РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур»

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

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

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Методические указания

Москва – Санкт-Петербург Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2015

УДК 539.261(07) + 581.48(07)

Рентгенографический анализ качества семян овощных культур: метод. указания / отв. сост. к. с.-х. н. Ф. Б. Мусаев. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015.42 c.

Рассмотрены физико-технические особенности рентгенографии семян овощных культур и конкретные примеры использования отечественных рентгеновских установок для рентгенографии семян сельскохозяйственных растений в научных и практических целях.

Представляет интерес для руководителей и сотрудников организаций, специализирующихся в области производства семян и зерна, а также для преподавателей и студентов аграрных вузов.

Рекомендовано к печати: ученым советом ФГБНУ АФИ, протокол № 1 от 29 января 2015 г.; научно-методическим советом ФГБНУ ВНИИССОК, протокол №1 от 10 февраля 2015 г.

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве методических указаний

Оглавление

Введение	4
1. Физико-технические особенности рентгенографии семян овощных культур	6
1.1. Контактный способ рентгеновской съемки	
1.2. Способ рентгеновской съемки с увеличением изображения	8
2. Технические средства рентгенографии семян	12
3. Технология подготовки семян овощных культур	
для рентгеновской съемки, режимы получения	
рентгеновских изображений, приемы их описания	
и статистической обработки полученных результатов	13
3.1. Технология подготовки семян овощных культур	
для рентгеновской съемки	13
3.2. Режимы получения рентгеновских изображений семян	
3.3. Описание полученных изображений	16
4. Результаты рентгенографического анализа	
семян овощных культур	16
4.1. Рентгенографические признаки нормального семени	18
4.2. Некоторые рентгенографические признаки дефектности семян,	
часто обнаруживаемые на рентгенограммах	19
4.3. Морфометрические изменения на рентгеновском	
изображении семян	25
5. Перспективы использования рентгенографии	
в семеноводстве и семеноведении овощных культур	29
Заключение	
Список использованной литературы	33
Приломение	36

ВВЕДЕНИЕ

Качество производимых сегодня семян является главной проблемой в отечественном семеноводстве. Посевные качества семян, даже при их высоких сортовых свойствах, часто оставляют желать лучшего. Констатация низкой всхожести не дает представления о ее причинах, а лишь помогает решить вопрос о норме высева или вообще о рациональности использования такой партии семян. При анализе причин низкой всхожести можно предполагать влияние неблагоприятных погодных условий, ошибок агротехники и других внешних факторов, но более рациональный подход — выяснение изменений, происходящих внутри самого семени и повлекших за собой невсхожесть семян или уродства в проростках.

Получить информацию об особенностях внутреннего строения семени (не разрушая его), до того как эти качества проявятся в растении, можно с помощью метода рентгенографии (рентгеноскопии). Сопоставление рентгеновских снимков двух семян, одно из которых дало нормальный росток, а другое не проросло, позволяет сделать вывод о том, как должна выглядеть структура нормального семени и какие нарушения в структуре семени могли привести к его гибели.

Метод рентгенодиагностики для различных биологических объектов с целью визуализации их внутренней структуры известен уже более 100 лет – с момента открытия рентгеновского излучения Вильгельмом Конрадом Рентгеном (1895). Метод до сих пор остаётся активно востребованным практически во всех отраслях народного хозяйства, науки и техники и продолжает активно развиваться.

Семена сельскохозяйственных культур были одними из первых объектов диагностики этим методом [1]. Однако в агрономии исследования в области рентгенографии семян системного развития не получили. Причиной этому были малые размеры семян, что не позволяло при существующем уровне развития технических средств рентгенодиагностики извлечь необходимое количество информации о внутреннем строении семени и требовало создания специализированной аппаратуры.

В связи с этим исследования в области применения рентгеновского излучения в семеноводстве развивались медленно. Только в 1987 г. был опубликован Международный стандарт ISO 6639-4/87, а затем и отечественный отраслевой стандарт ОСТ 56-94—88 на рентгеновский метод определения за-

ражённости семян насекомыми. Однако вследствие технологической непроработанности и отсутствия аппаратуры, специально предназначенной для этой цели, метод не нашёл широкого применения.

В 1976 г. в ЛОЭП «Светлана» был создан рентгеновский аппарат «Электроника-25» на основе совместных работ с НИИ АФИ [2]. Аппарат оказался востребованным как в СССР, так и в ряде стран Восточной Европы, главным образом в научно-исследовательских учреждениях. Он широко применялся в исследованиях влияния на зерно хлебных злаков технологических условий его производства, включая посев, выращивание, уборку, транспортировку, хранение и различные виды послеуборочной подработки (очистка, сепарация, сушка и др.) Результаты оказались весьма полезными для отработки приёмов минимизации повреждений, получаемых зерном на разных этапах этих технологий [1], [3]—[7]. По результатам многолетних исследований была разработана и утверждена «Методика рентгенографии в земледелии и растениеводстве» [8].

Для семян овощных культур рентгеновский метод применялся в основном с целью экспресс-оценки качества партий семян, закупаемых у оригинаторов (фирм, торгующих семенами). Процент невыполненных семян, сравнительно легко определяемых на снимках в репрезентативной выборке из партии, давал часто, но не всегда, достаточно точное представление о показателе всхожести партии в целом. Недостаточная различимость деталей структуры таких малоразмерных объектов диагностики, как семена, не позволяла судить об их жизнеспособности. В ряде случаев семена в партии с отсутствующими пустыми семенами показывали невысокие показатели всхожести и жизнеспособности [9]–[13].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости дальнейшего развития и совершенствования технологии рентгенодиагностики семян овощных культур.

Методические указания подготовлены авторским коллективом в составе: к. с.-х. н. Ф. Б. Мусаев, к. с.-х. н. М. С. Антошкина (ФГБНУ ВНИИССОК); д. б. н. М. В. Архипов (ФГБНУ С-3 «Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения», ФГБНУ АФИ); к. б. н. Л. П. Великанов, к. б. н. Л. П. Гусакова (ФГБНУ АФИ); к. т. н. В. Б. Бессонов, д. т. н. А. Ю. Грязнов, К. К. Жамова, В. О. Косов, к. т. н. Е. Н. Потрахов, д. т. н. Н. Н. Потрахов (ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

1. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕНТГЕНОГРАФИИ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Размеры отдельного семени большинства овощных культур и, 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 [14] не позволяет в настоящее время обеспечить качество изображения семян, достаточное для обнаружения основных дефектов их внутреннего строения. Для решения этой задачи может быть использован так называемый микрофокусный способ получения рентгеновских изображений [15].

Основным отличием микрофокусного способа съемки от традиционного контактного является уменьшенный в десять и более раз размер фокусного пятна рентгеновской трубки, используемой для проведения рентгенографических исследований. На рис. 1.1 схематично представлена типовая конструкция современной рентгеновской трубки и указаны рентгенооптические параметры, варьируемые при съемке.

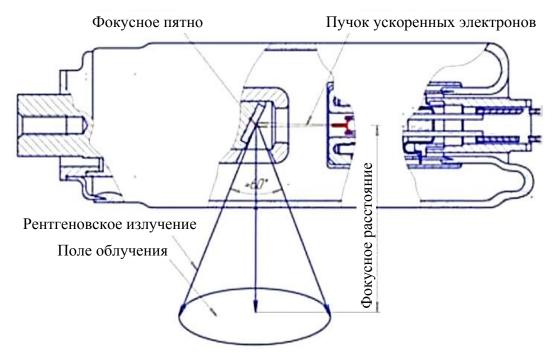


Рис. 1.1. Типовая конструкция рентгеновской трубки и основные рентгенооптические параметры

Основными из этих параметров являются:

– размер фокусного пятна (участок на мишени анода рентгеновской трубки, с поверхности которого происходит генерация излучения [16]);

- фокусное расстояние (расстояние от фокусного пятна до объекта съемки);
- поле облучения (участок поверхности приемника рентгеновского изображения, на которую падает поток излучения).

1.1. Контактный способ рентгеновской съемки

При съемке контактным способом (рис. 1.2) используется рентгеновская трубка (далее источник излучения) I с протяженным фокусным пятном d_1 ($d_1 \approx 1$ мм).

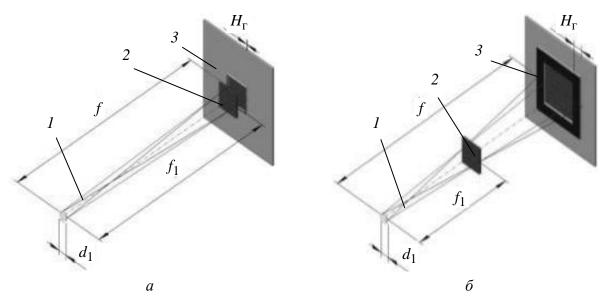


Рис. 1.2. Рентгенооптическая схема съемки в стандартной рентгенографии: a – контактный способ; б – способ съемки с увеличением изображения

Объект съемки 2 располагается на достаточно большом расстоянии f от источника излучения I и вплотную («в контакте») к приемнику изображения 3 (рис. 1.2, a). Такое расположение технических средств и объекта рентгеновской съемки принято в стандартной рентгенографии [14].

Их 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_{Γ}) изображения. При этом расстояние f выбирается, исходя из требований к нерезкости получаемых снимков, с учетом конкретных размеров фокусного пятна рентгеновской трубки d_1 и толщины объекта. Уменьшение расстояния f (фокусного расстояния) приводит к ухудшению качества снимка вследствие увеличения H_{Γ} . 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_{Γ}

(рис. 1.2, δ). 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 $m \approx 1$.

1.2. Способ рентгеновской съемки с увеличением изображения

При съемке с увеличением изображения используется источник излучения I с так называемым точечным фокусным пятном d_2 (рис. 1.3). Практика рентгенографии показывает, что для большинства рентгенодиагностических задач коэффициент увеличения изображения не превышает 5–7 раз [17]. 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. 1.3) располагается на определенном расстоянии как от источника излучения I, так и от приемника изображения 3. Независимо от того, в каком положении находится объект съемки в пространстве между фокусным пятном

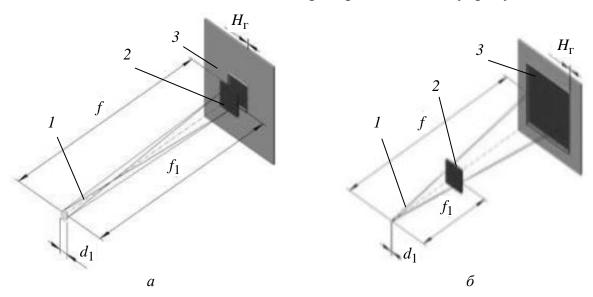
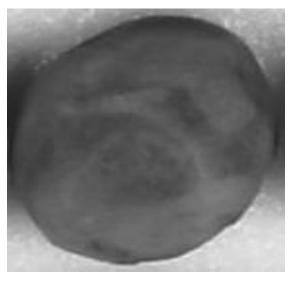


Рис. 1.3. Рентгенооптическая схема съемки в микрофокусной рентгенографии: a – контактный способ; δ – способ съемки с увеличением изображения

источника излучения и плоскостью приемника, резкость полученного изображения в указанном диапазоне значений коэффициента его увеличения сохраняется (рис. 1.3, δ).

Для демонстрации преимуществ микрофокусной рентгенографии по сравнению со стандартной рентгенографией в качестве тест-объекта было использовано семя гороха, содержащее детали строения размером от нескольких десятков микрометров (рис. 1.4).



Puc. 1.4. Увеличенное оптическое изображение тест-объекта (семя гороха)

Рентгеновские снимки тест-объекта, полученные по методике стандартной рентгенографии на аппарате с протяженным фокусным пятном, представлены на рис. 1.5.

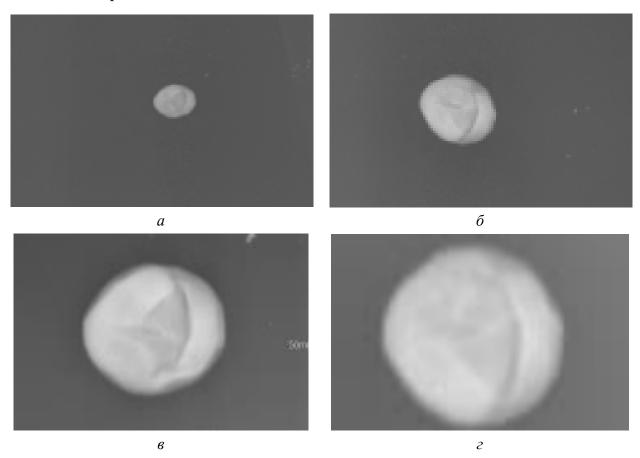
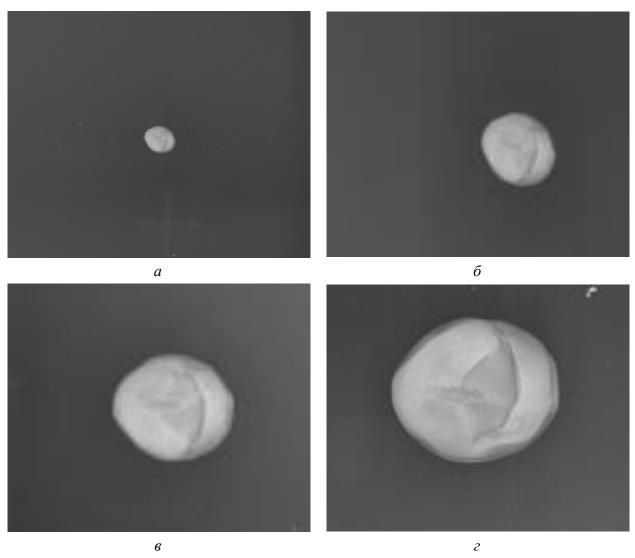


Рис. 1.5. Рентгеновские снимки тест-объекта, полученные на аппарате с протяженным фокусным пятном: a – без увеличения изображения; δ , ϵ , ϵ – с коэффициентом увеличения изображения m, равным 2, 4, 8 соответственно

Из рис. 1.5 хорошо видно, что с ростом коэффициента увеличения изображения информативность получаемых снимков существенно уменьшается по сравнению с контактным снимком вследствие возникающей нерезкости изображения.

На рис. 1.6 представлены рентгеновские снимки того же тест-объекта, полученные по методике микрофокусной рентгенографии на аппарате с точечным фокусным пятном (d < 0.1 мм) без увеличения изображения и с увеличением изображения m. На микрофокусных снимках с увеличением изображения по аналогии с оптической микроскопией не только сохраняется резкость, но и по мере роста коэффициента увеличения обнаруживаются новые детали строения объекта, ранее не различимые на контактном снимке.



Puc. 1.6. Рентгеновские снимки тест-объекта, полученные на аппарате с точечным фокусным пятном: a – без увеличения изображения; δ , ϵ , ϵ – с коэффициентом увеличения изображения m, равным 2, 4, 8 соответственно

Описанные отличительные особенности способа съемки с увеличением изображения в микрофокусной рентгенографии от контактного способа в стандартной рентгенографии получили название «эффект увеличения глубины резкости» [18].

Преимущества описанного микрофокусного способа рентгеновской съемки семян [19] по сравнению с традиционным – контактным методом дополнительно проиллюстрированы рентгеновскими изображениями семян на рис. 1.7: a – рентгеновский снимок так называемой карточки (см. рис. 3.1) с семенами кориандра, полученный контактным способом съемки на аппарате с протяженным фокусным пятном (стандартная рентгенография); поскольку геометрические размеры семян составляют около миллиметра, с целью дальнейшего анализа рентгеновское изображение каждого семени увеличивается, например, с помощью лупы и микроскопа; δ – оптически увеличенное рентгеновское изображение одного из семян, размещенных на карточке. Для сравнения на рис. 1.7, ϵ представлено увеличенное рентгеновское изображение этого же семени, полученное микрофокусным способом.

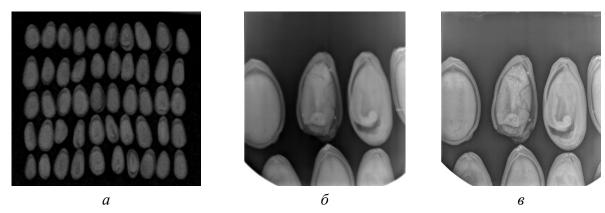


Рис. 1.7. Рентгенограммы семян кориандра, полученные: a – при контактной съемке; δ – контактной с последующим оптическим увеличением; ϵ – при прямом рентгеновском увеличении

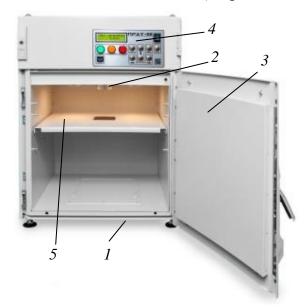
Чтобы подчеркнуть принципиальное отличие механизмов увеличения рентгеновского изображения объекта исследования: оптическое или электронное (с помощью компьютера) в контактном способе и геометрическое – в микрофокусном способе, последний принято называть способом съемки «с прямым рентгеновским увеличением» [17].

Очевидно, что даже при визуальной оценке резкость, контраст и, соответственно, количество обнаруживаемых деталей строения семени на снимке с прямым рентгеновским увеличением существенно больше, чем на оптически увеличенном контактном снимке.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РЕНТГЕНОГРАФИИ СЕМЯН

Для реализации метода микрофокусной съемки семян была разработана специализированная передвижная рентгенодиагностическая установка ПРДУ-02 [20]–[22]. В состав установки ПРДУ-02 (рис. 2.1) входят:

- рентгенозащитная камера для проведения рентгенографических работ (1);
- источник рентгеновского излучения моноблочного типа РАП-70М (2);
- приемник рентгеновского изображения на основе экрана с фотостимулируемым люминофором (ФСЛ-экран) [23] (на рис. 2.1 не показан);
- персональный компьютер (ПК) со специализированным программным обеспечением [24], [25] (на рис. 2.1 не показан).



Рентгенозащитная камера снабжена дверью 3 для загрузки объектов съемки. Органы управления 4 (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

Рис. 2.1. Внешний вид установки ПРДУ-02 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, от-ключающей высокое напряжение на трубке при открывании.

Внутри рентгенозащитной камеры располагается столик 5 для размещения объектов съемки и ФСЛ-экрана. 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. ФСЛ-экран располагается на дне рентгенозащитной камеры. Считывание рентгеновского изображения с ФСЛ-экрана осуществляется с помощью считывающего устройства (сканера), входящего в состав установки.

Установка ПРДУ-02 позволяет получать одновременно изображения от нескольких единиц до нескольких сотен семян с увеличением до десяти крат. Этого достаточно, чтобы выявить основные типы дефектов семян: невыполненность, дефекты зародыша, травмированность, скрытую заселенность и поврежденность насекомыми, скрытое прорастание семян и др.

Однако для исследования более «мелких» морфологических особенностей строения семян необходимо получать изображение с большим увеличением. С этой целью может быть использована еще одна специализированная установка - рентгеновский микроскоп РМ-01 (рис. 2.2). В отличие от установки ПРДУ-02 установка 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),



Рис. 2.2. Внешний вид установки РМ-01

по вертикали, а также вращение вокруг оси. Визуализация рентгеновского изображения осуществляется с помощью приемника изображения, построенного по схеме «экран—оптика—ПЗС» [23]. Возможно также использование более чувствительного приемника на основе ФСЛ-экрана.

3. ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ СЪЕМКИ, РЕЖИМЫ ПОЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРИЕМЫ ИХ ОПИСАНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Технология подготовки семян овощных культур для рентгеновской съемки

Подготовка семян к рентгеновской съемке – процесс более длительный, чем сама съемка. Правильная подготовка семян в дальнейшем позволит исключить возможные трудности в описании и анализе снимков.

Семена для рентгеновской съемки отбираются из контролируемой партии по общепринятой методике отбора проб на анализ для контрольно-семенных лабораторий (ГОСТ 12036–85) [26]. В соответствии с этой методикой из четверти от последнего деления контролируемой партии произвольно отсчитывается 400 семян. Отсчитанные семена также произвольно делятся на 4 части по 100 штук в каждой.

Для расположения семян в нужной для съемки позиции используются специальные карточки, изготавливаемые из тонкой клеящейся ленты на бумажной или целлофановой основе. Вследствие малых размеров и низкой плотности семян важны толщина ленты, тип клея и равномерность его нанесения. Карточки усиливаются рамками, вырезанными из картона толщиной 2...3 мм (рис. 3.1).

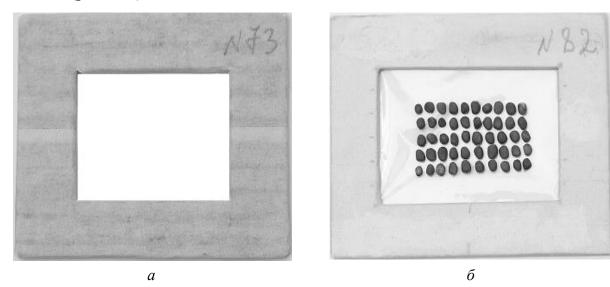


Рис. 3.1. Карточки для рентгеновской съемки: a – без семян; δ – с семенами

В комплект поставки установок ПРДУ и РМ-01 включены рамки со следующими размерами внутреннего проема: для мелких семян -35×50 мм, для семян средних размеров -40×55 мм, для крупных -55×75 мм. Ширина стенок рамок составляет -12...20 мм.

Число одновременно просвечиваемых семян зависит от их размера и заданной величины прямого рентгеновского увеличения изображения. При выборе геометрии съемки нужно стремиться к тому, чтобы практически всё рабочее поле кассеты с ФСЛ-экраном было занято проекциями семян. Конкретные размеры рамок зависят от линейных размеров анализируемых семян.

С помощью пинцета или специального шаблона семена из отобранной пробы раскладываются на карточке в пять рядов по 10 штук в каждом. Всего располагается 50 семян (такое количество семян целесообразно с точки зрения дальнейшего анализа их рентгеновских изображений).

Для обеспечения резкости получаемого изображения семена при ручной раскладке необходимо располагать максимально плотно к центру карточки. При этом пространственная ориентация семян должна быть одинаковой; широкой стороной, рубчиком строго в одну сторону (для округлых и ровных семян пространственная ориентация затруднена). С целью последующей идентификации рентгеновских снимков на рамку карточки наносится номер варианта и название образца. Если есть возможность, целесообразно использовать рентгеноконтрастные метки, которые будут отображаться на рентгеновских снимках семян.

3.2. Режимы получения рентгеновских изображений семян

Режим рентгеновской съемки определяют три параметра: напряжение и ток трубки, а также время экспозиция съемки. Для различных видов семян овощных культур в зависимости от их линейных размеров и плотности применяются разные режимы съемки.

В табл. 3.1 приводятся ориентировочные режимы рентгеновской съемки семян некоторых видов овощных культур на установке ПРДУ-02.

Tаблица 3.1 Режимы рентгеновской съемки семян овощных культур

No	Вид, культура	Напряжение, кВ	Ток, мкА	Экспозиция, с
1	Укроп, морковь	18	100	5
2	Томат	19	105	10
3	Перец, баклажан	16	100	2
4	Лук	16	100	3
5	Огурцы	16	100	8
6	Съемка с большим увеличением (до 10 раз)	13	80	25

Рентгеновская съемка проводится путем прямого рентгеновского увеличения (см. 1.2). С этой целью карточка с семенами располагается на столике образцов внутри рентгенозащитной камеры на соответствующем расстоянии как от фокусного пятна рентгеновской трубки, так и от кассеты с ФСЛ-экраном.

Полученные рентгеновские изображения передаются на экран компьютера и анализируются визуально или автоматически на основе разработанной компьютерной программы распознавания дефектов и их количественной оценки [24]. Отснятые семена хранятся в том же виде на карточках вплоть до их последующего проращивания.

Для сбора большей информации дополнительно может проводится фотографирование семян профессиональным фотоаппаратом с макрообъективом.

3.3. Описание полученных изображений

В основу рентгенографического способа оценки качества семян положено свойство различных частей семени, таких как семенная кожура, зародыш, эндосперм, а также поврежденные и неповрежденные его участки, поразному поглощать рентгеновское излучение. Плотность почернения изображения на снимке определяется плотностью конкретного участка семени. Так, хорошо выполненные жизнеспособные семена имеют на рентгенограммах светлое изображение, тогда как пустоты, некрозы, микротрещины и другие повреждения ввиду слабого поглощения излучения дают темные участки изображения. Это позволяет оценивать структуру и степень развития зародыша и эндосперма, определять механические травмы и повреждения семян, вызываемые насекомыми и патогенами. При этом небольшая экспозиционная доза рентгеновского излучения, требуемая при рентгеновской съемке, не влияет на их жизнеспособность.

Таким образом, сравнивая результаты визуального или автоматизированного (компьютерного) анализа изображения семян на рентгенограммах с результатами тестов на прорастание, можно оценивать качество семян и их жизнеспособность.

Нужно отметить, что семена овощных культур для рентгенографического анализа являются малоизученным объектом. Морфобиологические различия семян, обусловленные принадлежностью их к различным ботаническим семействам и видам, требуют индивидуального выбора режимов съемки и специальной подготовки оператора для распознания, описания и анализа рентгенографических (рентгеновских) признаков. Так, например, большинство видов овощных культур относятся к классу двудольных (Magnoliopsida) [27], семена которых в основном состоят из мощных семядолей, за которыми на изображении порой плохо просматривается корешок зародыша. Данную сложность можно преодолеть путем соответствующего расположения семян и также тщательного подбора режимов съемки.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Растения, которые могут быть использованы в качестве овощных культур, находятся в 22 семействах, содержащих более сотни ботанических видов, в связи с чем семена овощных культур обладают огромным морфофизиологическим разнообразием [28]. Селекционным путем созданы тысячи

форм и образцов различных видов овощных культур. Ускорились процессы интродукции овощных культур как из дикой природы, так и из других почвенно-климатических условий. Для того чтобы рентгеновский анализ мог быть применён к семенам любого представителя этого множества, необходимо отработать методику на основных морфологических типах семян, которая могла бы быть использована и для анализа конкретных объектов, представляющих интерес для оригинатора или производителя.

К настоящему времени рентгенографический анализ проведен на семенах 18 овощных культур, принадлежащих к 9 ботаническим семействам (табл. 4.1).

Таблица 4.1 Коллекция исследованных семян овощных культур

No	Семейство	Вид	Культура
1	Астровые – Asteraceae	Latuca sativa L.	Салат
2		Dautus carota L.	Морковь столовая
3	Cory vonožyvy o Anicasas	Anethum graveolens L.	Укроп
4	Сельдерейные – Аріасеае	Apium graveolens L.	Сельдерей
5		Pastináca sátiva L.	Пастернак
6	Капустные – Brassicaceae	Brassica oleracea L., var. capitata L.	Капуста белокочанная
7	Ranyethile – Brassicaceae	Raphanus sativus L.	Редис посевной
8	Бобовые – Fabaceae	Phaseolus vulgaris L.	Фасоль овощная
9	Бооовые – гарасеае	Pisum sativum L.	Горох посевной
10		Lycopersicon esculentum L.	Томат
11	Пасленовые – Solanaceae	Capsicum annuum L.	Перец
12		Solanum melongena L.	Баклажан
13	Маревые – Chenopodiaceae	Beta vulgaris L.	Свекла столовая
14	Тыквенные – Cucurbitaceae	Cucumis sativus L.	Огурец
15	тыквенные – Сисигопасеае	Cucurbita pepo L.	Кабачок
16	Лилейные – Liliaceae	Allium cepa L.	Лук репчатый
17	Яснотковые – Lamiaceae	Osimum basilicum L.	Базилик
18	ленотковые – Lamiaceae	Origanum majorana L.	Майоран

На основании анализа большого количества рентгенограмм семян различных сортообразцов 18 овощных культур выделены и классифицированы рентгеновские признаки, отражающие внутреннее устройство, а также дефекты и аномалии развития семян, которые влияют на их хозяйственное значение.

4.1. Рентгенографические признаки нормального семени

В общем случае рентгеновское изображение семени (проекция) представляет собой тональный черно-белый рисунок, выделяющийся на снимке как область значительно меньшей оптической плотности на более тёмном фоне окру-

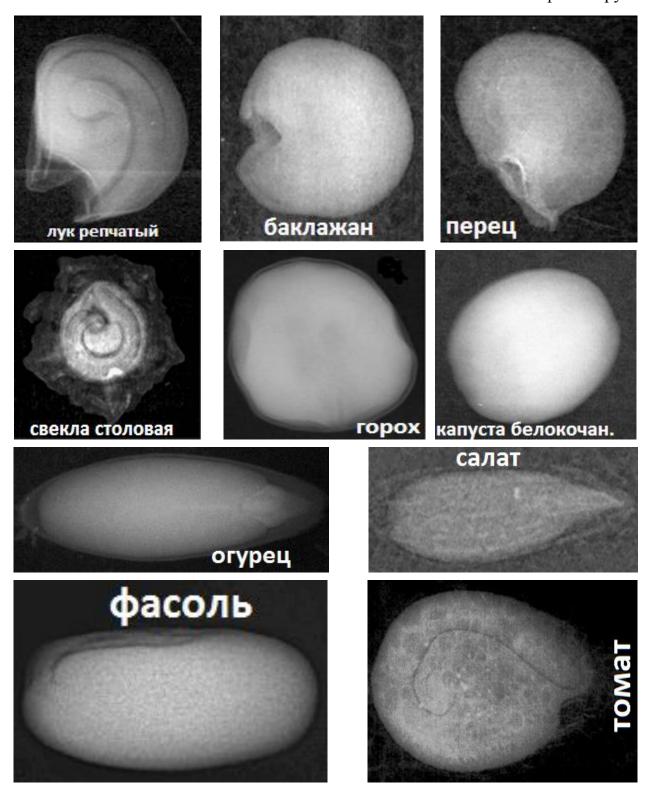


Рис. 4.1. Рентгеновские изображения нормальных семян различных овощных культур

жающего семя пространства. На этом изображении не должно быть участков более тёмных или таких же тёмных, как фон (подложка карточки, на которую наклеиваются семена, и мелкая пыль, на нее осевшая, «прозрачны» для рентгеновского излучения). Однако на рентгеновском изображении нормального семени могут иметься затемнения регулярного, ожидаемого характера. Например, корешок зародыша будет по всей длине равномерно светлый, одной из градаций серого. К его краям и кончику будет идти плавное потемнение, которое обусловлено естественным уменьшением толщины корешка зародыша к краям и кончику. Такое потемнение будем называть регулярным. При этом по длине корешка могут быть и местные нерегулярные потемнения, не встречающиеся у других нормальных семян и указывающие на потерю плотности корешка в данном месте его длины, а следовательно, и на его неполноценность (некрозы, недоразвитость, механическая или какая-либо повреждённость) в той или иной степени. Это относится также и к любой другой части семени. И если проекцию семени пересекает прямая или ломаная чёрная линия, ровная или меняющаяся по длине, то это указывает на трещину.

На основе просмотра некоторого количества снимков семян анализируемого вида и сопоставления с результатами их последующего проращивания, выявляется характерный вид проекции нормального семени. Он «сохраняется» в памяти компьютера и используется в дальнейшем для сравнения при визуальном или автоматизированном анализе диагностируемого образца (рис. 4.1).

4.2. Некоторые рентгенографические признаки дефектности семян, часто обнаруживаемые на рентгенограммах

Признак «отслоение оболочки». На рентгенограммах определяется как наличие темной полоски вокруг семядолей зародыша (рис. 4.2). Данный дефект может быть обусловлен как недоразвитием семядолей зародыша, так и его усыханием.

Признак «**травмированность**» **семян.** На рентгенограммах обнаруживается в виде темных линий на месте обрывов структур, со смещением или без него. Четкие линии обрыва со смещением – что наблюдается на примере семян фасоли, лука и моркови, – свидетельство механического характера травмы, полученной при уборке и обмолоте семян (рис. 4.3).

Признак «недовыполненность» семян. На рентгенограммах достаточно хорошо просматривается; чем большая часть проекции занята темным полем, тем выше степень «недовыполненности» (рис. 4.4).



Рис. 4.2. Примеры рентгеновского признака «отслоение оболочки»



Рис. 4.3. Примеры рентгеновского признака «травмированность семян»

Признак «невыполненность» семян. Для различных овощных культур этот признак хорошо выявляется на рентгенограммах в виде сплошного или в разной степени частичного потемнения проекции. Сплошное потемнение го-

ворит о том, что семя пустое, точнее оно имеет незаполненную оболочку (рис. 4.5, огурец). В случае частичного потемнения видны остатки или начало недоразвившегося зародыша (рис. 4.4, баклажан, капуста).

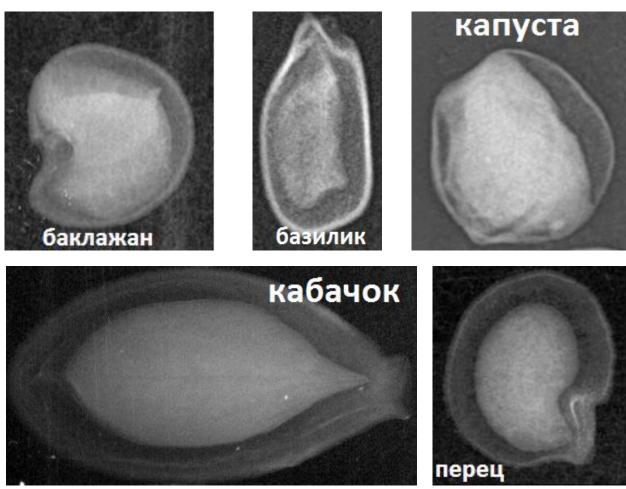


Рис. 4.4. Примеры рентгеновского признака «недовыполненность семян»

Признак «скрытые заселенность и поврежденность» семян. Поврежденность насекомыми и сами насекомые внутри семян рентгенографическим путем определяются достаточно хорошо. Что касается грызущих насекомых, то их повреждения, как правило, представляют собой вытянутые каналы внутри семени, начинающиеся у оболочки и заканчивающиеся или тупиком, в котором находится живое или мёртвое насекомое, или лётным отверстием. Канал отображается как в разной степени извитая темная полоска, насекомое — как более светлое образование в конце канала, лётное отверстие — как темное круглое пятно с диаметром канала, если канал перед отверстием обращён прямо к источнику излучения. Если семя при съёмке обращено к рентгеновской трубке так, что ось канала по отношению к оси пучка излучения расположена под углом, отличным от прямого, то характеризующая его полоска может быть в разной степени затемнена по длине или

совсем пропадать из поля зрения, также как и лётное отверстие. Однако определенный опыт позволяет и в этих неярких случаях выявлять повреждения насекомыми.

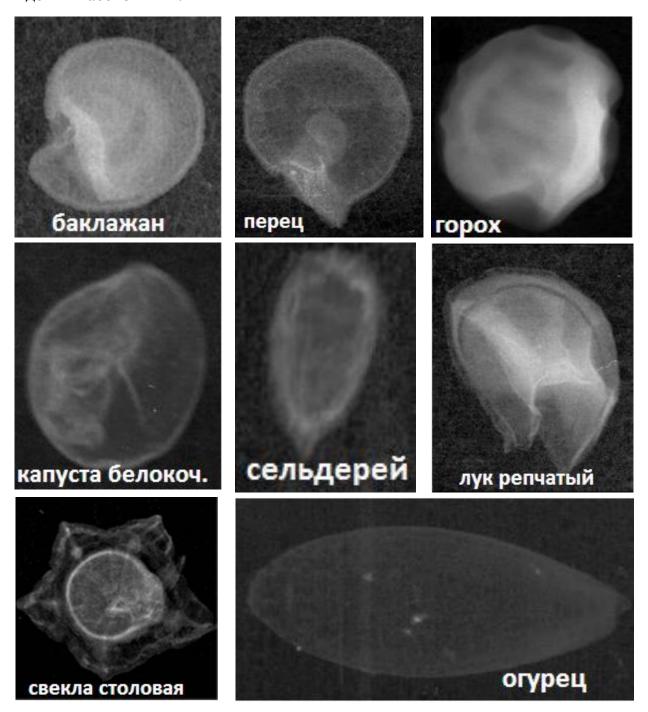
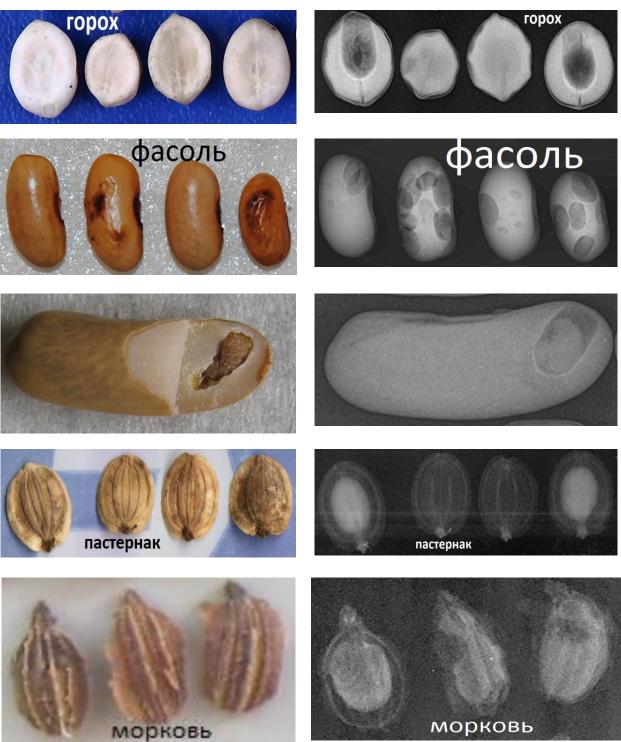


Рис. 4.5. Примеры рентгеновского признака «невыполненность» эндосперма и семядолей

Некоторые насекомые проделывают не каналы, а целые полости неопределённой формы (укроп, морковь). Для живых насекомых, перемещающихся во время съёмки, характерна некоторая размытость проекции и весьма светлая окраска (тело плотное). При подозрении на наличие живых насекомых и оценке важности информации об этом (если семена предполагается хранить неко-

торое время) производится повторная съёмка. Если насекомое живое, повторно оно будет снято уже в другой позиции, чем на момент первой съёмки. Чтобы убедиться в его активности в данный момент, делают дополнительно два снимка с интервалом в 2...3 мин. Смена позиции насекомого или его силуэта (вытянулся, сжался), однозначно укажет на его активность.



Puc. 4.6. Примеры рентгеновского признака «скрытая заселенность и поврежденность» семян насекомыми-вредителями (фотография и рентгенография)

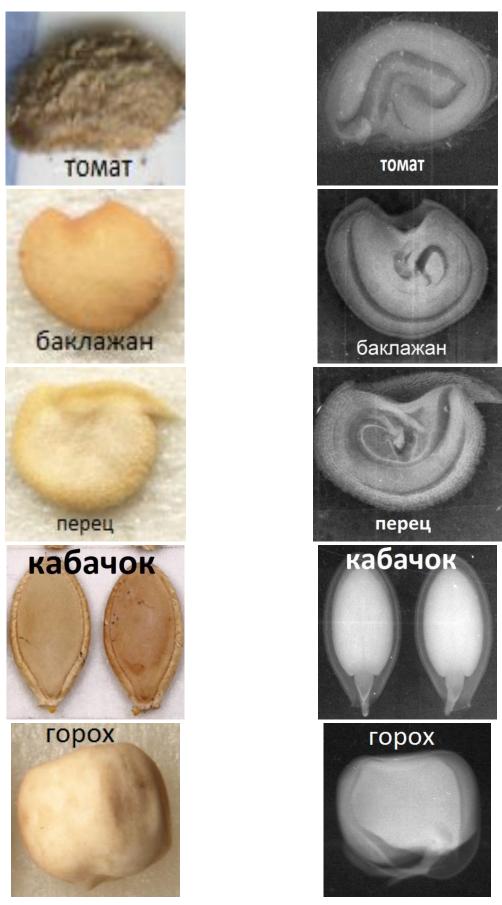


Рис. 4.7. Примеры рентгеновского признака «внутреннее (скрытое) прорастание» семян (фотография и рентгенография)

Представленные на рис. 4.6 семена гороха и фасоли заселены гороховой зерновкой (Bruchus pisorum L.) еще на поле, а после уборки (во время хранения семян) их вредоносность резко возрастает.

Семенники моркови и пастернака еще на стадии цветения или завязывания плодов были поражены вредителем клопом — полосатым щитником (Graphosoma lineatum L.), в результате чего эндосперм семян моркови сильно поврежден, а в семенах пастернака (2-е и 3-е по счету рентгеновское изображение на снимке) зародыш совсем не формировался [29].

Признак «внутреннее (скрытое) прорастание» семян. Внутреннее прорастание семян может произойти как до уборки (внутри сочного плода до выпуска семян или на семенниках после продолжительных осенних дождей), так и во время хранения (из-за несвоевременной сушки либо от избыточного увлажнения). В любом случае преждевременное прорастание — явление вредное для семян. Даже небольшое набухание и прорастание семени способно привести к нарушению внутренней структуры, после которого невозможно восстановить его покой.

Рентгенографический метод эффективно выявляет внутреннее прорастание семян, в то время как внешне семена выглядят нормальными (рис. 4.7) с сохранением формы и цвета, только нежная оболочка некоторых видов семян могут треснуть при увлажнении. В целом, детали зародыша и эндосперма при кратковременном увлажнении приобретают более четкие очертания (рис. 4.7) по сравнению с их плотной укладкой у сухих нормальных семян (см. рис. 4.1).

Внутреннее прорастание семян характеризуется на рентгенограммах четкими очертаниями корешка зародыша и некоторым его ростом (томат, кабачок, горох). В ряде случаев просматриваются и распустившиеся («тронувшиеся») семяпочки (перец, баклажан). На семенах тыквенных культур (кабачок) внутреннее прорастание семени проявляется в виде отделённости семядолей, роста корешка зародыша, а также микротрещин семядолей, образовавшихся вследствие кратковременного увлажнения и последующей сушки.

4.3. Морфометрические изменения на рентгеновском изображении семян

С помощью рентгенографического метода можно также проследить генотипические изменения, происходящие в растениях, заключенные во внутреннем устройстве семян. Так, например, монокарпические плоды столовой

свеклы в поколении I_0 образовали полноценные, выполненные семена (рис. 4.8, a). При дальнейшем размножении путем самоопыления в инбредном поколении I_2 больше стали появляться семена с дегенерированными зародышами (рис. 4.8, δ , δ) [30], [31].

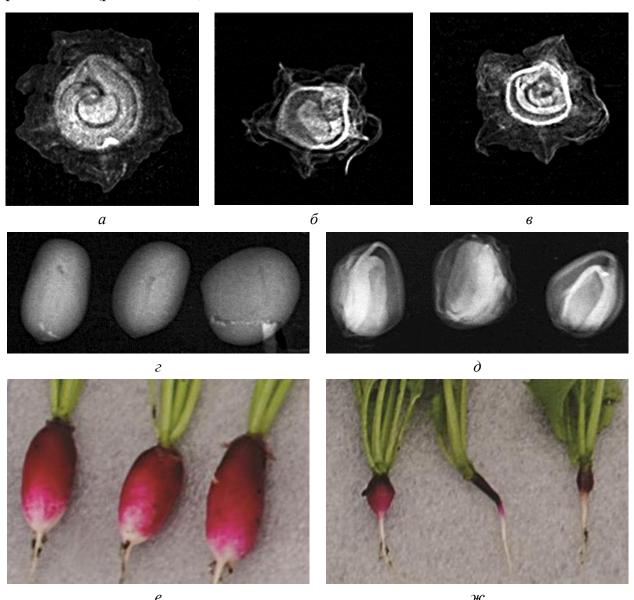
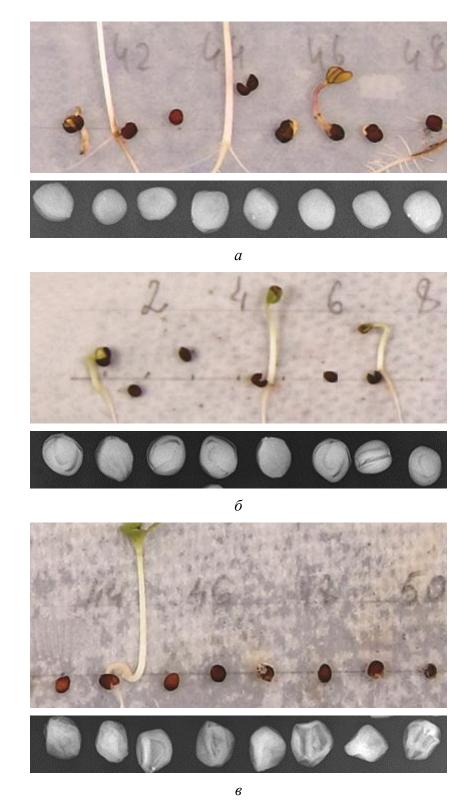


Рис. 4.8. Примеры генотипических изменений, выраженные во внутренней структуре семян

То же самое наблюдается на семенах редиса. Семена сорта «Ария» на рентгеновском снимке (рис. 4.8, ε) имеют равномерную оптическую плотность (плотность почернения) и при проращивании дали полноценные корнеплоды (рис. 4.8, ε), напротив, внутренняя структура семян инбредного поколения I_3 выглядит более «рисунчатой», с четкими и размытыми темными линиями (рис. 4.8, ϑ). При проращивании такие семена оказались неспособными сформировать полноценные корнеплоды (рис. 4.8, ж).



Puc.~4.9. Семена капусты белокочанной «Амагер 611»: a — сортопопуляция I_0 ; δ — инбредное поколение I_7 ; ϵ — инбредное поколение I_9

Семена самоопыляемых линий капусты белокочанной также можно идентифицировать по внутренней структуре. Как показано на рис. 4.9, a, семена сортопопуляции «Амагер 611» (I_0) отличаются плотной внутренней струк-

турой и большей выполненностью. Чем выше порядок инбредного поколения, тем более «мозаичнее» внутренняя структура семян и более детализирован зародыш, хотя влияние деталей изображения на формирование ростков не совсем ясно (рис. 4.9, 6, 6).



Рис. 4.10. Аномалии внутренней структуры семян овощных культур: a – кабачок, δ – патиссон, ϵ – огурец, ϵ – лук, δ – томат

Вместе с тем, встречаются аномалии внутренней структуры семян овощных культур в иных формах проявления (рис. 4.10). Они приобретаются, возможно, в период завязывания или налива семян, или как-то иначе. Для правильного объяснения данных явлений необходим дальнейший поиск, изучение и наряду с рентгенографией проведение анатомирования семян.

5. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНОГРАФИИ В СЕМЕНОВОДСТВЕ И СЕМЕНОВЕДЕНИИ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

В гл. 4 показаны возможности метода рентгенографии семян при определении качества семян овощных культур в настоящее время. Однако эти возможности еще далеко не исчерпаны. По мере роста требований к качеству семян и совершенствования рентгеновской аппаратуры можно будет получать больше диагностической информации.

Следует отметить, что преимущество метода заключается и в том, что с его помощью можно оценить биологическую полноценность семян при полном сохранении самих семян. Данное преимущество важно при работе с малыми партиями селекционных или коллекционных семян. Значительную часть ценного семенного материала нецелесообразно тратить на анализ их качества.

С помощью метода рентгенографии, благодаря его неразрушающему характеру, можно изучить внутреннюю структуру семян, сохранив при этом весь материал для посева. При этом анализ полученной информации позволяет отследить качество семян в динамике — в процессе вызревания и хранения. Селекционерам создается возможность для индивидуальной работы с каждым семенем, когда при оценке либо силы роста, либо продуктивности растений всегда можно вернуться к рентгеновским изображениям семян, из которых они выросли, проанализировать полученные результаты и найти соответствующие рентгеновские признаки возникших морфобиологических особенностей их развития.

Семена являются хорошим биоиндикатором климатических условий, в которых они получены. Качественный состав популяции семян своего рода онтогенетическая память о среде, в которой они формировались. Следовательно, анализ качества семян в партии может служить биодиагностическим приемом. Анализ позитивных и негативных рентгеновских признаков внутреннего состояния семян овощных культур, полученных в определенном месте, может дать представление о температурном режиме, влагообеспеченности, почвенном плодородии данной местности, сложившихся в год получения семян.

По мере совершенствования метода можно на его основе создать передвижные контрольно-диагностические рентгеновские лаборатории, позволяющие осуществлять оперативный досмотр семян свежеубранных, находящихся на хранении либо в запасе. Это позволит более точно определять их целевое назначение и степень хозяйственной годности при решении научнопрактических задач, стоящих перед производителями.

Но наиболее важная перспектива использования рентгенографии в оценке качества семенного материала — это сепарация семян овощных культур по рентгеновским признакам. Ещё совсем недавно казалась невозможной сепарация многотонного потока зерна на фотосепараторах, когда семена в движении распознаются индивидуально по цвету и все отклоняющиеся от стандарта по этому признаку зерновки удаляются. Сейчас фотосепараторы производятся серийно [32].

Впервые сепарация овощных семян по рентгеновским снимкам на примере семян томатов была осуществлена в ФБГНУ АФИ. С помощью простейшего устройства, позволяющего идентифицировать каждое семя из пробы семян по соответствующему рентгеновскому снимку, удалось вручную удалить множество «подозрительных» семян. В результате чего за несколько дней была перебрана и переведена в более высокий — 2-й класс по посевным качествам партия семян с низкой всхожестью. Этот факт задокументирован службой качества семян агрофирмы «ЛЕТО». Отсепарированной партии семян хватило на засев 0.5 га площади защищенного грунта.

Практика показывает, что для автоматической рентгеновской сепарации овощных семян необходимо иметь банк рентгеновских изображений неполноценных семян по каждой культуре, а также технические средства по распознаванию рентгеновского изображения каждого семени в потоке и последующем удалении дефектных семян из этого потока. Принципиальная возможность создания таких технических средств доказана на примере фотосепаратора, а банк изображений может быть создан на базе предлагаемой методики. В конечном счете, создание рентгеновских сепараторов позволит отбирать для посева семена с высокими посевными и продуктивными свойствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы совместными усилиями ученых ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ», ФГБНУ ВНИИССОК, ФГБНУ С-3 Центра междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения и ФГБНУ АФИ был проведен большой цикл интроскопических исследований, ориентированных на получение новых фундаментальных знаний, раскрывающих особенности внутренних структур семян зерновых, технических и овощных культур.

Впервые была установлена связь скрытых структурных характеристик семени с сортовыми признаками партий семян и различиями в условиях их формирования.

Представляется важным, что интроскопический подход при анализе проблемы неоднородности семян позволил по-новому сформулировать понятие биологической полноценности семени с учетом как внешних, так и внутренних его структурных особенностей.

Все это дало возможность:

- лучше понять причины, позволяющие получать высокопродуктивные семена в оригинальном и промышленном семеноводстве;
- оптимизировать режимы семенных агротехнологий с точки зрения получения наиболее кондиционных семян в открытом и защищенном грунте.

Эффективная реализация этих подходов в селекции и семеноводстве имеет большие перспективы с учетом использования ресурсов аккредитованной в ФГБНУ АФИ лаборатории по рентгенографии семян (см. приложение). Эта лаборатория уполномочена на право проведения работ по испытанию семян сельскохозяйственных культур в Системе добровольной сертификации «Россельхозцентр». Предметом испытаний является рентгеновский контроль скрытых дефектов семян по основным признакам, подробно описанным в настоящих методических указаниях. Лаборатория оснащена современными отечественными техническими средствами контроля, включая стационарные рентгенодиагностические установки ПРДУ-02 и РМ-01, а также не имеющий мировых аналогов переносной портативный рентгенодиагностический комплекс, на основе первого отечественного портативного рентгеновского аппарата семейства «ПАРДУС», позволяющий производить рентгенографические исследования семян и растений в полевых условиях.

Результаты, достигнутые на сегодняшний день с помощью оригинальной отечественной методики микрофокусной рентгенографии и обобщённые

в монографиях и статьях авторов данных методических указаний, свидетельствуют о том, что в отечественном семеноводстве может быть получен уникальный продукт, не имеющий мировых аналогов, а именно семена с минимальным уровнем скрытых дефектов и аномалий и с максимальным ростовым потенциалом.

И на сегодня задача получения сильных, нетравмированных семян остается крайне актуальной.

Российскому семеноводству нужно использовать весь имеющийся инновационный научный потенциал и необходимые государственные ресурсы для того, чтобы не оказаться на зарубежной «семенной игле».

Разработка информационно-справочной аналитической системы «Семинформанализ» с использованием созданного для этих целей банка рентгеновских изображений семян, которые были получены при проведении рентгеновской «диспансеризации» партий семян различных сельскохозяйственных культур, должна явиться основой обеспечения российского АПК здоровыми, сильными семенами и в результате обеспечить семеноводству России высокую конкурентоспособность на мировом рынке семян.

Список использованной литературы

- 1. Архипов М. В. Радиочувствительность ДНП клеток зародышей и потенциальная продуктивность растений: дис. ... д-ра биол. наук / ВНИИ АФИ. Л., 1989. 299 с.
- 2. Портативный микрофокусный рентгеновский аппарат для диагностики семян и зерен / Л. Г. Андрущенко, М. В. Архипов, Л. Б. Грун и др. // Электронная промышленность. 1983. Вып. 11 (128). С. 31–34.
- 3. Савин В. Н., Кондрашова М. Д., Архипов М. В. Влияние различных типов внутренних повреждений семян ячменя на их посевные и урожайные качества // Докл. ВАСХНИЛ. 1995. № 3. С. 3–7.
- 4. Savin V. N., Arkhipov M. V., Gusakova L. P. The Study of Festuca and Lolium seeds by methods of rentgenographie and accelerated ageing // Yield and quality in herbade seed production: III International Herbade Seed Conference (June 18–23, 1995). Halle, Germany: Martin-Luther-Universitat Halle-Wittenberg, 1996. P. 418–422.
- 5. Velikanov L. Some aspects of X-ray method for evaluation of wheat grain geometrical features // Book of Abstracts of the 6th ICA. Lublin, Poland, Sept. 15–18, 1997.
- 6. Grundas S., Velikanov L. Methodological and technological aspects of X-ray imaging of wheat grain // Book of Abstracts of the 16th ICC Conference. Vienna, Austria, May 8–12, 1998.
- 7. Grundas S., Velikanov L., Arkhipov V. Importance of wheat grain orientation for the detection of internal mechanical damage by the X-ray method // Int. Ag-rophysics. 1999. № 13. P. 355–361.
- 8. Методика рентгенографии в земледелии и растениеводстве / М. В. Архипов, Д. И. Алексеева, Н. Ф. Батыгин и др. М.: Изд-во РАСХН, 2001. 102 с.
- 9. Predicting tomato seedling morphology by X-ray analysis of seeds / W. J. Van der Burg, J. W. Aartse, R. A. Van Zwol et al. // J. of the American Society for Horticultural Science. 1994. № 119. P. 258–263.
- 10. Савин В. Н., Архипов М. В., Гусакова Л. П. Жизнеспособность овощных семян при внутренних повреждениях // Аграрная наука. 1997. № 2. С. 23–25.
- 11. Гусакова Л. П. Рентгенографический и цитофотометрический анализ жизнеспособности семян сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... канд. биол. наук / ВНИИ АФИ. СПб., 1997. 20 с.

- 12. Гущин В. Л. Селекционные и технологические приёмы повышения качества гибридных семян томата: автореф. дис. ... канд. сельскохоз. наук / ВНИИО. М., 2001. 21 с.
- 13. Дерунов И. В. Рентгенографическое исследование семян различных сельскохозяйственных культур и продуктов их переработки: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2004. 23 с.
- 14. Основы рентгенодиагностической техники: учеб. пособие // под ред. Н. Н. Блинова. М.: Медицина, 2002. 392 с.
- 15. Мазуров А. И., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография в медицине // Медицинская техника. 2011. № 5. С. 30–34.
- 16. Иванов С. А., Щукин Г. А. Рентгеновские трубки технического назначения. Л.: Энергоиздат, 1989. 200 с.
- 17. Васильев А. Ю. Рентгенография с прямым многократным увеличением в клинической практике. М.: ИПТК «ЛОГОС», 1998. 148 с.
- 18. Потрахов Н. Н. Метод и особенности формирования теневого рентгеновского изображения микрофокусными источниками излучения // Вестн. новых мед. технологий. 2007. Т. XIV, № 3. С. 167–169.
- 19. Пат. РФ № 2352922, МПК G01N23/083, A01C01/02. Способ получения рентгенографического изображения семян растений / Н. Н. Потрахов, М. В. Архипов, А. Ю. Грязнов; заявл. 09.06.07; зарег. 20.04.09; опубл. 20.04.09.
- 20. Пат. РФ № 85292, МПК А01С 1/02. Устройство для рентгенодиагностических исследований зерна и семян / М. В. Архипов, А. М. Демьянчук, Л. П. Великанов и др.; заявл. 13.04.09; зарег. 10.08.09; опубл. 10.08.09. Бюл. № 22.
- 21. Рентгенодиагностическая установка для экспресс-контроля качества / В. П. Нино, А. Ю. Грязнов, Е. Н. Потрахов, Н. Н. Потрахов // Пищевая промышленность. 2008. № 5. С. 18–19.
- 22. Передвижная рентгенодиагностическая установка ПРДУ-02. Проспект-каталог продукции ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед», 2014.
- 23. Рентгеновские диагностические аппараты: в 2 т. / под ред. Н. Н. Блинова, Б. И. Леонова. М.: ВНИИИМТ, НПО «Экран», 2001. Т. 2. 140 с.
- 24. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010610289. Программа автоматического распознавания изображений семян зерновых культур и анализа качества зерна по рентгенограммам, полученным на рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 (Агротест) / А. Г. Желудков, Е. Н. Потрахов; заявл. 16.11.09; зарег. 11.01.10.

- 25. Желудков А. Г., Белецкий С. Л., Потрахов Н. Н. Теоретические аспекты автоматизации рентгенографического метода анализа качества семян и товарного зерна злаковых культур: Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: междунар. сб. науч. тр. / ФБГУ НИИПХ Росрезерва. М.: Галея Принт, 2014. С. 106–115.
- 26. ГОСТ 12036–85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Изд-во стандартов, 2004. 12 с.
 - 27. Тахтаджян А. Л. Система магнолиофитов. Л.: Наука, 1987. 440 с.
- 28. Литвинов С. С. Научные основы современного овощеводства. М.: Изд-во ВНИИО, 2008. 771 с.
- 29. Бухаров А. Ф., Балеев Д. Н., Мусаев Ф. Б. Рентгеноскопия эффективный способ выявления пустоцветности овощных зонтичных культур. Минск: Овощеводство, 2014. Вып. 22. С. 26–31.
- 30. Соколова Д. В. Создание и оценка самоплодных линий раздельноплодной столовой свеклы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2011. 22 с.
- 31. Non-distractive X-ray diffraction method for studying seed anatomy in relation to seed heterogeneity / F. B. Musayev, M. V. Arkhipov, L. P. Velikanov et al. // Procedding of the International conference «Functional plant anatomy»; Lomonosov Moscow State University. M., 2013. P. 115–121.
- 32. Фотосепараторы Ф 5.1, Ф10.1, Ф15.1, Ф20.1. Каталог продукции ООО «Воронежсельмаш», 2014.

ПРИЛОЖЕНИЕ

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ПРДУ-02

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

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

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ:

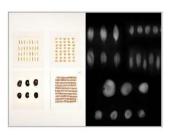
- Навеска в 1000-1200 семян из пробы по ГОСТ 28666.2-90 фиксируется на карточках с клейким слоем
- Карточки рентгенографируются последовательно на установке ПРДУ-02
- Рентгеновские образы выводятся на монитор компьютера для визуального наблюдения
- Автоматический анализ с помощью программы SEAN на предмет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

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЯВИТЬ:

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

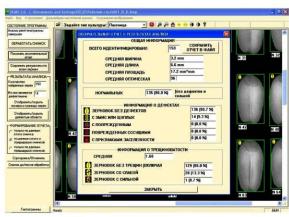
ПРЕИМУЩЕСТВА:

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











МЫ ЖЛЕМ ВАС НА НАШЕМ CAЙTE WWW.ELTECH-MED.COI

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	600 x 600 x 800
Общая масса установки с ПК, не более	200
Размер фокусного пятна не более, мм	0,2
Диапазон анодного напряжения, кВ	5-50
Диапазон анодного тока, мА	20-200
Максимальная плотность контролируемых предме-тов, мм (по Al)	3
Разрешающая способность установки по выявлению стальной проволоки диаметром, мм	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:

- Специализированный рентгеновский аппарат
- Цифровое устройство для визуализации рентгеновского изображения
- Камера для проведения рентгенографических работ
- Методика по обнаружению и анализу скрытых дефектов семян
- Программное обеспечение "Агротест" и SEAN для реализации методики

ОСНОВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ:

- Обнаружение и анализ скрытых дефектов в семенах зерновых культур: скрытых повреждений грызущими насекомыми, внутренних прорастаний, "трещинноватостей", механических повреждений и т.д.
- Установка позволяет контролировать 1000-1200 зерновок одновременно, размер обнаруживаемого дефекта варьируется от нескольких единиц до нескольких десятков микрометров.





МЫ ЖДЕМ ВАС НА НАШЕМ САЙТЕ WWW.ELTECH-MED.COM

программа агротест 2.0

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА

РАБОТА ПРОГРАММЫ АГРОТЕСТ 2.0

 Программа Агротест 2.0 получает на вход графический файл рентгенограммы, полученный с помощью передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02, содержащий в среднем рентгеновские изображения 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, общей выполненности), так и автоматический анализ наличия дефектов. Программой выявляются следующие дефекты зерновки:
 - скрытая травмированность (трещиноватость);
 - энзимомикозное истощение эндосперма;
 - механические повреждения (сколы);
 - поражения насекомыми (клопом-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.



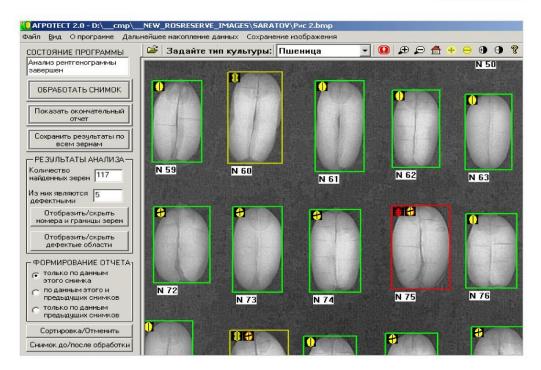
МЫ ЖДЕМ ВАС НА НАШЕМ CAЙTE WWW.ELTECH-MED.COM

программа агротест 2.0

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА

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 сосущими 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@gmail.com (Жамова Карина Константиновна)
- ФГБНУ "Агрофизический научно-исследовательский институт" зможность 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.)



МЫ ЖДЕМ ВАС НА НАШЕМ CAЙTE WWW.ELTECH-MED.COM

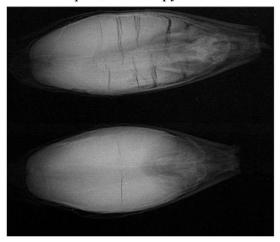
РЕНТГЕНОВСКИЙ МИКРОСКОП РМ-01

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

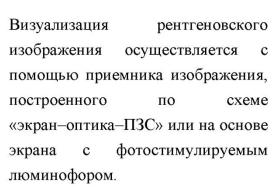
Основные технические характеристики:

Габаритные размеры, не более $650\times800\times1600~{
m mm}$ Масса, не более $200~{
m kr}$ Диапазон напряжений на рентгеновской трубке $10\div70~{
m kB}$ Максимальный ток рентгеновской трубки $200~{
m mkA}$ Диаметр фокусного пятна, не более $5~{
m mkm}$

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.



Рентгеновское изображение зерновок овса. Коэффициент увеличения изображения - 30.



Возможно использование приемника изображения на основе электронной панели.



МЫ ЖДЕМ ВАС НА НАШЕМ САЙТЕ WWW.ELTECH-MED.COM



Редактор И. Г. Скачек

Подписано в печать 17.04.15. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая. Печ. л. 2,75. Гарнитура «Times New Roman». Тираж 100 экз. Заказ 23.

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5