

7. Trotz V. B. The influence of field-protecting forest strips on the condition and productivity of the agrolandscape. *Agrarian Russia*. 2017. № 11. Pp. 19-22.
8. Cheverdin Yu. I., Bessalov V. A., Titova T. V. Variation of the main morphometric characteristics of the chernozems of the stone steppe under the influence of anthropogenic influence. *Agrarian Russia*. 2017. № 12. Pp. 3-10.
9. Loupian E. A., Bourtsev M. A., Proshin A. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Radchenko M. V., Tolpin V. A., Uvarov I. A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. №. 1. P. 77.
10. Harris I., Osborn T. J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific data*. 2020. No. 7. p. 109.
11. Matveev Sh. Geo-information analysis of the main sources of climatic information on the territory of the Volgograd region. *Scientific and agronomic journal*. 2022. № 3 (118). Pp. 81-85.
12. Vygnitsky A. A. Analysis of the influence of geomorphological characteristics of territories on the safety of state protective forest strips. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2023. № 1 (69). Pp. 261-271.

Информация об авторе

Выприцкий Артем Алексеевич, младший научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 1/ 97), ORCID: 0000-0002-3095-6834, e-mail: vypritskiy-a@vfanc.ru

Author's Information

Vypritskiy Artem Alekseevich, Junior Researcher of the Laboratory of Geoinformational Modeling and Mapping of Agroforestry, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr. Universitetskiy, 97), ORCID: 0000-0002-3095-6834, e-mail: vypritskiy-a@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-22

X-RAY ANALYSIS OF SEED MATERIAL OF WOODY AND SHRUB SPECIES PROMISING IN PROTECTIVE AFFORESTATION

E. L. Grichik, O. O. Zholobova, A. V. Solonkin, A. M. Pugacheva, A. I. Belyaev

*Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology
Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: grichik-e@vfanc.ru

Received 20.09.2023

Submitted 30.11.2023

The studies were carried out as part of the state task of the Research and Development Institute of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences РАН № 122020100427-1 "Develop the scientific basis for the conservation and reproduction of valuable genotypes of trees and shrubs in in vitro culture"

Summary

Information about the method of digital microfocus radiography of tree seeds is given. Data on morphological parameters of seeds of three species of tree species *Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop. are presented. The analysis of seed quality for the presence of various defects was carried out by the method of digital microfocus radiography.

Abstract

Introduction. Relevance. The issue of conservation and restoration of forests is becoming increasingly relevant in the light of climate change and increased consumption of wood resources. High-quality seed material is the main and key factor for successful breeding and restoration of forests. The seed material of tree species is the basis for obtaining highly productive and healthy forest plantations. It plays a crucial role in the formation of the genetic basis of trees, and ultimately determines their quality, resistance to stressful conditions. The method of digital microfocus radiography of seeds is an effective tool for assessing the quality and potential viability of seeds. The method

allows to determine the internal structure, density of seeds and their defects. **Object.** The objects of the study were seeds of three species of tree and shrub species (*Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop.) and digital X-ray images. **Materials and research methods.** The research was carried out on the basis of the biotechnology laboratory of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. Seeds of tree species promising in protective afforestation, agroforestry and landscaping were selected for analysis. The seed material was collected on the territory of the collection site of the Kirovsky Forestry SSC (Volgograd) in 2022. Digital microfocus X-ray analysis of seeds was carried out on the software and hardware complex of the mobile X-ray diagnostic unit PRDU-02 for seed quality control. The results were statistically processed using the MS Excel 2016 software package and were presented as an arithmetic mean, taking into account the error of the mean. The comparison of the obtained results with each other was carried out according to the Mann-Whitney U-criterion. The differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. **Results and conclusions.** The obtained data of the X-ray analysis of the studied species of tree and shrub species made it possible to assess the quality of the seed material without injuring them with the possibility of further use. The main and most common defects are non-fulfillment of seeds, frailty and damage by pests. The nature of defects in seeds has an individual character, this is due to the specific characteristics of plants and the climatic zone of growth. The maximum indicators of high-quality seeds were noted in *G. triacanthos* – 78%, while 20% were damaged by insects. Visually, no damage was noticed on the seeds of *R. pseudoacacia* – 70% of normally executed seeds, 8% unfulfilled and puny, and 14% damaged by insects. In comparison with other species, *C. coggygria* has a high percentage of unfulfilled seeds – 12% and puny seeds – 24%. Using the example of the seeds under study, it can be concluded that for each species it is individually necessary to select certain shooting parameters: magnification factor, time exposure and voltage (kV). X-ray analysis can be recommended as an express method for determining the quality of seed material of tree and shrub species.

Key words: seed diversity, tree species, digital radiography, morphometric parameters of seeds.

Citation. Grichik E. L., Zholobova O. O., Solonkin A. V., Pugacheva A. M., Belyaev A. I. X-ray analysis of seed material of woody and shrub species promising in protective afforestation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 211-223 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-22.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 630+632.03+539.261

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ ВИДОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ В ЗАЩИТНОМ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИИ

Е. Л. Гричик, аспирант, младший научный сотрудник

О. О. Жолобова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

А. В. Солонкин, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

А. М. Пугачёва, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь

А. И. Беляев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания НИР ФНЦ
агроэкологии РАН № 122020100427-1 «Разработать научные основы сохранения и
воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре *in vitro*»

Актуальность. Вопрос сохранения и восстановления лесных массивов становится все более актуальным в свете изменения климата и увеличения потребления древесных ресурсов. Качественный семенной материал является основным и ключевым фактором для успешного разведения и восстановления лесов. Семенной материал древесных пород явля-

ется основой для получения высокопродуктивных и здоровых лесных насаждений, играет решающую роль в формировании генетической основы деревьев и в конечном итоге определяет их качество, устойчивость к стрессовым условиям. Метод цифровой микрофокусной рентгенографии семян является эффективным инструментом для оценки качества и потенциальной жизнеспособности семян. Метод позволяет определить внутреннюю структуру, плотность семян и их дефекты. **Объекты исследования.** Объектами исследования являлись семена трех видов древесно-кустарниковых пород (*Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygia* Scop.) и цифровые рентген снимки. **Методы исследования.** Исследования проведены на базе лаборатории биотехнологий Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук. Для анализа были выбраны семена древесных пород, перспективных в защитном лесоразведении, агролесомелиорации и озеленении. Семенной материал собран на территории коллекционного участка ССК Кировского лесничества (г. Волгоград) в 2022 году. Цифровой микрофокусный рентген анализ семян проводили на программно-аппаратном комплексе передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02 для контроля качества семян. Результаты подвергались статистической обработке с использованием пакета программ MS Excel 2016 и были представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Сравнение полученных результатов между собой проводилось по U-критерию Манна-Уитни. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$. **Результаты и выводы.** Полученные данные рентгенографического анализа исследуемых видов древесно-кустарниковых пород позволили оценить качество семенного материала, не травмируя их с возможностью дальнейшего использования. Основные и часто встречаемые дефекты – это невыполненность семян, щуплость и поврежденность вредителями. Природа дефектов у семян имеет индивидуальный характер, это связано с видовыми особенностями растений и климатической зоной произрастания. Максимальные показатели качественных семян отмечены у *G. triacanthos* – 78%, при этом 20% были повреждены насекомыми. Визуально не было замечено повреждений на семенах *R. pseudoacacia* – нормально выполненных семян 70%, невыполненных и щуплых 8% и поврежденных насекомыми 14%. В сравнении с другими видами у *C. coggygia* высокий процент невыполненных – 12% и щуплых семян – 24%. На примере исследуемых семян можно сделать вывод, что для каждого вида индивидуально нужно подобрать определенные параметры съемки: коэффициент увеличения, временную экспозицию и напряжение (кВ). Рентгенографический анализ можно рекомендовать в качестве экспресс-метода определения качества семенного материала древесно-кустарниковых пород.

Ключевые слова: разнокачественность семян, древесные породы, цифровая рентгенография, морфометрические параметры семян.

Цитирование. Гричик Е. Л., Жолобова О. О., Солонкин А. В., Пугачёва А. М., Беляев А. И. Рентгенографический анализ семенного материала древесных и кустарниковых видов, перспективных в защитном лесоразведении. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 211-223. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-22.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В современном мире, где экологические вопросы становятся все более актуальными, особенно в контексте изменения климата и сохранения биологического разнообразия, важно обратить внимание на качество семенного материала древесных пород. Этот аспект играет важную роль в процессе восстановления лесов и создании устойчивых экосистем [5].

Качество семян древесных пород значительно влияет на успешность лесовосстановления и посадки новых насаждений. Правильно выбранные и обработанные семена

гарантируют быстрый рост и здоровое развитие растений, что в свою очередь обеспечивает экологическую устойчивость и развитие лесных массивов [4].

При выборе семенного материала необходимо учитывать множество факторов, таких как происхождение древесных пород, генотипы, географическую принадлежность и экологические требования к данному виду деревьев. Каждая порода имеет свои особенности, и использование некачественного семенного материала может привести к нежелательным результатам, таким как низкая выживаемость растений, пониженная продуктивность и подверженность различным болезням и вредителям [1].

Цифровая микрофокусная рентгеновская установка для рентгена семян – инновационное устройство, разработанное специально для детального и надежного исследования семян различных растений. Благодаря применению передовых цифровых технологий и высококачественной оптики эта установка обеспечивает высокую точность и четкость получаемых изображений, позволяя исследователям проводить глубокий анализ структуры и состояния семян [14].

Одной из ключевых особенностей этой установки является ее цифровизация, что позволяет автоматизировать процесс получения и обработки рентгеновских снимков. Пользователи могут легко управлять установкой с помощью специального программного обеспечения, выбирая необходимые настройки и получая результаты исследований в кратчайшие сроки [12].

Метод рентгенографии семян подробно описан в зарубежной и отечественной литературе [6, 7, 8, 9, 10, 12]. С помощью рентгенографии можно увидеть все структурные дефекты исследуемых семян, такие как травмированность или отсутствие зародыша (эндосперма), щуплость, трещиноватость, поврежденность насекомыми, отслоение семенной кожуры и другие различные травмы [2].

Методика цифровой микрофокусной рентгенографии может быть использована для семян разной плотности и размера. В 2015-2016 году на базе Санкт-Петербургского электротехнического университета были проведены исследования для контроля качества семян плодовых культур [3]. В исследованиях А. Dantas de Medeiros и его коллег [13, 15] методом рентгенографии была выявлена связь внутренней морфологии и физиологических качеств семян *Leucaena leucosephala*, а также проводились оценка и анализ физиологического качества семян, основанных на рентгеновских снимках. Исследование проводилось путем анализа рентгенографических изображений семян, по которым был получен процент поврежденных семян (вредителями и грибами), а также измерений площади, периметра, округлости, относительной плотности и интегральной плотности семян. Рентгенографический метод позволил визуализировать детали внутреннего строения семян и различия в плотности тканей.

В своих исследованиях Karamysheva A. и ее коллеги подробно рассматривают и изучают полноту семян *Pinus pumila* (Pall.) Regel методом микрофокусной рентгенографии для прогнозирования их посевных качеств. Исследователями было доказано, что метод микрофокусной рентгенографии в сочетании с автоматическим анализом цифровых рентгеновских изображений может быть эффективным инструментом для быстрого определения качества семян. Полученные данные показали, что семена *Pinus pumila*, собранные с растений, интродуцированных на северо-западе России, по большинству параметров не уступают и даже превосходят семена с естественных мест произрастания [9].

М. V. Arkhipov, L. P. Gusakova и др. в 2019 году провели исследование по выявлению скрытых дефектов в семенах древесных лесных пород и других видов сосудистых растений. В исследовании проведена сравнительная оценка рентгеновских снимков и всхожести как интегральных показателей для оценки биологической полезности семян. Семена с пустым зерном и частично с полным зерном имеют меньшую среднюю

яркость на рентгенограмме [11].

Зарубежные ученые М. Tamyris, Z. Tadeu, T. Yanara и др. провели масштабное исследование, где было рассмотрено качество семян находящегося под угрозой исчезновения тропического вида пальмы (*Euterpe edulis Martius*), оцененные с помощью визуализации и рентгеновской денситометрии. С помощью метода ученым удалось получить рентгеновские снимки семян, на которых видны повреждения от обезвоживания, механические повреждения околоплодника и естественное снижение влажности семян [10].

Целью данного исследования являлось изучение полноты семян и их скрытых дефектов трех видов древесно-кустарниковых пород (*Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop.) методом микрофокусной рентгенографии для прогнозирования их посевных качеств. Задачи исследования: выявить и проанализировать скрытые дефекты образцов семян методом микрофокусной рентгенографии в сочетании с анализом цифровых рентгеновских изображений, оценить морфометрические показатели семенного материала.

Материалы и методы. Исследования проводились на базе лаборатории биотехнологий Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук. Для анализа были выбраны семена древесных пород, перспективных в защитном лесоразведении, агролесомелиорации и озеленении: *Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop. (таблица 1), собранные на территории коллекционного участка ССК Кировского лесничества (г. Волгоград) в 2022 году. Собранный семенной материал хранился в холодильнике при температуре +3-5 °С в бумажных пакетах.

Таблица 1 – Характеристика семян, используемых в исследовании

Table 1 – Characteristics of seeds used in the study

Показатели	<i>G. triacanthos</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>C. coggygria</i>
Форма	эллиптическая	почковидная	почковидная
Окраска	темно-коричневая, желтоватая	пестрая, коричневая или темно-коричневая	коричневая
Семенная кожура	глянцевая, с очень твердой семенной кожурой	гладкая блестящая или матовая семенная кожура	семена покрыты продольными жилками
Предпосевная обработка	скарификация кипятком с последующим выдерживанием в теплой воде 6-18 ч	скарификация кипятком при 90 °С до полного остывания воды	стратификация при +3-5°С в течение 90-120 дней

Цифровой микрофокусный рентген анализ семян проводили на программно-аппаратном комплексе передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 для контроля качества семян (ЭЛТЕХ-Мед, ЗАО, г. Санкт-Петербург, Россия) [3].

Метод основан на использовании рентгеновского излучения, которое проникает внутрь семени и фиксирует его внутреннюю структуру. По результатам снимка можно оценить качество семени, определить наличие внутренних дефектов, таких как: нормально выполненные семена, невыполненные семена, щуплые, поврежденные насекомыми, травмированные и т.д. [16].

Нормально выполненные семена – это семена без каких-либо видимых дефектов. Все морфологически обусловленные внутренние структуры без затемнений с четко очерченными краями.

Невыполненные семена – отличаются неправильной формой и внутренней структурой, имеют частичное отсутствие структур. Проекция частей семени выглядят угловатыми и затемненными.

Щуплые семена – внутренние части семени имеют угловатые очертания и вмятины. Также семена, утратившие ткани более чем на ½ в случае обезвоживания или вы-

сыхания.

Поврежденность насекомыми – на снимке четко видны каналы или полости, выеденные насекомыми. В некоторых случаях видны светлые проекции личинок.

Этот метод обладает преимуществами перед другими: он не портит семена, не возникает необходимость их разрушения, а также рентгенографическое исследование можно провести в любое время года [7].

Возможности рентгеновской установки позволяют настроить коэффициент увеличения от 1,3 до 8,3, напряжение 30-50 кВ, временную экспозицию от 1 до 5 секунд. В таблице 2 приведены оптимальные режимы съемки для каждого исследуемого вида, подобранные экспериментальным путем. Светлое изображение на рентгеновском снимке имеют хорошо выполненные жизнеспособные семена, тогда как повреждения и различные дефекты в силу слабого поглощения рентген излучения дают на изображении затемненные участки.

Отбор средних проб семян проводили по ГОСТ 13056.1-67. Семена по 50 штук размещали на бумажный скотч с картонной рамкой в 1 см. Массу 1000 семян определяли по ГОСТ 13056.4-67.

Таблица 2 – Режимы съемки семян древесных пород

Table 2 – Shooting modes of tree seeds

Параметры	<i>G. triacanthos</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>C. cogglygia</i>
Напряжение, кВ	40	50	50
Экспозиция, сек	2	1	1
Коэффициент увеличения	4.2	5.3	6.1

Результаты подвергались статистической обработке с использованием пакета программ MS Excel 2016 и были представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Сравнение полученных результатов между собой проводилось по U-критерию Манна-Уитни. Статистически значимыми считались различия при $p < 0.05$.

Результаты и обсуждение. Исследуемые семена трёх видов древесных пород внешне значительно отличались размером, формой и плотностью. Для каждого вида семян индивидуально подобран коэффициент увеличения, напряжение (кВ), временная экспозиция (сек). В программе ImageJ (LOCI, Университет Висконсина) были измерены ширина и длина семян (мм) и по ГОСТ 13056.4-67. – масса 1000 семян (таблица 3).

Таблица 3 – Морфометрические показатели семенного материала

Table 3 – Morphometric indicators of seed material

Показатели	<i>G. triacanthos</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>C. cogglygia</i>
Масса 1000 семян, г	125,4±2,5	13,9±3,2	9,3±1,7
Длина (min-max), мм	0,8-1,0	0,4-0,6	0,3-0,4
Длина ($\bar{x} \pm m$), мм	0,9±0,007	0,5±0,006	0,4±0,004
Ширина (min-max), мм	0,4-0,6	0,2-0,4	0,2-0,3
Ширина ($\bar{x} \pm m$), мм	0,5±0,004	0,3±0,004	0,2±0,002

Примечание: $\bar{x}$ -среднее значение, m-ошибка среднего

Морфометрический анализ семян (таблица 3) показал, что средняя длина и ширина исследуемых семян отличается от данных, приведенных в справочной литературе [4]. Это связано с особенностями почвенно-климатических условий и низкой влагообеспеченностью территории, на которой произрастали данные виды.

Исследование методом микрофокусной рентгенографии позволило выявить у внешне здоровых семян внутренние дефекты. По данным анализа получены следующие

результаты (таблица 4).

Таблица 4 – Дефекты, определенные методом микрофокусной рентгенографии

Table 4 – Defects determined by micro focus radiography

Исследуемые показатели семян	<i>G. triacanthos</i>		<i>R. pseudoacacia</i>		<i>C. cogygia</i>	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Нормально выполненные	39	78	35	70	32	64
Невыполненные	1	2	4	8	6	12
Щуплость	-	-	4	8	12	24
Повреждены насекомым	10	20	7	14	6	12

Анализ семян *G. triacanthos* был затруднен из-за плотной структуры семенной кожуры. В результате на снимке образовывались контрастные участки белого или темного цвета, что неблагоприятно влияло на интерпретацию результатов. Для улучшения качества рентгеновских снимков был тщательно подобран режим съемки для исключения неточностей в анализе и оценке состояния семян (рисунок 1).

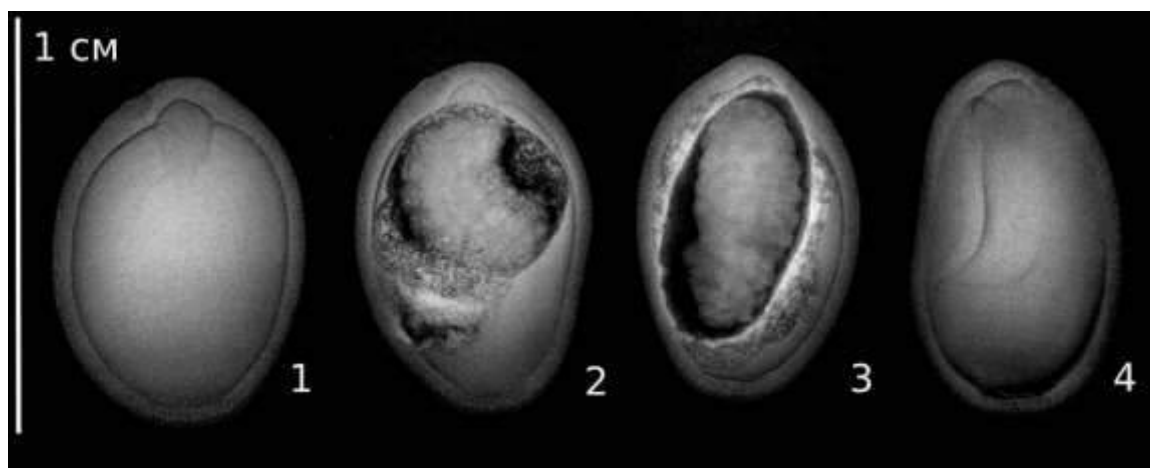


Рисунок 1 – Рентгенограмма *G. triacanthos* (увеличение 8.3): 1 – нормально выполненное, 2,3 – повреждение вредителями, 4 – невыполненное

Figure 1 – Radiograph of *G. triacanthos* (magnification 8.3): 1 – normally performed, 2,3 – damage by pests, 4 – unfulfilled

Основная масса семян имела четко очерченные границы (при большем увеличении, рисунок 1) семядолей и зародышевого корешка. Внешний контур, соответствует ширине наружной оболочки.

Нормально выполненные семена *G. triacanthos* 78% от общего числа, имеют правильную форму и размер, они отличаются равномерным свечением и четкими контурами внутренних структур на изображении. Такие семена обладают высокой жизнеспособностью.

Невыполненные семена – 2% отличаются неправильной формой и внутренней структурой, имеются вмятины (повреждение зародыша и семядолей), что в дальнейшем не способствует прорастанию.

При визуальном осмотре семенного материала *G. triacanthos* не было замечено повреждений, однако 20% семян имели следы вредителей, на снимке четко фиксировались различные стадии формирования личинки (рисунок 2).

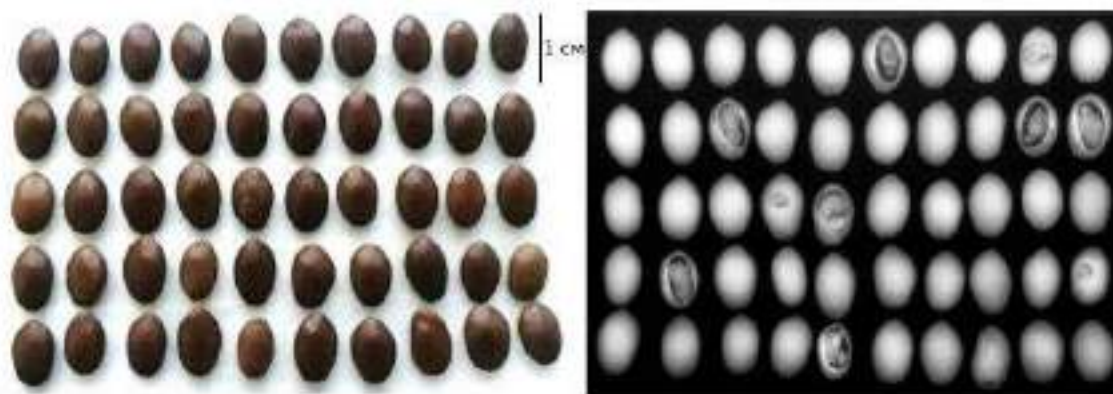


Рисунок 2 – Семена и рентгенограмма *G. triacanthos*
Figure 2 – Seeds and radiograph of *G. triacanthos*

Семена *R. pseudoacacia* на снимках имеют четкое изображение, где хорошо просматриваются все внутренние и внешние контуры (рисунок 3). Несмотря на внешне целые и здоровые семена у *R. pseudoacacia* нормально выполненных семян – полностью сформированных без дефектов 70%, область зародыша, семядоли и оболочки равномерно светлые, без затемнений. Семена на снимке имеют четкий внутренний и внешний контур.

Невыполненных семян – 8%, семена, где проекция семядолей и зародышевого корешка выглядит затемненной или темной, а светлой окраской выделяется внешний неповрежденный контур (семенная кожа).

Щуплых семян – 8%, семена имеют угловатые очертания области семядолей и зародышевого корешка, вмятины, несформированное семя с неполным содержанием ткани.

Поврежденных насекомыми семян – 14%. На снимке четко видны каналы, выеденные насекомыми. В некоторых случаях видны светлые проекции личинок.

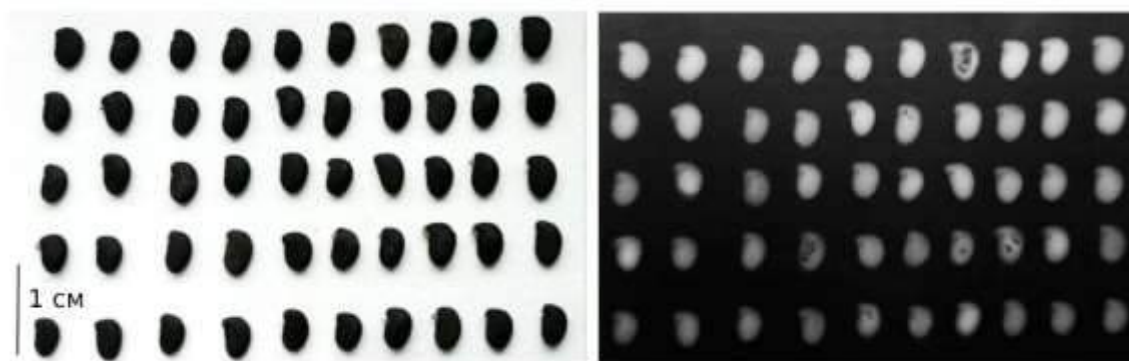


Рисунок 3 – Семена и рентгенограмма *R. pseudoacacia*
Figure 3 – Seeds and radiograph of *R. pseudoacacia*

Рентгенографический анализ семян *C. cogggyria* показал, что нормально выполненные семена составляют 64% от общего числа. Это говорит о том, что большая часть семян имеет нормальное развитие и жизнеспособность, что является хорошим показателем для разведения данного вида растения.

Невыполненные семена составляют 12%. Невыполненные семена – это семена не достигшие полного созревания формы, с минимальной выраженностью всех внутренних контуров и структур, характерной для вида. Это значит, что некоторая часть семян не развивается полностью или имеет какие-либо дефекты, что может быть связано с внутренними или внешними факторами.

Щуплые семена составляют 24%. Под щуплыми семенами понимаются семена со сниженной нормальной выполненностью, связанной с деформацией оболочек, имеющие низкую прочность и маленькую эластичность. Это может быть вызвано различными причинами, такими как неблагоприятные условия созревания, несвоевременный сбор семян, недостаточное питание или другие факторы, влияющие на качество семян. Обезвоживание.

Поврежденные насекомыми семена составляют 12% от общего числа. Это может негативно сказаться на прорастании и способности этих семян к дальнейшему размножению (рисунок 4). Анализ семян был затруднен из-за достаточно маленького размера, плотности и структуры семенной кожуры. Семенная оболочка имеет большую плотность из-за высокого содержания дубильных веществ. Это может быть связано с защитными функциями семенной кожуры, которая предотвращает проникновение различных вредных веществ и микроорганизмов внутрь семени.

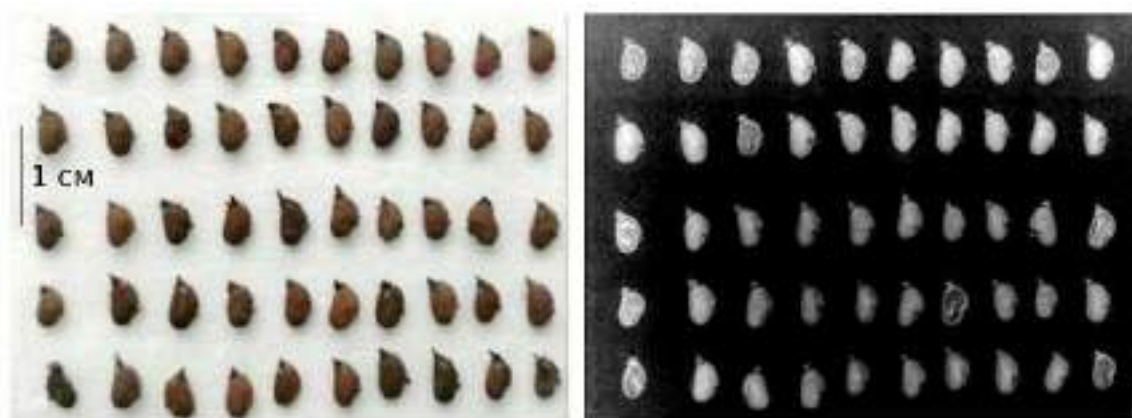


Рисунок 4 – Семена и рентгенограмма *C. coggygia*
Figure 4 – Seeds and radiograph of *C. coggygia*

Во многом природа дефектов у семян имеет индивидуальный характер, это связано с видовыми особенностями и разнообразием факторов, влияющих на формирование и развитие семян. Одним из таких факторов является генетическая предрасположенность, которая определяет структуру и функциональность семян. Окружающая среда и внешние условия также играют важную роль в формировании семян. Избыток или недостаток питательных веществ, неблагоприятные погодные условия, воздействие химических веществ могут негативно сказаться на развитии и зрелости семян, что также может привести к возникновению дефектов.

Более того, процессы образования и созревания семян подвержены воздействию биологических факторов, таких как наличие насекомых-вредителей, грибковых и бактериальных инфекций. Паразиты и болезни могут поражать семена во время их формирования, приводя к деформации, повышенной уязвимости или потере жизнеспособности и качества. Низкое качество почвы или несоответствующий уровень ухода за растениями также могут оказывать негативное влияние на семена и вызывать их дефекты [5].

Выводы. Природа дефектов у семян является результатом сложного взаимодействия генетических, биологических и окружающих факторов. Имея понимание всех этих моментов, можно разрабатывать эффективные методы предотвращения и управления дефектами у семян, что является важным аспектом в лесном и сельском хозяйстве. Основные и часто встречаемые дефекты – это невыполненность семян, щуплость и поврежденность вредителями. Эти дефекты тесно связаны и могут иметь серьезные последствия для дальнейшего развития и выживаемости семян.

Метод рентгенографии семян является важным инструментом для неразрушимого исследования внутренней структуры и состояния семян различных растений. Он позволяет выявить и зафиксировать дефекты и аномалии развития, которые могут оказывать влияние на их жизнеспособность и способность к прорастанию.

Анализ трех видов древесно-кустарниковых пород позволил определить процентное соотношение различных категорий семян и оценить их качество. Эти данные будут полезны при разработке стратегии выращивания и использования данных семян для дальнейшего разведения. Выявленные при помощи рентгенографии дефекты и аномалии внутреннего строения семян можно классифицировать и анализировать, что позволяет установить связь между этими аномалиями и жизнеспособностью семян.

Несмотря на сниженные морфометрические показатели семян, недостатком доступной влаги во время формирования и созревания семенного материала, нормально выполненных семян было более 50%. Максимальные показатели качественных семян отмечены у *G. triacanthos* – 78%, хотя при этом 20% были повреждены насекомыми, что невозможно было определить визуально, а рентгенограмма четко показала наличие повреждений внутри.

Также визуально не было замечено повреждений на семенах *R. pseudoacacia* – нормально выполненных жизнеспособных семян 70%, невыполненных и щуплых 8% и поврежденных насекомыми 14%.

В сравнении с другими видами у *C. coggygia* высокий процент невыполненных – 12% и щуплых семян – 24%. Можно предположить, что во время сбора семена были физиологически еще не созревшими. Также влияние на образование таких дефектов могли оказать неблагоприятные для полноценного созревания условия окружающей среды.

На примере исследуемых семян можно сделать вывод, что для каждого вида индивидуально нужно подобрать определенные параметры съемки: коэффициент увеличения, временную экспозицию и напряжение (кВ). Рентгенографический анализ можно рекомендовать в качестве экспресс-метода определения качества семенного материала древесно-кустарниковых пород.

Conclusions. The nature of seed defects is the result of a complex interaction of genetic, biological and environmental factors. With an understanding of all these points, effective methods can be developed to prevent and manage seed defects, which is an important aspect in forestry and agriculture. The main and most common defects are seed failure, stunting and pest damage. These defects are closely related and can have serious consequences for further seed development and survival.

Seed radiography is an important tool for indestructibly examining the internal structure and condition of seeds of various plants. It allows you to identify and record defects and developmental anomalies that may affect their viability and ability to germinate.

Analysis of three types of tree and shrub species made it possible to determine the percentage of different categories of seeds and assess their quality. These data will be useful in developing a strategy for growing and using these seeds for further propagation. Defects and anomalies in the internal structure of seeds identified using radiography can be classified and analyzed, which makes it possible to establish a connection between these anomalies and the viability of the seeds.

Despite the reduced morphometric parameters of seeds due to a lack of available moisture during the formation and ripening of seed material, more than 50% of seeds were normally produced. The maximum indicators of quality seeds were observed in *G. triacanthos* – 78%, although 20% were damaged by insects, which could not be determined visually, and the x-ray clearly showed the presence of damage inside.

Also, no damage was visually observed on the seeds of *R. pseudoacacia* – 70% of normal viable seeds, 8% of unfulfilled and puny seeds, and 14% damaged by insects.

Compared to other species, *C. coggygia* has a high percentage of unfulfilled seeds – 12% and puny seeds – 24%. It can be assumed that at the time of collection the seeds were not yet physiologically ripe. Environmental conditions unfavorable for full maturation could also influence the formation of such defects.

Using the example of the seeds under study, we can conclude that for each species it is necessary to individually select certain shooting parameters: magnification factor, time exposure and voltage (kV). X-ray analysis can be recommended as an express method for determining the quality of seed material of tree and shrub species.

Библиографический список

1. Архипов М. В. Рентгенография растений при решении задач семеноведения и семеноводства. Известия СПбГАУ. 2010. № 19. С. 36-40.
2. Безух Е. П., Потрахов Н. Н., Бессонов В. Б. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества семян плодовых культур. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. Теоретический и научно-практический журнал. 2016. № 89. С. 106-112.
3. Крючков С. Н., Вдовенко А. В., Воробьева О. М., Кочкарь М. М. Технология выращивания посадочного материала древесных видов в засушливых условиях юга России. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2021. 108 с.
4. Мусаев Ф. Б., Белецкий С. Л. История и перспективы применения рентгенографии в семеноводстве и семеноведении. Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2021. № 24 (6). С. 6-15.
5. Рогутева 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. № 144. С. 51-56.
6. Семенютина А. В., Климов А. Д. Биологический потенциал интродуцированных видов рода *Gleditsia* L. в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3. С. 78-83.
7. Синельников А. В. Свойства лесных семян с крылатками, обескрыленных, плодовых бобов и без околоплодников. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 106. С. 826-841.
8. Abud H. F., Cicero S. M., Junior F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. Acta Scientiarum. Agronomy. 2018. V. 40 (1) Pp. 1-9.
9. Karamysheva A. V., et al. Comparative study of the fullness of dwarf Siberian pine seeds *Pinus pumila* (Pall.) Regel from places of natural growth and collected from plants introduced in northwestern Russia by microfocus X-ray radiography to predict their sowing qualities. Biological Communications. 2020. V. 65 (4). Pp. 297-306.
10. Tamyris M., et al. Maturation and quality of seeds of an endangered tropical palm species (*Euterpe edulis Martius*) assessed by imaging and X-ray densitometry. 2023. <https://www.researchgate.net/publication/369843522>.
11. Arkhipov M. V., et al. Microfocus X-Ray Method for Detecting Hidden Defects in Seeds of Woody Forest Species and Other Types of Vascular Plants. Technical Physics. 2019. V. 65. Pp. 324-332.
12. Musayev F. B., Arkhipov M. V., Velikanov L. P. Non-distractive X-ray diffraction method for studying seed anatomy in relation to seed heterogeneity. Proceeding of the International conference „Functional plant anatomy”. M.: Lomonosov Moscow State University, 2013. Pp. 115–121.
13. Dantas de Medeiros A., et al. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. Ciência e Agrotecnologia. 2019. V. 42. Pp. 643-652.
14. Rahman A., Cho B. K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. Seed Science Research. 2016. V. 26. № 4. Pp. 285-305.
15. Dantas de Medeiros A., et al. Relationship between internal morphology and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds using image analysis. Revista Árvore. 2019. V. 43 (2).
16. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Potrakhov N. N. X-Ray Computer Methods for Studying the Structural Integrity of Seeds and Their Importance in Modern Seed Science. Technical Physics. 2019. V. 64 (4). Pp. 582-592.

References

1. Arkhipov M. V. Plant X-ray when solving the problems of seed science and seed production. Izvestia SPbGAU. 2010. № 19. Pp. 36-40.

2. Bezukh E. P., Potrakhov N. N., Bessonov V. B. Application of the method of microfocus radiography to control the quality of seeds of fruit crops. Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry. Theoretical and scientific-practical journal. 2016. № 89. Pp. 106-112.
3. Kryuchkov S. N., Vdovenko A. V., Vorobyova O. M., Kochkar M. M. Technology for growing planting material of tree species in the arid conditions of southern Russia. Volgograd: FSBEI HE Volgograd SAU, 2021. 108 p.
4. Musaev F. B., Beletsky S. L. History and prospects for the use of radiography in seed production and seed science. News of higher educational institutions of Russia. Radioelectronics. 2021. № 24 (6). Pp. 6-15.
5. Roguleva N. O., Yankov N. V., Zhavkina T. M., Rodionova P. V., Kavelenova L. M. Radiographic express assessment of seed quality as a promising method in the seed science of tree introducers. Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2022. № 144. Pp. 51-56.
6. Semeniyutina A. V., Klimov A. D. Biological potential of introduced species of the genus *Gleditsia* L. in the Lower Volga region. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex. Science and higher professional education. 2014. № 3. Pp. 78-83.
7. Sinelnikov A. V. Properties of forest seeds with lionfish, desiccated, bean fruits and without pericarp. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. № 106. Pp. 826-841.
8. Abud H. F., Cicero S. M., Junior F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. Acta Scientiarum. Agronomy. 2018. V. 40 (1) Pp. 1-9.
9. Karamysheva A. V., et al. Comparative study of the fullness of dwarf Siberian pine seeds *Pinus pumila* (Pall.) Regel from places of natural growth and collected from plants introduced in northwestern Russia by microfocus X-ray radiography to predict their sowing qualities. Biological Communications. 2020. V. 65 (4). Pp. 297-306.
10. Tamiris M., et al. Maturation and quality of seeds of an endangered tropical palm species (*Euterpe edulis* Martius) assessed by imaging and X-ray densitometry. 2023. <https://www.researchgate.net/publication/369843522>.
11. Arkhipov M. V., et al. Microfocus X-Ray Method for Detecting Hidden Defects in Seeds of Woody Forest Species and Other Types of Vascular Plants. Technical Physics. 2019. V. 65. Pp. 324-332.
12. Musayev F. B., Arkhipov M. V., Velikanov L. P. Non-distractive X-ray diffraction method for studying seed anatomy in relation to seed heterogeneity. Proceeding of the International conference „Functional plant anatomy”. M.: Lomonosov Moscow State University, 2013. Pp. 115–121.
13. Dantas de Medeiros A., et al. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. Ciência e Agrotecnologia. 2019. V. 42. Pp. 643-652.
14. Rahman A., Cho B. K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. Seed Science Research. 2016. V. 26. № 4. Pp. 285-305.
15. Dantas de Medeiros A., et al. Relationship between internal morphology and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds using image analysis. Revista Árvore. 2019. V. 43 (2).
16. Arkhipov M. V., Priyatin N. S., Gusakova L. P., Potrakhov N. N. X-Ray Computer Methods for Studying the Structural Integrity of Seeds and Their Importance in Modern Seed Science. Technical Physics. 2019. V. 64 (4). Pp. 582-592.

Информация об авторах

Гричик Елена Леонидовна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0003-4478-6538, e-mail: grichik-e@vfanc.ru

Жолобова Ольга Олеговна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Пугачёва Анна Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь, и.о. заместителя директора по научной работе ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0003-0852-8056, e-mail: pugachevaa@vfanc.ru

Беляев Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, и.о. директора ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0001-8077-7052, e-mail: director@vfanc.ru

Author's Information

Grichik Elena Leonidovna, graduate student, junior researcher at the laboratory of biotechnology of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0003-4478-6538, e-mail: grichik-e@vfanc.ru

Zholobova Olga Olegovna, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the biotechnology laboratory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), , ORCID: 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, chief researcher, head of the laboratory of selection, seed production and nursery production of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Pugacheva Anna Mikhailovna, Candidate of Agricultural Sciences, scientific secretary, acting Deputy Director for Scientific Work of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0003-0852-8056, e-mail: pugachevaa@vfanc.ru

Belyaev Aleksander Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, interim, Director of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0001-8077-7052, e-mail: director@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-23

THE INFLUENCE OF FOREST STRIPS ON THE FORMATION OF SNOW COVER IN AGROFORESTRY LANDSCAPES OF THE VOLGA UPLAND

M. V. Petrov, R. B. Sharipova

*Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev – a branch of the
Federal State Budgetary Institution of Science of the Samara Federal Research Center of the Russian
Academy of Sciences
Ulyanovsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: maxim120198@yandex.ru

Received 07.07.2023

Submitted 09.11.2023

Summary

The article considers the features of accumulation of snow reserves under the influence of forest stands of birch hanging openwork-blown structure in the plakor-plain (0-1°), slope-hollow (1-3°) and slope-ravine (3-5°) types of agroforestry landscapes.

Abstract

Introduction. One of the most important climatic factors against the background of regional climate change is the snow cover, which contains huge reserves of moisture and makes a great contribution to obtaining high yields. Forest plantations contribute to the most productive accumulation of snow and its uniform distribution. **Object.** The object of research is the snow cover. **Materials and methods.** The research was carried out on the experimental field of the Ulyanovsk Research Institute in the system of the erosion control complex of the Experimental Station “Novonikulinskaya” of the Tsilninsky district of the Ulyanovsk region. The height of snow and its density were measured on the eve of