

УДК 58.087

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА  
МИКРОФОКУСНОЙ  
РЕНТГЕНОГРАФИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВА СЕМЯН\***

Грязнов Артем Юрьевич  
д-р техн. наук, профессор  
зам. заведующего кафедрой  
электронных приборов и устройств

Староверов Николай Евгеньевич  
магистрант

Баталов Константин Сергеевич  
бакалавр

*Санкт-Петербургский  
государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ленина,  
Санкт-Петербург, Россия*

Ткаченко Кирилл Гаврилович  
д-р биол. наук

*Ботанический институт  
им. В.Л. Комарова РАН,  
Санкт-Петербург, Россия*

Одной из основных причин снижения посевных качеств семян и посадочного материала является наличие в них различных внутренних дефектов, таких как скрытая травмированность или повреждение вредителями. Семена со скрытыми дефектами не могут быть отсортированы на сортировальных машинах, и поэтому они являются постоянной составляющей всех партий семян. Такие семена можно выявить с помощью рентгенографического анализа. Для контроля качества семян и исследования их внутренней структуры наиболее перспективным является применение микрофокусной рентгенографии. Цель настоящей работы – разработка методики микрофокусной рентгенографии для определения качества плодов и семян.

UDC 58.087

**APPLICATION  
OF MICROFOCUS X-RAY  
METHOD TO CONTROL  
THE QUALITY OF SEEDS**

Gryaznov Artyom  
Dr. Tech. Sci., Professor  
Deputy Head of the Department  
of Electronic Instruments and Devices

Staroverov Nikolay  
Graduate student

Batalov Konstantin  
Bachelor

*St. Petersburg State  
Electrotechnical University "LETI"  
named after V.I. Lenin,  
St. Petersburg, Russia*

Tkachenko Kirill  
Dr. Biol. Sci.

*Botanical Institute  
named after V.L. Komarov of RAS,  
St. Petersburg, Russia*

One of the main reasons for the decline of sowing qualities of seeds and planting material is the presence of various internal defects, such as a hidden injury or damage by pests. The seeds with hidden defects can't be sorted by the sorting machines, and so they are a constant component of all production of seeds batches. These seeds can be detected by X-ray analysis. Microfocus X-ray can be used to control the quality of seeds and to study their internal structure. The purpose of this work is the development of microfocus X-ray technique to determine the quality of fruits and seeds.

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Разработана методика, включающая в себя определение необходимого коэффициента увеличения изображения, режимы работы рентгеновского аппарата: напряжение, подаваемое на рентгеновскую трубку, анодный ток, время экспозиции. Подобраны режимы микрофокусной рентгенографии, для контроля качества семян и плодов, различных по своей структуре и размерам. Подтверждено, что данная методика может использоваться для исследования плодов и семян различных размеров и структуры. Проведена апробация методики на плодах и семенах значительного числа видов растений, выращиваемых в коллекциях Ботанического сада Петра Великого (Санкт-Петербург). Подтверждено, что использование методики микрофокусной рентгенографии позволяет оперативно отобрать выполненные, не поражённые вредителями семена и использовать их для последующего посева и получения большего числа всходов. Подтверждено, что методика может быть использована для анализа семян, находящихся внутри плодов. Показаны перспективы данной методики в выявлении проблем с собираемыми семенами.

*Ключевые слова:* МИКРОФОКУСНАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, КАЧЕСТВО СЕМЯН

Voltage, anode current and exposure time are included in the definition of the required zoom factor modes of X-ray apparatus. Mode of microfocus X-ray for control of fruits and seeds different on structure and size was selected. It was confirmed that this technique can be used to inspect the fruit and seeds of various sizes and structure. The method approbation was carried out on a large number of fruits and seeds from the collection of the Botanic Garden of Great Peter (Saint-Petersburg). It has been confirmed that the use of microfocus X-ray technique allows you to quickly select the executed seeds, not affected by pests, and use them for future planting and getting of a greater number of shoots. It was confirmed, that method can be used for analysis of seeds inside of fruits. The prospects for this technique to identify the problems with the collected seeds had been shown.

*Key words:* MICROFOCUS X-RAY, NONDESTRUCTIVE CONTROL, QUALITY OF SEED

**Введение.** Ботанические сады и собранные в них генетические коллекции играют важную роль в мобилизации, изучении и сохранении генетических ресурсов растительных организмов. В таких национальных коллекциях проводится серьезная научная работа, направленная на создание условий для межвидовой гибридизации в селекционном процессе. Таким образом, ботанические сады выступают в роли центров сохранения и изучения биологического разнообразия растений – собирают, изучают и коллекционируют живые растительные организмы.

Анализ многолетних данных интродуцированных видов в ботанических садах страны позволяют дать оценку перспектив выращивания видов

в новых для них почвенно-климатических условиях. Кроме этого сады являются также источниками маточного материала для решения вопросов сохранения и возвращения видов в места их естественного произрастания (реинтродукции) [1]. Между коллекциями ботанических садов проводится обмен посадочным материалом, в частности семенами, в связи с чем возникает вопрос оценки посевных качеств семян как отправляемых в другие коллекции генетических ресурсов, так и получаемых для пополнения существующих коллекций.

Для такой оценки, на наш взгляд, наиболее перспективным методом является рентгенографический анализ, позволяющий неразрушающим способом оперативно определять качество семян и плодов и выявлять полноценные (полнозерные), щуплые (пустые) и пораженные вредителями семена разных видов растений [2]. В то же время среди множества методов рентгенологических исследований микрофокусная рентгенография является наиболее перспективной для оценки качества семян, поскольку с ее помощью можно получить резкое и увеличенное в десятки раз изображение объекта, что дает возможность надежно выявлять такие дефекты семян, как невыполненность, поражение вредителями, трещиноватость [2, 3].

***Объекты и методы исследований.*** Материалом для исследования служили образцы плодов и семян некоторых видов растений из коллекций Ботанического сада Петра Великого. Основным требованием к растениям, участвовавшим в исследованиях, было наличие разных видов плодов и семян (плод, орешек, двураздельная семянка, мерикарпии), что позволяло индивидуально для каждого вида подбирать режимы анализа, получая наиболее информативные и достоверные результаты.

Разработку методики исследования семян проводили осенью 2015 года, основываясь на опыте предыдущих исследований [3, 4, 5, 6]. Рентгенографический анализ проводился с использованием установки ПРДУ-02, предназначенной для оперативного контроля качества продо-

вольственного и фуражного зерна, семян зерновых и овощных культур, саженцев различных растений (рис. 1).



Рис. 1. Рентгеновская установка ПРДУ-02

Установка состоит из рентгенозащитной камеры, источника рентгеновского излучения (в верхней части камеры), пульта управления рентгеновским излучением, предметного столика и приемника изображений. Анодное напряжение рентгеновской трубки может изменяться в диапазоне от 5 до 50 кВ, ток рентгеновской трубки может изменяться от 20 до 200 мкА. Одним из основных достоинств ПРДУ-02 является малый размер фокусного пятна рентгеновской трубки (менее 40 мкм), что позволяет получать для различных объектов резкие и контрастные изображения с увеличением до 20 раз. В качестве приемника использовалась CR система DIGORA PCT. Время от включения рентгеновского аппарата до получения изображения на экране ЭВМ составляет около 3 минут.

**Обсуждение результатов.** В результате проведенных исследований была разработана методика оценки посевных качеств семян растений. Методика состоит из следующих пунктов:

1. Для проведения рентгенографических исследований необходимо подготовить карточки с семенами (рис. 2).



Рис. 2. Карточка с семенами

Карточка должна иметь рабочее поле из бумаги с клейким слоем площадью, допускающей размещение группы семян. Количество семян на карточке изменяется в зависимости от выбранного коэффициента увеличения изображения. Чем больше коэффициент увеличения, тем меньше размер рабочего поля карточки и, соответственно, меньше семян на одном снимке. Поэтому целесообразно выбирать наименьший удовлетворительный коэффициент увеличения изображения.

2. Для получения контрастных изображений требуется правильно выбрать анодное напряжение рентгеновской трубки и экспозицию. Поэтому в ходе работы были сделаны серии рентгенограмм различных плодов и семян, с помощью которых были определены оптимальные параметры съемки и необходимые коэффициенты увеличения изображения.

3. После сканирования рентгеночувствительной пластины снимки отображаются на экране компьютера и анализируются оператором. При необходимости, с помощью компьютерной программы, изменяется яркость и контрастность изображения, а также повышается резкость.

Для рентгенографии семян яблони (*Malus purpurea*) (рис. 3) были определены режимы: коэффициент увеличения 3, напряжение 22 кВ, ток 120 мкА, время экспозиции 2 сек. При таких режимах съемки обеспечива-

ется максимальный контраст изображения. Можно заметить, что на рентгенограмме отчетливо видны внутренние дефекты, такие как невыполненность и трещиноватость некоторых семян.

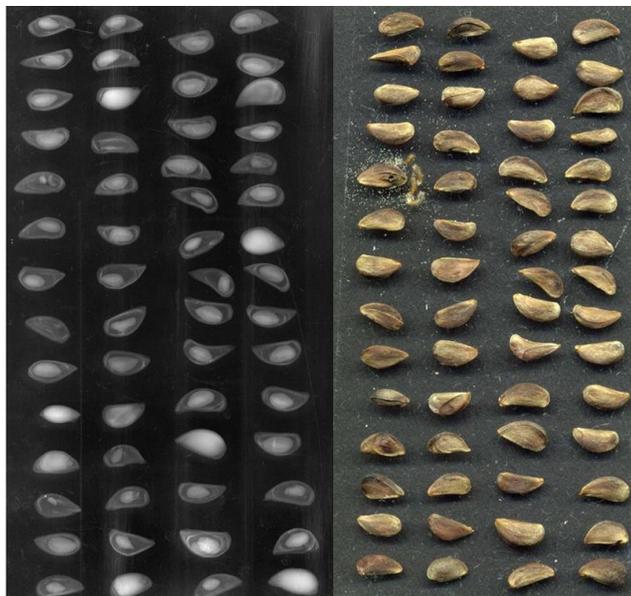


Рис. 3. Внешний вид и рентгенограмма семян *Malus purpurea*

Для рентгенографии плодов яблони (*Malus orientalis*) были определены режимы: коэффициент увеличения 2, напряжение 30 кВ, ток 150 мкА, время экспозиции 4 сек. Рентгенограмма плодов представлена на рис. 4.

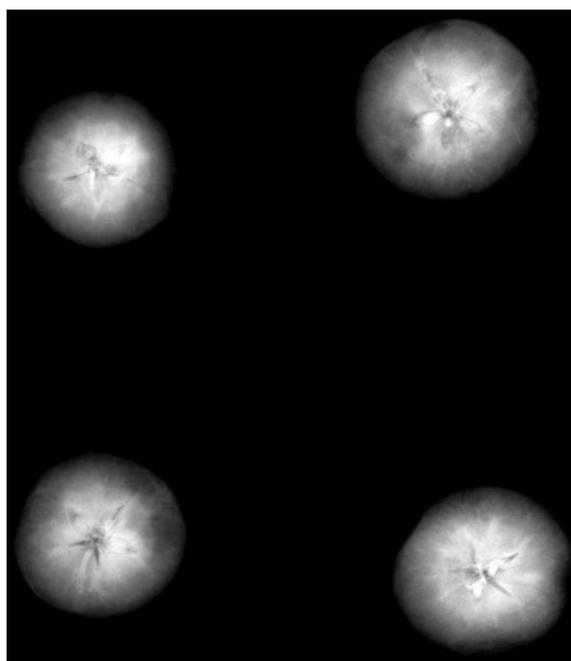


Рис. 4. Рентгенограмма плодов *Malus orientalis*

Рентгеновские снимки орешков Шиповника французского (*Rosa gallica* L.) и Шиповника морщинистого (*Rosa rugosa* Thunb.) представлены на рис. 5 и 6, соответственно. Рентгеновские снимки наглядно демонстрируют, что метод микрофокусной рентгенографии позволяет рассмотреть орешки, развитость в орешках семени, наличие в них личинок вредителей (на рентгенограммах выполненные и развитые семена за счёт большей плотности и соответственно большего поглощения излучения светлые; личинки легко определяются зрительно по их характерной форме).



Рис. 5. Внешний вид и рентгенограмма орешков *Rosa gallica*

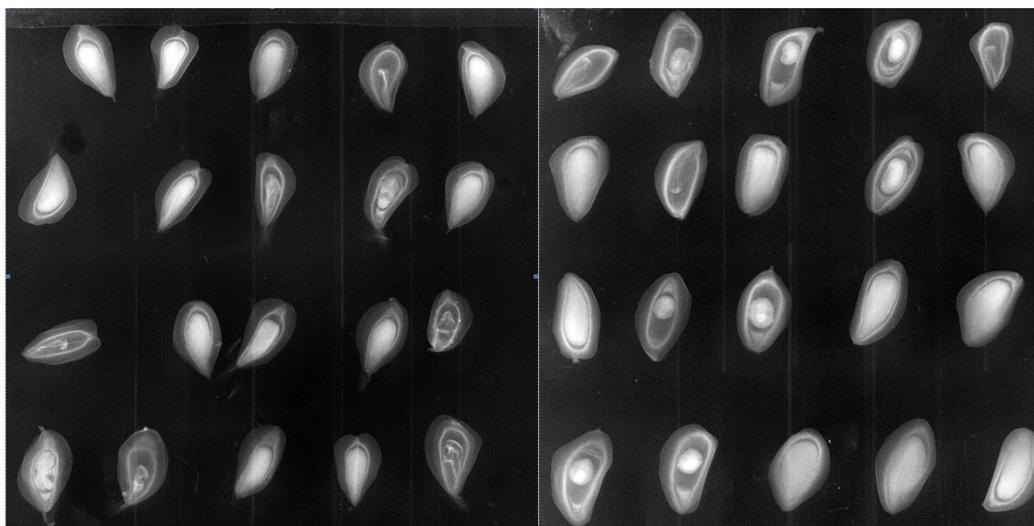


Рис. 6. Рентгенограммы орешков *Rosa rugosa*

Для просвечивания всех орешков использовался режим: напряжение 18 кВ, ток трубки 120 мкА, время экспозиции 2 сек. Съемка проводилась с коэффициентом увеличения в 3 раза. Как можно увидеть на рис. 5 и 6, микрофокусная рентгенография, даже с коэффициентом увеличения 3, дает возможность надежно отличить пораженные вредителями и невыполненные семена.

Для определения режимов проведения рентгенографического анализа мелких семян были сделаны серии рентгенограмм семян Фенхеля обыкновенного (*Foeniculum vulgare* Mill. L.) (рис. 7).

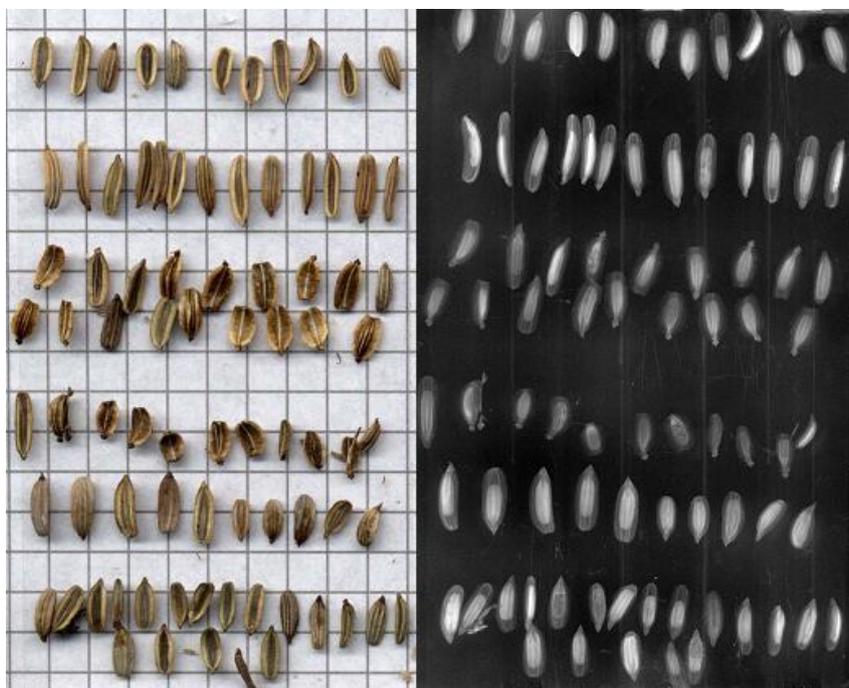


Рис. 7. Внешний вид и рентгенограмма семян *Foeniculum vulgare*

Так как семена (мерикарпии) имеют достаточно маленькую толщину в направлении просвечивания, то для увеличения контраста изображения пришлось понизить рабочее напряжение рентгеновской трубки. Рентгенограммы были получены при напряжении 15 кВ, токе трубки 120 мкА, времени экспозиции 2 сек. Эти параметры съемки позволили получить снимки тонких семян с хорошим контрастом, что недостижимо в случае использования большего анодного напряжения.

Рентгеновские снимки семян Бешеного огурца (*Ecbalium-elaterium*) представлены на рис. 8.

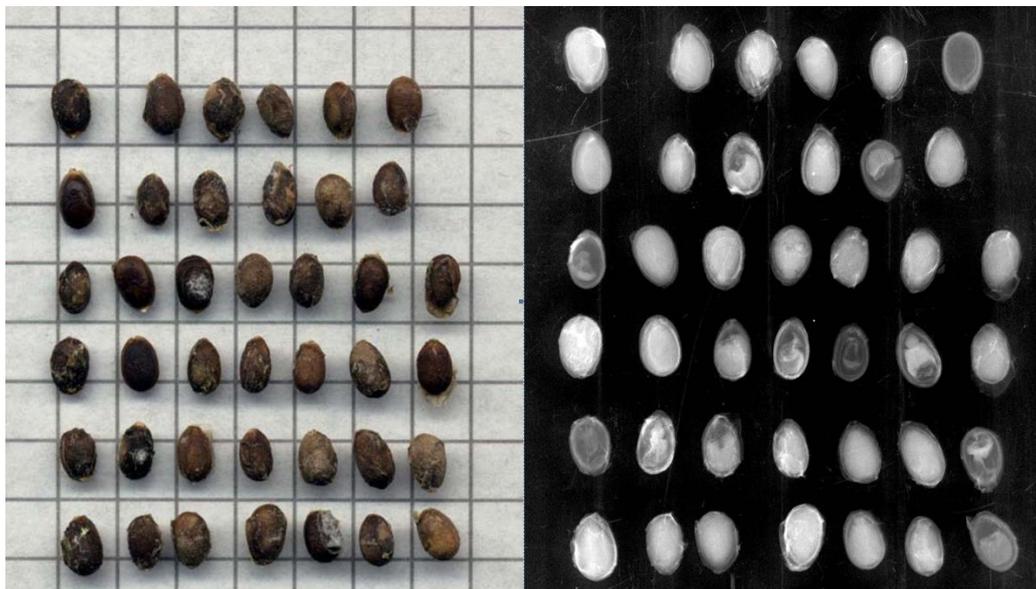


Рис. 8. Общий вид и рентгенограмма семян *Ecbalium-elaterium*.

Снимки, полученные по разработанной методике, позволили выявить трещиноватые семена. Также для семян, имеющих трещины, были сделаны рентгеновские снимки с большим увеличением для лучшего отображения внутренней структуры семени.

**Выводы.** Предложенная методика оценки качества плодов и семян с помощью микрофокусной рентгенографии позволяет существенно упростить работу и снизить трудозатраты по очистке семенного материала, получить результаты оперативно и без проверки качества семян традиционными способами.

Экспериментальная проверка методики показала, что в большинстве случаев для выявления повреждений и дефектов семян достаточно съемки с трехкратным увеличением изображения. Также было показано, что с помощью микрофокусной рентгенографии можно обнаруживать не только пустые и невыполненные, но и трещиноватые семена.

Было подтверждено, что методика без потери качества может использоваться для семян, различных по плотности и размерам. Перспектив-

ным является разработка программного обеспечения для автоматического анализа снимков семян. Предложенная методика, конечно, не заменяет стандартную проверку лабораторной и грунтовой (полевой) всхожести, но позволяет быстро сделать предварительную оценку качества партии плодов и семян и разработать направления дальнейших исследований.

### Литература

1. Ткаченко, К.Г. Ботанические коллекции – потенциальные источники возможных новых адвентивных и инвазивных видов / К.Г. Ткаченко // Вестник удмуртского университета. – 2013. – Вып. 2. – С. 39-42.
2. Архипов, М.В. Микрофокусная рентгенография растений / М.В. Архипов, Н.Н. Потрахов. – СПб.: Технолит, 2008. – С. 37-38, 78-82.
3. Архипов, М.В. Методика рентгенографии в земледелии и растениеводстве / М.В. Архипов, Д.И. Алексеева, Н.Ф. Батыгин [и др.]. – М.: РАСХН, 2001. – С. 56-63.
4. Никольский, М.А. Оценка качества посадочного материала винограда методом микрофокусной рентгенографии / М.А. Никольский, А.Ю. Грязнов, К.К. Жамова [и др.]. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (55). – С. 185-191.
5. Никольский, М.А. Оценка всхожести семян винограда с помощью интроскопической диагностики / М.А. Никольский, М.Д. Ларькина // Русский виноград: сб. науч. тр. ФГБНУ ВНИИВиВ имени Я.И. Потапенко. – Т. 2. – Новочеркасск: Изд-во ФГБНУ ВНИИВиВ, 2015. – С. 18-23.
6. Никольский, М.А. Метод контроля посадочного материала винограда с помощью микрофокусной рентгенографии / М.А. Никольский, А.Ю. Грязнов, В.Б. Бессонов [и др.]. // Биотехносфера. – 2013. – № 6. – С. 44-48.

### References

1. Tkachenko, K.G. Botanicheskie kollekcii – potencial'nye istochniki vozmozhnyh novyh adventivnyh i invazivnyh vidov / K.G. Tkachenko // Vestnik udmurtskogo universiteta. – 2013. – Vyp. 2. – S. 39-42.
2. Arhipov, M.V. Mikrofokusnaja rentgenografija rastenij / M.V. Arhipov, N.N. Potrahov. – SPb.: Tehnolit, 2008. – S. 37-38, 78-82.
3. Arhipov, M.V. Metodika rentgenografii v zemledelii i rastenievodstve / M.V. Arhipov, D.I. Alekseeva, N.F. Batygin [i dr.]. – M.: RASHN, 2001. – S. 56-63.
4. Nikol'skij, M.A. Ocenka kachestva posadochnogo materiala vinograda metodom mikrofokusnoj rentgenografii / M.A. Nikol'skij, A.Ju. Grjaznov, K.K. Zhamova [i dr.]. // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 4 (55). – S. 185-191.
5. Nikol'skij, M.A. Ocenka vshozhesti semjan vinograda s pomoshh'ju introskopicheskoj diagnostiki / M.A. Nikol'skij, M.D. Lar'kina // Russkij vinograd: sb. nauch. tr. FGBNU VNIIViV imeni Ja.I. Potapenko. – T. 2. – Novoчеркасск: Izd-vo FGBNU VNIIViV, 2015. – S. 18-23.
6. Nikol'skij, M.A. Metod kontrolja posadochnogo materiala vinograda s pomoshh'ju mikrofokusnoj rentgenografii / M.A. Nikol'skij, A.Ju. Grjaznov, V.B. Bessonov [i dr.]. // Biotechnosfera. – 2013. – № 6. – S. 44-48.