

УДК 581.48 + 58.0870

DOI 10.25684/2712-7788-2024-1-170-59-66

**ПЕРВИЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕМЯН ВИДОВ РОДОВ
ACER И *ULMUS* С ПОМОЩЬЮ МИКРОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ**

**Наталья Олеговна Рогулева¹, Татьяна Михайловна Жавкина¹,
Людмила Михайловна Кавеленова², Полина Владимировна Родионова²,
Алина Петровна Овен²**

¹Ботанический сад ФГБОУ ВПО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

443086Россия, Самара, Московское шоссе, 36

E-mail: strona@yandex.ru

E-mail: tanya.zhavkina@yandex.ru

²ФГБОУ ВПО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

443086 Россия, Самара, Московское шоссе, 34

E-mail: lkavelenova@mail.ru

E-mail: polina-rodionova-1996@mail.ru

E-mail: a-oven@mail.ru

Современное лесоводство требует эффективных методов изучения семенной продуктивности и качества семян, формируемых в различных условиях произрастания. Семена лиственных древесных растений, как правило, обладающие глубоким покоем, отличаются разнообразием размеров и форм, являются сложными объектами для определения количества полноценных семян в партии, не имеющих внешних дефектов и признаков присутствия живых вредителей или их личинок. Метод микрофокусной рентгенографии относится к числу инновационных, надёжных и быстрых методов определения качества семян. В сообщении представлены результаты рентгенографической оценки качества семян различных видов клена (*Acer*) и вяза (*Ulmus*), собранных в 2022 г. на территории дендрария Ботанического сада Самарского университета. Доля выполненных диаспор у исследованных представителей р. *Acer* возрастала в ряду: *A. mono* (33, 2%) < *A. pseudosieboldianum* (33,3%) < *A. platanoides* (43,9%) < *A. pseudoplatanus* (46,4%) < *A. negundo* (58,2%) < *A. campestre* (68,2%) < *A. saccharinum* (96,4%). Видам рода вяз свойственно быстрое формирование исключительно большого количества семян, однако значительная их доля оказывается пустозерными. Нами обнаружено, что доля выполненных семян была немного выше у местного вида *Ulmus laevis* (около 22%) и ниже у двух видов-интродуцентов *U. minor* (менее 10%) и *U. pumila* (10%). Для ряда видов было выявлено повреждение семян насекомыми.

Ключевые слова: микрофокусная рентгенография; Ботанический сад Самарского университета; древесные интродуценты; научно-исследовательская лаборатория Инновационных методов изучения и сохранения биологического разнообразия.

Введение

Современное лесоводство требует внедрения в широкую практику использования эффективных методов изучения семенной продуктивности древесных насаждений. Получение качественного генетического материала особенно важно для последующей репродукции (Брынцева, Коженкова, 2006; Фирсов и др., 2021; Leal-Saenz, 2021). Как известно, качество семян является одним из факторов, определяющих саму возможность размножения растений, формирования новых особей, длительного существования устойчивых популяций (Bradbeer, 1988).

Разработка оперативных, надёжных и относительно малозатратных методов определения качества семян имеет большое практическое значение. Большинство методов определения жизнеспособности семян (тетразольно-топографический (ТТМ) и люминесцентный методы, окрашивание семян индигокармином и кислым фуксином,

проращивание семян), используемых в процедуре в соответствии с требованиями ГОСТ (ГОСТ 13056.7-93), приводят к необратимым изменениям в исследуемых семенах. Для семенных лабораторий и банков столь расточительное отношение к порой ограниченному семенному материалу древесных интродуцентов не допустимо. Кроме того, эти методы относительно трудоёмки и требуют высокого уровня владения оператором рядом профессиональных компетенций.

Семена лиственных древесных растений, как правило, обладающие глубоким покоем, отличаются разнообразием размеров и форм и являются сложными объектами для определения количества полноценных семян в партии, не имеющей заметных внешних дефектов и явных признаков заселения живыми вредителями или их личинками (Смирнова, 1987; Nagarajuetal, 2017). Низкая всхожесть таких семян не даёт представления о её причинах, но помогает решить вопрос о норме высева или вообще о рациональности использования такой партии семян (Рентгенографический анализ..., 2015; Rachman, Cho, 2016).

Данная проблема может быть решена методом микрофокусной рентгенографии. Основными его преимуществами являются быстрота, высокая достоверность и сохранность исследуемых семян для посева, а так же своевременная выбраковка дефектных семян (Смирнова, 1987; Архипов, Потрахов, 2008; Rachman, Cho, 2016; Bruggink, Van Duijn, 2017; Nagarajuetal., 2017; Arkhipov et al., 2020).

В конце 2020 г. для научно-исследовательской лаборатории Инновационных методов изучения и сохранения биологического разнообразия (НИЛ ИМСБР) Самарского университета была приобретена многофункциональная передвижная рентгенодиагностическая установка (ПРДУ), разработанная отечественными специалистами Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (Архипов и др., 2011). В последующие 3 года работа лаборатории была сосредоточена на изучении возможностей оценки качества семян при помощи ПРДУ для диаспор широкого размерного ряда, от 1–2 до 50 мм, отличающихся по плотности семенных покровов (Землянова и др., 2021; Рогулева и др., 2022; Родионова и др., 2022).

Как известно, среди используемых в различных типах зеленых насаждений видов древесных растений достаточно часто присутствуют представители рода Клен, для которых в последнее время расширяется спектр декоративных сортов. Ранее вопрос рентгенографической оценки качества семян, формируемых кленами, рассматривался для условий лесной зоны (Смирнова, 1987; Фирсов, 2021). В лесостепи Среднего Поволжья, где располагается Ботанический сад Самарского университета, древесные растения зачастую испытывают воздействие абиотических стрессоров, что оказывает влияние на формирование плодов и семян. В целом, в дендрологической коллекции представлено 25 таксонов рода *Acer* L. (Жавкина и др., 2021), среди которых ежегодно плодоносят девять: *Acer campestre* L., *A. campestre* subsp. *leiocarpum* (Opiz) Schwer., *A. negundo* L., *A. platanoides* L., *A. platanoides* var. *schwedleri* K. Koch, *A. pseudosieboldianum* (Pax) Kom., *A. tataricum* L., *A. tataricum* subsp. *ginnala* (Maxim.) Wesm., *A. tataricum* subsp. *semenovii* (Regel & Herder) A.E.Murray, при этом ежегодное обильное плодоношение отмечено для *Acer campestre*, *A. campestre* subsp. *leiocarpum*, *A. negundo*, *A. platanoides*, *A. platanoides* var. *schwedleri*, *A. tataricum*. Периодичность плодоношения характерна для видов: *Acer circinatum* Pursh, *A. glabrum* Torr., *A. negundo* 'Aureovariegatum', *A. pictum* subsp. *mono* (Maxim.) H. Ohashi, *A. pseudoplatanus* L., *A. pseudoplatanus* f. *purpureum* (Loudon) Rehder, *A. saccharinum* L., *A. saccharinum* 'Laciniatum'. Не плодоносят: *Acer barbinerve* Maxim, *A. japonicum* Thunb., *A. negundo* 'Auratum', *A. opalus* Mill., *A. opalus* subsp. *obtusatum* (Waldst. & Kit. ex Willd.) Gams, *A. platanoides* 'Crimson King', *A. platanoides* subsp. *turkestanicum* (Pax) P.C. DeJong, *A.*

spicatum Lam. Плодоношение *Acer pseudosieboldianum*, *A. tataricum* subsp. *ginnala*, *A. tataricum* subsp. *semenovii* зависит от климатических факторов, в основном лимитирующим фактором выступает жаркая и засушливая погода в период цветения. Самовозобновление (самосев в дендрарии) наблюдается у шести видов: *Acer campestre*, *A. campestre* subsp. *leiocarpum*, *A. negundo*, *A. platanoides*, *A. platanoides* var. *schwedleri*, *A. tataricum*.

Родовой комплекс *Ulmus* L. в коллекции представлен 6 видами (Жавкина и др., 2021). Среди них ежегодно обильно плодоносят и самовозобновляются четыре: *Ulmus glabra* Huds., *U. laevis* Pall. (виды местной флоры), *U. minor* Mill. и *U. pumila* L. Периодичность плодоношения характерна для вида *U. davidiana* Franch. var. *japonica* (Rehder) Nakai. Не плодоносит *Ulmus androssowii* Litv.

Целью нашего продолжающегося исследования является расширение спектра таксонов, для которых отработана методика и получены первичные результаты рентгенографической оценки качества семян.

Задачей данного этапа явилось определение качества семян, сформированных в 2022 г. деревьями различных видов клена (*Acer*) и вяза (*Ulmus*), произрастающими в дендрарии Ботанического сада Самарского университета.

Материалы и методы исследования

Из коллекции Ботанического сада Самарского университета было выбрано 10 видов древесных растений, у которых в 2022 году сформировалось достаточное количество диаспор. Материалом для исследований послужили семена 7 видов клена (*Acer mono*, *A. pseudosieboldianum*, *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. negundo*, *A. campestre*, *A. saccharinum*) и 3 видов вяза (*Ulmus pumila*, *U. laevis*, *U. minor*).

Для образцов семян каждого объекта проводили исследование с помощью метода цифровой микрофокусной рентгеноскопии на передвижной рентгенодиагностической установке (ПРДУ) (рис. 1).



Рис. 1 Передвижная рентгенодиагностическая установка
Fig. 1 Mobile X-ray diagnostic unit

Установка ПРДУ включает защитную камеру для проведения рентгенографии, источник рентгеновского излучения РАП70М-0,1Н-1, приемник рентгеновского

изображения на основе многофункционального портативного плоскопанельного детектора рентгеновского излучения для цифровой рентгенографии. Управление осуществляется с компьютеризированного пульта с универсальным программным обеспечением MicroCT-PRDU для анализа цифровых рентгеновских изображений семян. В программном обеспечении MicroCT-PRDU перед исследованием регулируются анодное напряжение и время экспозиции (Землянова и др., 2021; Роголева и др., 2022). Образцы семян помещали в камеру прибора на маркированных пластиковых планшетах, при этом выкладка семян проводилась с учетом размера семян – по 1 или 2 в ячейку для крупных, по 4 – для мелких семян. Режим съёмки семян был следующий: напряжение, подаваемое на трубку, – 40 кВ, время экспозиция – 2 с. В течение 10 с изображение выводилось на экран монитора для корректировки и последующего анализа, а также подсчёта качественных и дефектных семян.

Результаты и обсуждение

Рентгенографический скрининг семян был выполнен в соответствии с описанным ранее алгоритмом. На полученных цифровых фото были выявлены изображения, соответствующие выполненным (качественным), невыполненным (пустозерным) и поврежденным насекомыми семенам (рис. 2).

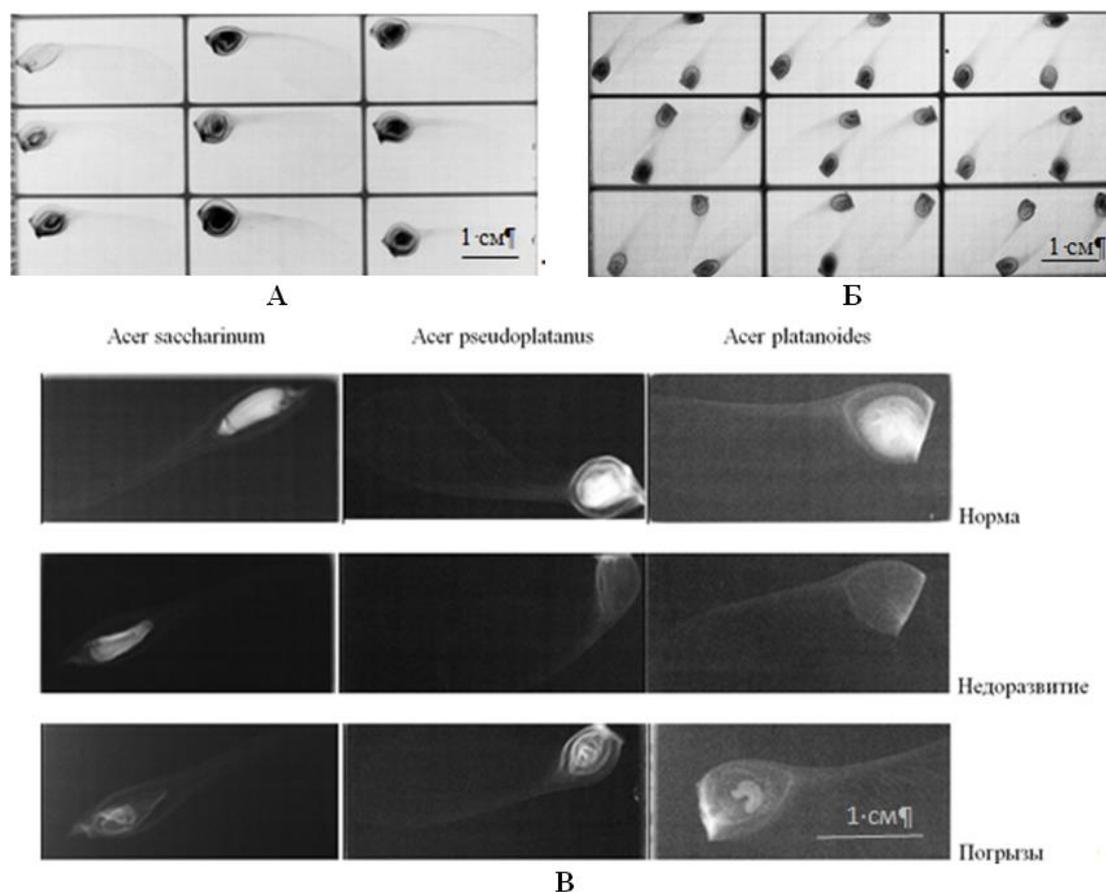


Рис. 2 Рентген планшеток с семенами (А, Б) и примеры выполненных и дефектных семян (В)
Fig. 2 X-ray of seed plates (A, B) and examples of completed and defective seeds (B)

По данным Приволжского УГМС вегетационный период 2022 года отличался достаточной влагообеспеченностью. С другой стороны, пониженный уровень температуры в апреле - мае 2022 г. несколько задерживал сезонное развитие древесных растений, которое было резко ускорено последующим повышением температуры и

сокращением осадков. В целом для 2022 г. было наиболее выражено постепенное нарастание дефицита влаги, на фоне роста уровня температур, с июня при максимальной выраженности в августе.

Клены и вязы различных видов в дендрарии ботанического сада представлены взрослыми экземплярами, которые находятся в генеративной стадии развития уже длительное время. В соответствии с полученными для образцов семян 2022 года результатами рентгенографического анализа, у ряда видов доля качественных (выполненных) семян оказалась очень низкой (рис. 3). Это в наибольшей степени было выражено у *Acer mono* и *A. pseudosieboldianum*, у которых доля выполненных семян составила 33%. Поскольку на старых участках дендрария, где произрастают данные старовозрастные деревья, полив в условиях специфического вегетационного периода 2022 г. не осуществлялся, деревья в дендрарии испытывали стресс в результате комплексного влияния почвенной и атмосферной засухи, высокой температуры и активной инсоляции. Подтверждением данного тезиса служат визуально отмечавшееся снижение тургора листьев, их ускоренное отмирание и опадение в конце вегетации.

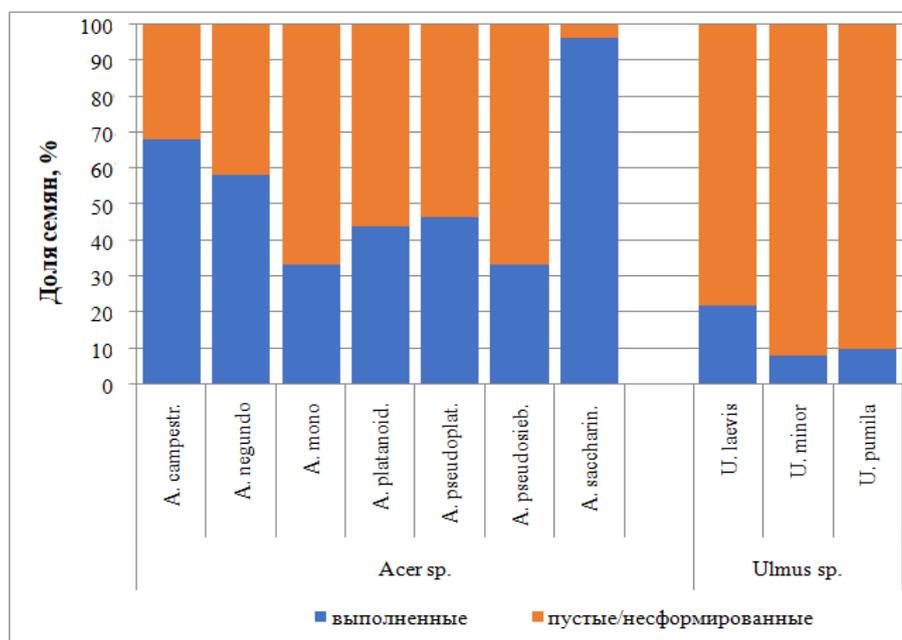


Рис. 3 Результаты рентгеноскопической оценки качества семян различных видов родов *Acer* и *Ulmus*, сформированных деревьями дендрария Ботанического сада Самарского университета в 2022 г.

Fig. 3 The results of the X-ray evaluation of the seeds quality of various species of the genera *Acer* and *Ulmus* formed by trees of the Botanical Garden of Samara University's arboretum in 2022

Семена *Acer negundo*, который в Самарской области успешно внедряется в различные типы насаждений и рассматривается в качестве инвазионного объекта, оказались неожиданно низкого качества, выполненными были лишь 58% семян.

По качеству семян (доле выполненных диаспор) изученные виды рода клен сформировали следующий ряд рейтинга в порядке возрастания: *A. mono* (33,2%) < *A. pseudosieboldianum* (33,3%) < *A. platanoides* (43,9%) < *A. pseudoplatanus* (46,4%) < *A. negundo* (58,2%) < *A. campestre* (68,2%) < *A. saccharinum* (96,4%).

Видам рода вяз как в природе, так и в искусственных насаждениях свойственно быстрое, за две-три недели после завершения цветения, формирование значительного количества семян, осыпающихся и формирующих скопления на поверхности почвы городских улиц. Однако оценка качества диаспор показывает, что лишь часть семян

имеет сформированное внутреннее содержимое, значительная доля оказывается пустозерными. Доля выполненных семян была немного выше у местного вида *Ulmus laevis* (около 22%) и ниже у 2 видов-интродуцентов (менее 10%). Поскольку у вязов формирование семян летом 2022 г. происходило в период до наступления жарких и засушливых условий, мы не имеем оснований связывать столь низкие показатели с влиянием стрессовых условий собственно летнего периода.

Заключение.

Таким образом, выполненный нами рентгенографический скрининг семян 7 видов рода *Acer* и 3 видов рода *Ulmus*, в рамках которого были отработана методика и получены первичные результаты рентгенографической оценки качества семян, продемонстрировал перспективность использования данного метода для установления качества семян древесных видов и последующей выбраковки дефектных диаспор. Данный метод позволил в ходе исследований быстро и четко визуализировать внутреннее содержимое семян, в том числе и заселенность их вредителями. Обнаруженные различия между видами проявились в первую очередь в доле выполненности семян, которая у видов рода клен изменялась от 33,2% (*A. mono*) до 96,4% (*A. saccharinum*), тогда как у вязов при невысокой доле выполненных семян показатель был выше у местного вида *Ulmus laevis* (около 22%) и ниже у видов-интродуцентов *U. minor* и *U. pumila* (менее 10%).

Литература/References

- Архипов М.В., Потрахов Н.Н.* Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Технолит, 2008. 194 с.
- [*Arkhipov, M.V. Potrakhov N.N.* Microfocus radiography of plants. St. Petersburg: Technolit. 2008. 194 p. (In Russian)]
- Архипов М.В., Гусакова Л.П., Алферова Д.В.* Рентгенография растений при решении задач семеноведения и семеноводства // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 22. С. 336-341.
- [*Arkhipov M.V., Gusakova L.P., Alferova D.V.* Radiography plants in solving problems and seed // *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2011. 22: 336-341. (In Russian)]
- Брынцева В.А., Коженкова А.А.* Лесное семеноводство. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 110 с.
- [*Bryntseva V.A., Kozhenkova A.A.* Forest seed production. Moscow: GOU VPO MGUL, 2006. 110 p. (In Russian)]
- ГОСТ 13056.7-93 Семена деревьев и кустарников. Методы определения жизнеспособности. М.: Стандартинформ, 2011. 38 с.
- [State standard 13056.7-93. Seed of trees and shrubs. Methods for determination of viability – Moscow: Standartinform, 2011. 38 p. (In Russian)]
- Жавкина Т.М., Кавеленова Л.М., Помогайбин А.В., Рогулева Н.О., Розно С.А., Рузаева И.В., Соболева М.Н., Янков Н.В.* Каталог коллекционных фондов высших растений Ботанического сада Самарского университета. Самара: ООО Издательско-полиграфический комплекс «Право», 2021. 184 с.
- [*Zhavkina T.M., Kavelenova L.M., Pomogaybin A.V., Roguleva N.O., Rozno S.A., Ruzayeva I.V., Soboleva M.N., Yankov N.V.* Catalogue of collections of higher plants of the Botanical Garden of Samara University. Samara: LLC Publishing and printing complex "Pravo", 2021. 184 p. (In Russian)]
- Землянова В.Е., Жавкина Т.М., Помогайбин А.В., Кавеленова Л.М., Родионова П.В., Розно С.А., Янков Н.В., Потрахов Н.Н.* О возможностях экспресс-оценки качества

плодов и семян древесных растений с помощью рентгенографического скрининга // ЭкоБиоТех 2021: Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием. Уфа: Издательство: Уфимский Институт биологии. 2021. С. 207-211.

[*Zemlyanova V.E., Zhavkina T.M., Pomogaybin A.V., Kavelenova L.M., Rodionova P.V., Rozno S.A., Yankov N.V., Potrakhov N.N.* Concerning the express evaluation possibilities of fruit and seed quality of woody plants using X-ray screening // *Ecobiotech 2021: Materials of the VII All-Russian Conference with international participation.* Ufa: Publisher: Ufa Institute of Biology. 2021. P. 207-211 (In Russian)]

Рентгенографический анализ качества семян овощных культур: методические указания / отв. сост. канд. с.-х. наук Ф.Б. Мусаев. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 42 с.

[*Radiographic analysis of the quality of vegetable seeds: guidelines / F.B. Musaev (eds)* // *St. Petersburg: SPbGETU "LETI", 2015. 42 p. (In Russian)*]

Рогулева Н.О., Янков Н.В., Жавкина Т.М., Родионова П.В., Кавеленова Л.М. Рентгенографическая экспресс-оценка качества семян как перспективный метод в семеноведении древесных интродуцентов // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2022. Вып.144. С. 51-56. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-51-56

[*Roguleva N.O., Yankov N.V., Zhavkina T.M., Rodionova P.V., Kavelenova L.M.* X-ray rapid assessment of seed quality as a promising method in seed science of woody introducers // *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens.* 2022. 144: 51-56. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-51-56 (In Russian)]

Родионова П.В., Овен А.П., Иванова А.В., Жавкина Т.М. Первичная оценка качества семян дуба красного и перспективы реализации его биоинвазионного потенциала в урбосреде Самарской области // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11. №4. С. 103-109. DOI: 10.55355/snv2022114115

[*Rodionova P.V., Oven A.P., Ivanova A.V., Zhavkina T.M.* The primary assessment of the red oak seeds quality and prospects for its bioinvasive potential realization in the Samara region urban environment // *Samara Scientific Bulletin,* 2022. 11(4): 103-109. DOI: 10.55355/snv2022114115]

Смирнова Н.Г. Рентгенографическое изучение семян лиственных древесных растений М.: Наука, 1987. 243 с.

[*Smirnova N.G.* Radiographic study of seeds of deciduous woody plants. Moscow: Nauka, 1987. 243 p.]

Фирсов Г.А., Ткаченко К.Г., Трофимова А.С. Клёны (*Acer L.*) Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук // Полевой журнал биолога, 2021. Т. 3, № 4. С. 357-369. DOI 10.52575/2712-9047-2021-3-4-357-369.

[*Firsov G.A., Tkachenko K.G., Trofimova A.S.* Species of *Acer L.* genus at the Great Botanic Garden of Komarov Botanical Institute of Russian Academy of Science // *Polevov journal biologia,* 2021. 3(4): 357-369. DOI 10.52575/2712-9047-2021-3-4-357-369.]

Arkhipov M.V., Priatkin N.S., Gusakova L.P., Karamysheva A.V., Trofimuk L.P., Potrakhov N.N., Bessonov V.B., Shchukina P.A. Microfocus X-Ray method for detecting hidden defects in seeds of woody forest species and other types of vascular plants // *Technical Physics,* 2020. 65(2): 324-332. DOI: 10.1134/S1063784220020024.

Bradbeer J.W. Seed Dormancy and Germination. Boston, MA, Springer US. 1988. 146 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7747-4>

Bruggink H., Van Duijn B. X-ray based seed analysis // *Seed Testing International,* 2017. P. 45-50.

Leal-Sáenz A., Waring K.M., Zagoya R.A., Hernandez-Díaz J.C., López-Sánchez C.A., Martínez-Guerrero J.H., Wehenkel C. Assessment and Models of Insect Damage to Cones

and Seeds of *Pinus strobiformis* in the Sierra Madre Occidental, Mexico. // *Frontiers in Plant Science*, 2021. Vol. 12 (628795). DOI 10.3389/fpls.2021.628795.

Nagaraju A., Ramesh Babu T., Sarath Babu B. Detection of Hidden Insect Infestation in Small and Bold Seeded Varieties of Groundnut by Standardizing X-ray Radiography // *Environment & Ecology*, 2017. 35(4E): 3650-3655.

Rahman A., Cho B.-K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review // *Seed Science Research*, 2016. 26(4): 285-305. <https://doi.org/10.1017/S0960258516000234>

Статья поступила в редакцию: 23.06.2023 г.

Roguleva N.O., Zhavkina T.M., Kavelenova L.M., Rodionova P.V., Oven A.P. The preliminary results of seeds quality evaluation of *Acer* and *Ulmus* species using microfocuss X-ray method // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2023. № 1 (170). P. 59-66

Modern forestry requires effective methods for studying seed productivity and quality of seeds formed under various growth conditions. Deciduous woody plants seeds, as a rule, are characterized by deep dormancy, they also differ in a variety of sizes and shapes, what makes them difficult objects for determining the number of full-fledged seeds in a batch that do not have external defects and signs of the presence of live pests or their larvae. The method of microfocuss radiography (X-ray) is one of the innovative, reliable and fast methods for determining the quality of seeds. The report presents the results of an X-ray assessment of the quality of seeds formed in 2022 by trees of various species of maple (*Acer*) and elm (*Ulmus*) growing in the arboretum of the Botanical Garden of the Samara University. The share of full-fledged seeds for *Acer* species increased in the following order: *A. mono* (33.2%) < *A. pseudosieboldianum* (33.3%) < *A. platanoides* (43.9%) < *A. pseudoplatanus* (46.4%) < *A. negundo* (58.2%) < *A. campestre* (68.2%) < *A. saccharinum* (96.4%). Species of the elm genus, which characterized by the rapid formation of an exceptionally large number of seeds, had a significant proportion of them turn out to be empty-grained. We found that the proportion of full-fledged seeds was slightly higher in the local species *Ulmus laevis* (about 22%) and lower in the two introduced species *U. minor* (less than 10%) and *U. pumila* (10%). For a number of species, damage to seeds by insects was revealed.

Key words: microfocuss radiography; Botanical Garden of Samara University; tree-introducers; Research Laboratory of Innovative Methods for Study and Conservation of Biological Diversity