛОГОС», 1998. 148 с.
26. Рентгеновские диагностические аппараты: в 2 т. / под ред. Н. Н. Блинова, Б. И. Леонова. М.: ВНИИИМТ, НПО «Экран», 2001. Т. 2. 140 с.
27. Пат. на изобр. 2278440 РФ, МПК H01J35/02, H05G1/02, A61B6/03. Моноблок источника рентгеновского излучения / Потрахов Н. Н., Мухин В. М.; - № 200511181309/09; заявл. 20.04.05; опубл. 20.06.05. Бюл. №17.
28. Сорт в виноградарстве / Отв. ред. Т. Г. Катарьян. М. 1962. 204 с.
29. Определение всхожести семян винограда, методом микрофокусной рентгенографии. Учебно-методическое пособие. / М.А. Никольский, М.И. Панкин, М.Д. Ларькина, А.Ю. Грязнов, Н.Н. Потрахов // – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2014 – 20 с.
30. Никольский, М.А. Определение качества срастания привитых компонентов саженцев винограда, методом микрофокусной рентгенографии: Учеб-метод. пособие. / М. А. Никольский, М. И. Панкин, А. Ю. Грязнов, Н. Н. Потрахов // Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2014. 20 с.
31. Определение степени поражённости посадочного материала винограда сосудистым некрозом, методом микрофокусной рентгенографии: Учеб-метод. пособие. / М. А. Никольский, М. И. Панкин, А. Ю. Грязнов, Н. Н. Потрахов // Краснодар: Издательский Дом – Юг. 2014. 20 с.
32. Определение сохранности виноградных глазков, методом микрофокусной рентгенографии. Метод. рекомендации / М.А. Никольский, А. Ю. Грязнов, К. К. Жамова // Краснодар: Издательский Дом. Юг, 2014. 16 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### МНОГОЦЕЛЕВАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ПРДУ-02

#### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Контроль качества продовольственного и фуражного зерна, семян зерновых и овощных культур
- Приватия саженцев различных растений в сельскохозяйственной отрасли
- Контроль качества консервированной продукции в пищевой промышленности
- Контроль готовых изделий из различных стадий технологического процесса в электронной промышленности
- Криминалистика и судебно-экспертиза
- Технологический контроль и др.

#### ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ:

- Навеска в 1000-1200 семян из пробы по ГОСТ 28666.2-90 фиксируется на карточках с клейким слоем
- Карточки рентгенографируются последовательно на установке ПРДУ-02
- Рентгеновские изображения выводятся на монитор компьютера для визуального наблюдения
- Автоматический анализ с помощью программы SEAN на предмет наличия в пробе зерновок с дефектами
- Время диагностики одной пробы - не более 15 минут
- Производительность - 2000 проб в месяц

#### АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЯВИТЬ:

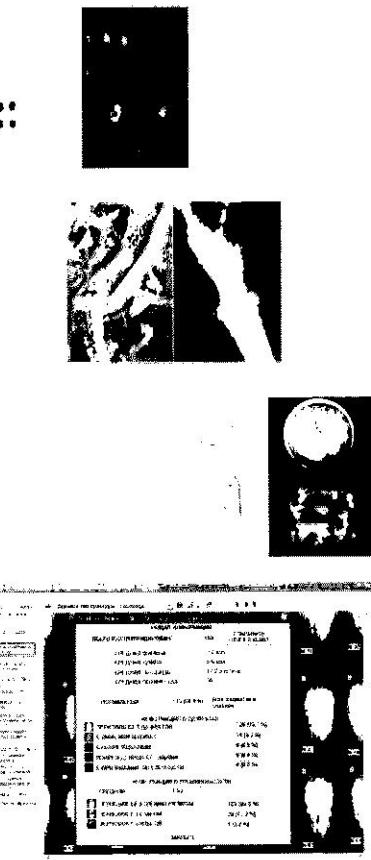
- внутреннюю трещинчатость
- грибную инфекцию
- скрытую заселенность и поврежденность насекомыми
- скрытое прорастание
- наличие пустых семян

#### ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Уверенная идентификация скрытых дефектов
- Высокая скорость распознавания дефектов и их оценка содержания в образце
- существенное снижение рисков и ущерба от неточивой классификации и приемки партий зерна



ЗАЩИЩЕН ПО ЗАКОНОМ ОБОРОНЫ РОССИИ



### МНОГОЦЕЛЕВАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ПРДУ-02

ПРИМЕНЯЕТСЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### Основные технические характеристики установки ПРДУ-02

Габаритные размеры, мм	660 x 900 x 800
Общая масса установки с ИК не более	250
Размер фокусного пятна не более, мм	0,2
Диапазон единого излучения, кВ	5-50
Диапазон измеренного тока, мА	20-200
Максимальная плотность контролируемых предметов, км (по АР)	3
Разрешающая способность установки по выполнению стальной проволоки диаметром, мк	0,05

#### ЗАЩИТА:

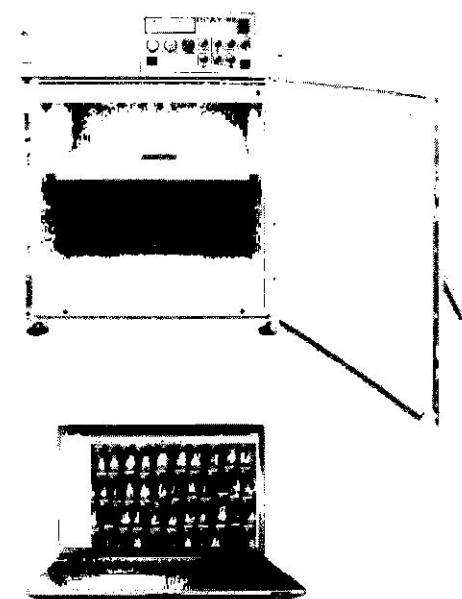
- Конструкция установки ПРДУ-02 обеспечивает полную защиту от рентгеновского излучения и в соответствии с ОСПОРБ-99 полностью освобождена от радиационного контроля и учета.

#### КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ:

- Стационарный рентгеновский аппарат
- Цифровое устройство для визуализации рентгеновского изображения
- Камера для проведения рентгенографических работ
- Модуль для обнаружения и анализа скрытых дефектов зерна
- Программное обеспечение "Агротест" и SEAN для реализации методики

#### ОСНОВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ:

- Обнаружение и анализ скрытых дефектов в семенах зерновых культур: скрытых повреждениях приушинки насекомыми, внутренних трещин, гнилью, отсутствии зерна, скрытых повреждениях и тд.
- Установка позволяет проверять пробу из 1000 зерен в один разъемчик, что избавляет от нескольких единиц для изучения дефектов микрометров



ЗАЩИЩЕН ПО ЗАКОНОМ ОБОРОНЫ РОССИИ

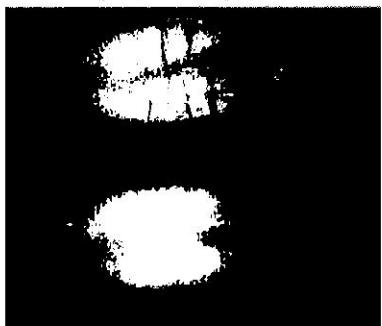
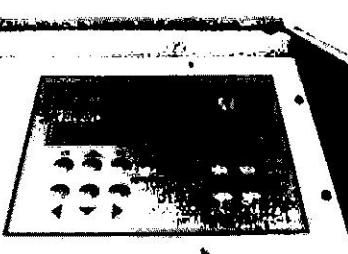
## РЕНТГЕНОВСКИЙ МИКРОСКОП

Первый российский рентгеновский микроскоп РМ-01 предназначен для получения рентгеновских изображений объектов диагностики малого размера, увеличенных до нескольких сот раз.

### Основные технические характеристики:

Габаритные размеры, не более	650 · 800 · 1600 мм
Масса, не более	200 кг
Диапазон напряжений на рентгеновской трубке	10 · 70 кВ
Максимальный ток рентгеновской трубы	200 мА
Диаметр фокусного пятна, не более	5 мкм

В процессе рентгеновской съемки объект диагностики размещается в специальном держателе, который в ручном или автоматическом режиме обеспечивает его перемещение в горизонтальной плоскости (по двум координатам) и по вертикали, а также его вращение вокруг оси.



Рентгеновские изображения зерновок овса.  
Коэффициент увеличения изображения - 30.

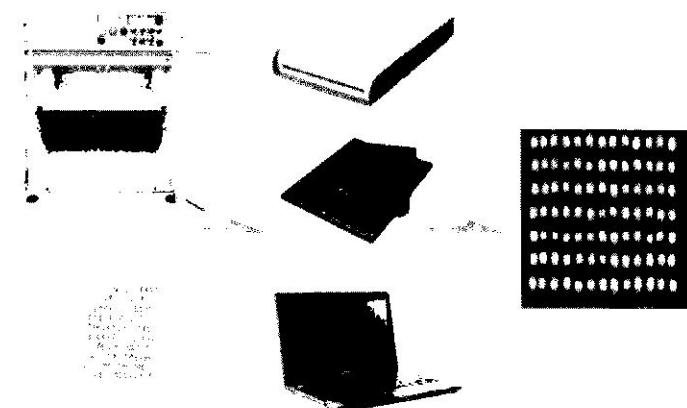
**ЭЛТЕХ-Мед**

## ПРОГРАММА АГРОТЕСТ 2.0

ПОДДЕРЖКА ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

### РАБОТА ПРОГРАММЫ АГРОТЕСТ 2.0

- Программа Агротест 2.0 получает на вход графический файл рентгенограммы, полученный с помощью передвижной рентгенодиагностической конус ганомки ПРДУ 02, содержащий в среднем рентгеновское изображение 100-120 зерновок.



На вход программы могут поступать не только отдельные графические файлы, но и пакеты таких файлов, содержащие от 2 до 50 рентгеновских изображений, которые обрабатываются совместно.

• В результате анализа каждой отдельной зерновки производится как вычисление ее общих показателей (ширины, высоты, площадь фронтальной проекции, общая выполнленность), так и автоматический анализ наличия дефектов. Программой выявляются следующие дефекты зерновки:

- скрытая грахимированность (причиноватость);
- энзимомикотическое гниение (андисперм);
- механические повреждения (сколы);
- поражения насекомыми (блотом вредной черепашкой и т.д.);
- признаки заселенности насекомыми наличие ходов и камер личинок.
- Для каждого из типов дефектов автоматически вычисляются его количественные показатели – степень пораженности данным дефектом.
- Данные по каждой исследованной зерновке сохраняются в виде таблиц, которые можно просматривать и обрабатывать в программе Microsoft Excel.
- Суммарные данные, характеризующие качество обработанной пробы в целом, сохраняются в виде текстового отчета.

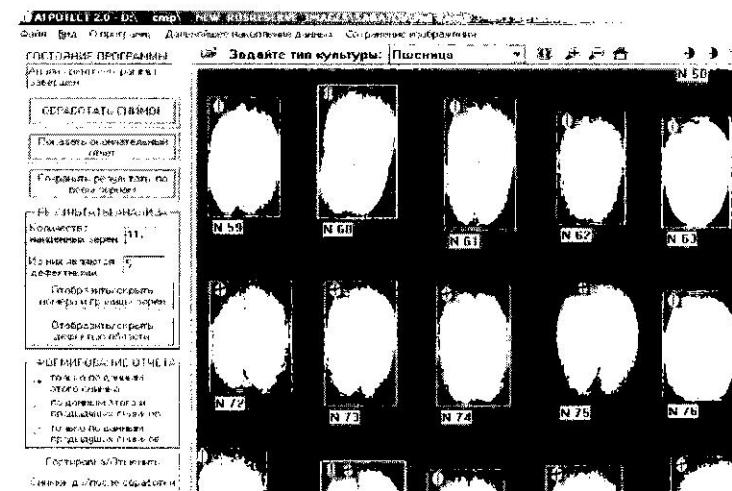
**ЭЛТЕХ-Мед**

АДРЕС: 125009, Москва, ул. Борисоглебская, д. 10, стр. 1



#### НАЗНАЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ АГРОТЕСТ 2.0:

- автоматический анализ качественных и количественных показателей семян/зерна сельскохозяйственных культур по их рентгеновским изображениям



#### ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА:

- комплексный анализ рентгенографических показателей
- простота в использовании
- устойчивость к погрешностям аппаратуры съемки
- возможность пакетной обработки рентгенограмм
- количественная оценка скрытой травмированности
- автоматическая оценка скрытой заселенности вредителями
- количественная оценка поврежденности насекомыми
- оценка размеров и выполненности зерновок
- возможность визуализации найденных дефектов

#### РАЗРАБОТЧИКИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА:

- ЗАО "ЭЛТЕХ-Мед" (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина)), e-mail: KZhamova@mail.com (Жамова Карина Константиновна)
- ФГБНУ "Агрофизический научно-исследовательский институт" возможность визуализации найденных дефектов, e-mail: alex\_spb7@hotmail.com (Желудков Александр Геннадьевич, к. ф. м.н.)
- ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва (e-mail: grain-miller@yandex.ru) (Белецкий Сергей Леонидович, к.т.н.)



Сайт: [www.eltech-med.ru](http://www.eltech-med.ru) | E-mail: [eltech-med@mail.ru](mailto:eltech-med@mail.ru)

Редактор Н. Г. Скачек

По написанию печать 07.09.15. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать цифровая. Неч. л. 2,75.

Типография «Times New Roman». Тираж 50 экз. Заказ 70.

Издательство СибГУ «ЛЭТИ»

197376, С. Петербург, ул. Проф. Попова, 5