

Краткое сообщение

УДК 575.1:575.2:631.526.32:635.64(476)(092)

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-04



К юбилею видного деятеля науки в области генетики и биотехнологии растений профессора СПбГУ Людмилы Алексеевны Лутовой

А. А. Нижников^{1,2,3}, И. С. Бузовкина^{1,2}, Е. К. Хлесткина^{1,4}, А. В. Кочетов^{1,5}

¹ Вавиловское общество генетиков и селекционеров, Новосибирск, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Антон Александрович Нижников, a.nizhnikov@spbu.ru

В статье рассматривается научный и педагогический путь профессора кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), доктора биологических наук, профессора Людмилы Алексеевны Лутовой, отметившей в октябре 2025 года свой юбилей. Освещаются ключевые направления ее исследований в области биотехнологии и генетики развития растений, включая разработку генетических основ регенерации растений, создание устойчивых к вредителям форм и растений-продуцентов биологически активных соединений. Особое внимание уделено ее педагогической деятельности, вкладу в подготовку кадров и популяризацию достижений генетики. Коллеги по Вавиловскому обществу генетиков и селекционеров (ВОГиС) сердечно поздравили Людмилу Алексеевну с юбилеем и пожелали ей дальнейших творческих успехов в науке и педагогической работе, энергии, крепкого здоровья и успешного развития генетики и биотехнологии растений в СПбГУ!

Ключевые слова: Людмила Алексеевна Лутова, СПбГУ, ВОГиС, биотехнология растений, генетика развития растений, молекулярная генетика, геномная инженерия, регенерация растений, агробиотехнология, научное руководство, педагогическая деятельность

Для цитирования: Нижников А.А., Бузовкина И.С., Хлесткина Е.К., Кочетов А.В. К юбилею видного деятеля науки в области генетики и биотехнологии растений профессора СПбГУ Людмилы Алексеевны Лутовой. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):150-155. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-04

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Нижников А.А., Бузовкина И.С., Хлесткина Е.К., Кочетов А.В., 2025

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o4

On the anniversary of a prominent scientist in the field of plant genetics and biotechnology, Professor of St. Petersburg State University Lyudmila Alekseevna Lutova

Anton A. Nizhnikov^{1,2,3}, Irina S. Buzovkina^{1,2}, Elena K. Khlestkina^{1,4}, Alexey V. Kochetov^{1,5}

¹ Vavilov Society of Geneticists and Breeders, Novosibirsk, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

⁴ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

⁵ Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Corresponding author: Anton A. Nizhnikov, a.nizhnikov@spbu.ru

The article describes the scientific and pedagogical career of Lyudmila Alekseevna Lutova, Doctor of Biological Sciences, and Professor of the Department of Genetics and Biotechnology at St. Petersburg State University (SPbU), who celebrated her anniversary in October 2025. It highlights key areas of her research in biotechnology and plant developmental genetics, including the development of the genetic bases of plant regeneration and the creation of pest-resistant forms and plants producing bioactive compounds. Particular attention is paid to her teaching activities, contributions to personnel training, and the popularization of advances in genetics. Colleagues from the Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS) cordially congratulated Lyudmila Alekseevna on her anniversary and wished further creative success in her research and teaching, lots of energy, good health, and successful development of plant genetics and biotechnology at St. Petersburg University!

Keywords: Lyudmila Alekseevna Lutova, St. Petersburg State University, VOGiS, plant biotechnology, plant developmental genetics, molecular genetics, genetic engineering, plant regeneration, agrobiotechnology, scientific leadership, teaching activities

For citation: Nizhnikov A.A., Buzovkina I.S., Khlestkina E.K., Kochetov A.V. On the anniversary of a prominent scientist in the field of plant genetics and biotechnology, Professor of St. Petersburg State University Lyudmila Alekseevna Lutova. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):150-155. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o4

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Nizhnikov A.A., Buzovkina I.S., Khlestkina E.K., Kochetov A.V., 2025

6 октября 2025 года свой юбилей отметила Людмила Алексеевна Лутова – доктор биологических наук, профессор кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербург-

ского государственного университета (СПбГУ), признанный специалист в области биотехнологии и генетики растений (рисунок).



Рисунок. Профессор Людмила Алексеевна Лутова награждена медалью «За вклад в работу ВОГиС». 16.10.2025 года

Fig. Professor Lyudmila Alekseevna Lutova was awarded the medal "For Contribution to the work of VOGiS." October 16, 2025

Научный путь Людмилы Алексеевны Лутовой, начавшийся на кафедре генетики и селекции Ленинградского государственного университета имени А.А. Жданова, ЛГУ (ныне – Санкт-Петербургский государственный университет, СПбГУ) еще в школьные годы, – это ярчайший образец беззаветного служения науке. Окончив университет в 1969 году, она посвятила ему всю свою последующую деятельность в науке и педагогике. Ее становление как ученого проходило на кафедре генетики и селекции ЛГУ (ныне – кафедра генетики и биотехнологии СПбГУ) под руководством ведущих специалистов в области генетики растений, в первую очередь – Василия Сергеевича Федорова (1903–1976).

Будучи совсем молодым специалистом, Л.А. Лутова уже проявила организаторские способности, исследовательскую целеустремленность, интерес к экспериментальной работе: ею с нуля в начале 70-х годов организована лаборатория культуры клеток растений, которая в дальнейшем переросла в лабораторию генной и клеточной инженерии. В 1970-1980-е годы Л.А. Лутова активно занималась изучением генетических основ регенерации растений *in vitro*. Эти исследования легли в основу ее кандидатской диссертации, защищенной

в 1976 году. В работе были впервые показаны генетические различия между линиями растений по способности к морфогенезу в культуре тканей, что открыло новые возможности для селекции и биотехнологических приложений (Lutova, 1977).

Докторскую диссертацию на тему «Генетические аспекты морфогенеза и регенерации растений» Л.А. Лутова защитила в 1993 году. В этом фундаментальном исследовании были систематизированы данные о генетическом контроле процессов регенерации, выявлены маркеры, позволяющие прогнозировать регенерационную способность растений, и предложены методы оптимизации биотехнологических протоколов (Lutova, 1993).

Основные научные достижения. Л.А. Лутова является признанным на мировом уровне специалистом в области биотехнологии растений, общей и молекулярной генетики растений. Ею разработаны генетические основы процесса регенерации у растений, на которых базируются методы культуры растительных тканей для целей селекции растений, создания культур-продуцентов для фундаментальных исследований. Под ее руководством были выполнены прорывные работы в обла-

сти защиты растений: разработана технология получения растений, устойчивых к фитофторе и колорадскому жуку, а также созданы растения-продуценты биологически активных соединений с использованием методов генной инженерии. В настоящее время научный коллектив, возглавляемый Людмилой Алексеевной, успешно использует передовые технологии, такие как генетическое редактирование (CRISPR/Cas9), методы геномики и транскриптомики, при работе как с модельными растительными объектами, так и с сельскохозяйственными культурами. (Lutova, 2003, 2010; Osipova et al., 2012; Lutova et al., 2000, 2010; Lutova, Matveeva, 2016)

Возглавляемая Людмилой Алексеевной лаборатория генной и клеточной инженерии растений кафедры генетики и биотехнологии СПбГУ развивает наиболее передовые направления генетики и биотехнологии растений. (Matveeva et al., 2012; Azarakhsh et al., 2015, 2020; Sulima et al., 2017; Lebedeva et al., 2023; Potsenkovskaia et al., 2024)

Педагогическая деятельность и подготовка кадров. Наряду с научной работой, Л.А. Лутова внесла значительный вклад в высшее образование:

- разработала и читает курсы «Генная инженерия и биотехнология растений», «Генетика развития растений», которые стали обязательными для студентов кафедры генетики и биотехнологии СПбГУ;
- инициировала создание магистерской программы СПбГУ «Молекулярно-генетические основы агробиотехнологии», объединившей фундаментальную генетику и прикладные аспекты биотехнологии (Molecular Genetic..., 2025);
- руководила подготовкой 18 кандидатов и одного доктора наук, многие из которых продолжают работать в ведущих научных центрах России и за рубежом;
- активно участвует в работе летних школ и образовательных программ для школьников, включая проекты образовательного центра «Сириус», основных образовательных программ магистратуры Научно-технологического университета «Сириус»;
- учебники «Биотехнология высших растений» и «Генетика развития растений» стали настольными книгами для студентов и аспирантов, а методические разработки используются в преподавании биологии во многих вузах страны (Lutova, 2003, 2010; Lutova et al., 2000, 2010).

Организационная и экспертная работа. Профессор Л.А. Лутова ведет активную научно-организационную деятельность:

- входит в состав ученых советов СПбГУ и биологических институтов РАН;
- является членом диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций;
- сотрудничает с редакциями ведущих научных журналов: «Генетика», «Физиология растений», «Эколо-

гическая генетика»;

- участвует в экспертизе научных проектов РФФ, РФФИ и Министерства науки и высшего образования РФ;
- является членом Центрального совета ВОГиС (Vavilov Society..., 2025).

Ранее профессор Л.А. Лутова занимала должность заместителя декана биологического факультета СПбГУ по научной работе, где курировала развитие междисциплинарных исследований и международное сотрудничество (On the anniversary of Professor..., 2025).

Награды и признание. За многолетний труд Л.А. Лутова удостоена:

- звания «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»;
- премии СПбГУ «За педагогическое мастерство»;
- благодарностей Министерства образования и науки РФ и руководства СПбГУ;
- почетных грамот научных обществ и профессиональных ассоциаций;
- медали Н.И. Вавилова (ВИР).

Ее работы неоднократно отмечались на всероссийских и международных конкурсах научных достижений. В 2025 году Людмила Алексеевна Лутова награждена медалью «За вклад в работу ВОГиС», отметившей ее масштабный вклад в развитие генетики и биотехнологии растений и подготовку кадров высшей квалификации в нашей стране.

Юбилей Людмилы Алексеевны Лутовой – это значимое событие для всей отечественной генетики. Возглавляемая ею научная школа, объединяющая фундаментальные исследования и прикладные разработки, получила широкое признание и продолжает развиваться, а ученики успешно реализуют ее идеи в новых проектах (5th International..., 2025).

Вклад Л.А. Лутовой в биотехнологию и генетику растений трудно переоценить: от пионерских работ по регенерации *in vitro* до наиболее современных исследований в области геномного редактирования. Ее педагогическая деятельность сформировала целое поколение исследователей, а учебники и методические разработки не теряют актуальности. Пример Л.А. Лутовой показывает, как сочетание фундаментальных исследований, практического применения результатов и педагогической миссии может привести к успеху в развитии научной школы.

References/Литература

- Azarakhsh M., Kirienko A.N., Zhukov V.A., Lebedeva M.A., Dolgikh E.A., Lutova L.A. Knotted1-like homeobox 3: a new regulator of symbiotic nodule development. *Journal of Experimental Botany*. 2015;66(22):7181-7195. DOI: 10.1093/jxb/erv414
- Azarakhsh M., Rumyantsev A.M., Lebedeva M.A., Lutova L.A.

- Cytokinin biosynthesis genes expressed during nodule organogenesis are directly regulated by the KNOX3 protein in *Medicago truncatula*. *PLoS ONE*. 2020;15(4):e0232352. DOI: 10.1371/journal.pone.0232352. Erratum in: *PLoS ONE*. 2020;15(5):e0234022. DOI: 10.1371/journal.pone.0234022
- 5th International Conference «GMO: history, achievements, social and environmental risks»: (dedicated to the anniversary of Lyudmila Alekseevna Lutova, Professor of the Department of Genetics and Biotechnology and Doctor of Biological Sciences); 2025 December 1-3; St. Petersburg, Russia. *St. Petersburg State University*: [website]. 2025. [in Russian] (Пятая международная конференция «ГМО: история, достижения, социальные и экологические риски»: (к юбилею профессора кафедры генетики и биотехнологии, доктора биологических наук Людмилы Алексеевны Лутовой); 1-3 декабря 2025 г.; Санкт-Петербург, Россия. *Санкт-Петербургский государственный университет*: [сайт]. 2025). URL: <https://events.spbu.ru/gmo-2025> [дата обращения: 13.10.2025].
- Lebedeva M.A., Dobyckina D.A., Yashenkova Ya.S., Romanyuk D.A., Lutova L.A. Local and systemic targets of the MtCLE35-SUNN pathway in the roots of *Medicago truncatula*. *Journal of Plant Physiology*. 2023;281:153922. DOI: 10.1016/j.jplph.2023.153922
- Lutova L.A. Study of the genetics of cotyledon regeneration in radish *Raphanus L. var. radicola* Pers. under aseptic culture conditions (Izuchenie genetiki regeneratsii semyadoley redisa *Raphanus L. var. radicola* Pers. v usloviyakh asepticheskoy kul'tury) [dissertation]. Leningrad: A.A. Zhdanov Leningrad State University; 1977. [in Russian] (Лутова Л.А. Изучение генетики регенерации семядолей редиса *Raphanus L. var. radicola* Pers. в условиях асептической культуры: дис. ... канд. биол. наук. Ленинград: Ленинградский государственный университет им. А.А. Жданова; 1977).
- Lutova L.A. Genetic control of totipotency traits and their role in ontogenetic adaptation of higher plants (Geneticheskiy kontrol' priznakov totipotentnosti i ikh rol' v ontogeneticheskoy adaptatsii vysshikh rasteniy) [dissertation]. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 1993. [in Russian] (Лутова Л.А. Генетический контроль признаков тотипотентности и их роль в онтогенетической адаптации высших растений: дис. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет; 1993).
- Lutova L.A. Biotechnology of higher plants: Textbook (Biotekhnologiya vysshikh rasteniy: uchebnik). St. Petersburg: St. Petersburg University Press; 2003. [in Russian] (Лутова Л.А. Биотехнология высших растений: учебник. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета; 2003).
- Lutova L.A. Biotechnology of higher plants: Textbook (Biotekhnologiya vysshikh rasteniy: uchebnik). 2nd ed., supplemented and corrected. St. Petersburg: St. Petersburg University Press; 2010. [in Russian] (Лутова Л.А. Биотехнология высших растений: учебник. Изд. 2-е, доп. и испр. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета; 2010).
- Lutova L.A., Ezhova T.A., Dodyeva I.E., Osipova M.A. Genetics of plant development. S.G. Inge-Vechtomov (ed.). 2nd ed., revised and enlarged. St. Petersburg: N-L Publishing House; 2010. [in Russian] (Лутова Л.А., Ежова Т.А., Додуева И.Е., Осипова М.А. Генетика развития растений / под ред. С.Г. Инге-Вечтомова. 2-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург: Издательство Н-Л; 2010).
- Lutova L.A., Matveeva T.V. Genetic and cellular engineering in biotechnology of higher plants: Textbook (Gennaya i kletochnaya inzheneriya v biotekhnologii vysshikh rasteniy: uchebnik). I.A. Tikhonovich (ed.). St. Petersburg: Eco-Vector; 2016. [in Russian] (Лутова Л.А., Матвеева Т.В. Генная и клеточная инженерия в биотехнологии высших растений / под ред. И.А. Тихоновича. Санкт-Петербург: Эко-Вектор; 2016).
- Lutova L.A., Provorov N.A., Tikhodeev O.N., Tikhonovich I.A., Khodzhaiova L.T., Shishkova S.O. Genetics of plant development. S.G. Inge-Vechtomov (ed.). St. Petersburg: Nauka; 2000. [in Russian] (Лутова Л.А., Проворов Н.А., Тиходеев О.Н., Тихонович И.А., Ходжайова Л.Т., Шишкова С.О. Генетика развития растений / под ред. С.Г. Инге-Вечтомова. Санкт-Петербург: Наука; 2000).
- Matveeva T.V., Bogomaz D.I., Pavlova O.A., Nester E.W., Lutova L.A. Horizontal gene transfer from genus *Agrobacterium* to the plant *Linaria* in nature. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2012;25(12):1542-1551. DOI: 10.1094/MPMI-07-12-0169-R
- Molecular genetic foundations of agrobiotechnology: Master's Degree Program (Molekulyarno geneticheskiye osnovy agrobiotekhnologii: obrazovatel'naya programma magistratury). *St. Petersburg State University*: [website]. 2025. [in Russian] (Молекулярно-генетические основы агробиотехнологии: образовательная программа магистратуры. *Санкт-Петербургский государственный университет*: [сайт]. 2025). URL: <https://spbu.ru/posturayushchim/programms/magistratura/molekulyarno-geneticheskiye-osnovy-agrobiotekhnologii> [дата обращения: 13.08.2025].
- On the anniversary of Professor Lyudmila Alekseevna Lutova. *St. Petersburg State University, Faculty of Biology*: [website]. 2025. [in Russian] (К юбилею профессора Людмилы Алексеевны Лутовой. *Биологический факультет СПбГУ*: [сайт]. 2025). URL: <https://bio.spbu.ru/870-k-yubileyu-professora-lyudmily-alekseevny-lutovoj.html>. Дата публикации: 06.10.2025
- Osipova M.A., Mortier V., Demchenko K.N., Tsyganov V.E., Tikhonovich I.A., Lutova L.A., Dolgikh E.A., Goormachtig S. *WUSCHEL*-related *HOMEOBOX5* gene expression and interaction of CLE peptides with components of the systemic control add two pieces to the puzzle of autoregulation of nodulation. *Plant Physiology*. 2012;158(3):1329-1341. DOI: 10.1104/pp.111.188078
- Potsenkovskaia E.A., Tvorogova V.E., Simonova V.Y., Konstantinov Z.S., Kiseleva A.S., Matveenko A.G., Brynchikova A.V., Lutova L.A. CRISPR-based editing of the *Medicago truncatula LEC1* gene. *Plants*. 2024;13(22):3226. DOI: 10.3390/plants13223226
- Sulima A.S., Zhukov V.A., Afonin A.A., Zhernakov A.I., Tikhonovich I.A., Lutova L.A. Selection signatures in the first exon of paralogous receptor kinase genes from the *Sym2* region of the *Pisum sativum L.* genome. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1957. DOI: 10.3389/fpls.2017.01957
- Vavilov Society of Geneticists and Breeders: [website]. 2025. [in Russian] (Вавиловское общество генетиков и селекционеров: [официальный сайт]. 2025). URL: https://vogis.org/?page_id=31 [дата обращения: 13.08.2025].

Информация об авторах

Антон Александрович Нижников, доктор биологических наук, профессор РАН, профессор, заведующий, кафедра генетики и биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; вице-президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГИС), 630090 Россия, Новосибирск; заведующий, лаборатория протеомики надорганизменных систем, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ), 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3; a.nizhnikov@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Ирина Сергеевна Бузовкина, кандидат биологических наук, старший преподаватель, кафедра генетики и биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, i.buzovkina@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5219-2102>

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; вице-президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС), 630090 Россия, Новосибирск, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Алексей Владимирович Кочетов, доктор биологических наук, академик РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10; президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС), 630090 Россия, Новосибирск, ak@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

Information about the authors

Anton A. Nizhnikov, Dr. Sci. (Biology), Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head, Department of Genetics and Biotechnology, St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034 Russia; Vice-President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Novosibirsk, 630090 Russia; Head, Laboratory of Proteomics of Supraorganismal Systems, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology (VNIISKhM), 3, Podbelskogo Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608 Russia, a.nizhnikov@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Irina S. Buzovkina, Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer, Department of Genetics and Biotechnology, St. Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034 Russia, i.buzovkina@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5219-2102>

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia; Vice President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Novosibirsk, 630090 Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Alexey V. Kochetov, Dr. Sci. (Biology), Academician, Russian Academy of Sciences, Director, Institute of Cytology and Genetics SB RAS, 10, Academician Lavrentyev Avenue, Novosibirsk, 630090 Russia; President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Novosibirsk, 630090 Russia, ak@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.10.2025; одобрена после рецензирования 28.10.2025; принята к публикации 12.11.2025.

The article was submitted on 18.10.2025; approved after reviewing on 28.10.2025; accepted for publication on 12.11.2025.