

Краткое сообщение

УДК 631.544.43;004.896

DOI:10.37482/0536-1036-2023-2-195-201

Анализ воздействия ветровой нагрузки на каркас теплицы для выращивания семян с закрытой корневой системой

Д.В. Черник[✉], канд. техн. наук, доц.; ResearchID: [ACY-8919-2022](https://orcid.org/0000-0002-8114-764X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8114-764X>

Е.В. Авдеева, д-р с.-х. наук, доц.; ResearchID: [GLR-2803-2022](https://orcid.org/0000-0003-3425-7157),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3425-7157>

К.Н. Черник, мл. науч. сотр.; ResearchID: [ETZ-9702-2022](https://orcid.org/0000-0003-1203-4825),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1203-4825>

Н.Л. Ровных, мл. науч. сотр.; ResearchID: [GLR-2881-2022](https://orcid.org/0000-0001-6514-3393),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6514-3393>

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; dionisu2@mail.ru[✉], e.v.avdeeva@gmail.com, Kristi.blueberry@yandex.ru, chacha.92@bk.ru

Поступила в редакцию 24.01.22 / Одобрена после рецензирования 20.04.22 / Принята к печати 22.04.22

Аннотация. Воспроизводство лесов является одним из приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации. Искусственное возобновление лесов, в том числе с использованием технологии выращивания семян с закрытой корневой системой, показало высокую эффективность в условиях, где естественное лесовосстановление не находило должного развития. Особенно это касается площадей, подвергнутых концентрированным сплошным вырубкам и пострадавших от верховых пожаров. Несмотря на высокую стоимость, технология выращивания семян с закрытой корневой системой является экономически целесообразной за счет высокой приживаемости растений и возможности производить посадку в течение длительного периода времени. Для реализации данной технологии применяются теплицы промышленного формата, при проектировании которых необходимо учитывать внешние нагрузки, в том числе ветровые, зависящие от территориального расположения конструкции. Цель работы – обосновать параметры конструкции каркаса теплицы достаточной прочности для выращивания семян с закрытой корневой системой. Объектом исследования является твердотельная модель каркаса теплицы. Исследование осуществлено для условий климата Красноярского края. Выполнен анализ нагрузок и напряжений, возникающих в элементах конструкции теплицы под действием их собственного веса и ветровых воздействий, с использованием метода твердотельного моделирования. При помощи основанного на методе конечных элементов алгоритма исследования напряжений в системе автоматизированного проектирования рассчитаны основная и пиковая ветровые нагрузки, воздействующие на каркас теплицы, определены размеры его участков и ветровые нагрузки на этих участках, максимальные напряжения, возникающие на каркасе теплицы под действием основной и пиковой ветровых нагрузок, наиболее нагруженные места конструкции. Даны рекомендации по оптимизации конструкции.

Ключевые слова: лесовосстановление, теплица, закрытая корневая система, семена с закрытой корневой системой, твердотельное моделирование, анализ нагрузок, система автоматизированного проектирования, Красноярский край

Благодарности: Проект «Разработка импортозамещающего комплекса оборудования точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой, оптимизация параметров модульной теплицы для условий лесничеств Красноярского края» (№ 2022030508374) поддержан Красноярским краевым фондом науки.

Для цитирования: Черник Д.В., Авдеева Е.В., Черник К.Н., Ровных Н.Л. Анализ воздействия ветровой нагрузки на каркас теплицы для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 2. С. 195–201. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-195-201>

Brief presentation

Analysis of Wind Load Effect on Greenhouse Frame for Cultivation Seedlings with Closed Root System

Denis V. Chernik[✉], Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [ACY-8919-2022](https://orcid.org/0000-0002-8114-764X),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8114-764X>

Elena V. Avdeeva, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [GLR-2803-2022](https://orcid.org/0000-0003-3425-7157),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3425-7157>

Kristina N. Chernik, Junior Research Scientist; ResearcherID: [ETZ-9702-2022](https://orcid.org/0000-0003-1203-4825),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1203-4825>

Nikita L. Rovnykh, Junior Research Scientist; ResearcherID: [GLR-2881-2022](https://orcid.org/0000-0001-6514-3393),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6514-3393>

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prosp. named after gazeta Krasnoyarskiy Rabochiy, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation; dionisu2@mail.ru[✉], e.v.avdeeva@gmail.com, Kristi.blueberry@yandex.ru, chacha.92@bk.ru

Received on January 24, 2022 / Approved after reviewing on April 20, 2022 / Accepted on April 22, 2022

Abstract. Reforestation is one of the priorities of the state policy of the Russian Federation. Artificial recreation of forests, including a closed root system seedling cultivation technology, has shown its high efficiency in the conditions where natural recovery didn't develop at the proper extent, especially in the areas affected by large-scale clearcuts and crown fires. Despite the high cost of the closed root system seedling cultivation technology, it is economically viable due to the high survival rate of the plants and the possibility to carry out the planting process over a long period of time. The industrial greenhouses are used for this technology and their construction engineering must consider the influence of external stress, including wind load that depends on the territorial location of the structure. The purpose of the study is to justify the construction characteristics of a greenhouse frame with a sufficient strength for the cultivation of seedlings with the closed root system. The object of the study is a rigid frame model of the greenhouse. The study was performed in the climate conditions of the Krasnoyarsk Krai. The stress and strain analysis are made on the greenhouse construction elements under the conditions of their own weight and wind load using the method for solid modelling. The principal and the peak loads, the dimensions of the most stained areas, the influence of the wind load in these regions are calculated by applying the finite element algorithm for stress analysis simulated in a CAD software. The recommendations for the optimization of the structure are given.

Keywords: reforestation, greenhouse, closed roof system, seedlings with closed root system, solid modeling, stress and strain analysis, CAD software, Krasnoyarsk Krai



Funding: Project “Development of an Import-Substituting Equipment Complex for Precision Planting in Cultivation of Seedlings with Closed Root System, Optimization of Modular Greenhouse Parameters in the Conditions of Forestry Facilities in Krasnoyarsk Krai”, No. 2022030508374 supported by the Krasnoyarsk Regional Science Foundation.

For citation: Chernik D.V., Avdeeva E.V., Chernik K.N., Rovnykh N.L. Analysis of Wind Load Effect on Greenhouse Frame for Cultivation Seedlings with Closed Root System. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 2, pp. 195–201. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-195-201>

Введение

Исходя из стратегического планирования на период до 2030 г., государственная политика Российской Федерации в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов направлена на дальнейшее развитие лесовосстановления [6, 12].

Искусственное восстановление лесов осуществляется путем посадки саженцев или посева семян лесных растений. Используются сеянцы и саженцы с открытой и закрытой корневой системой (ЗКС). Большинство исследователей едины во мнении о том, что искусственные насаждения превосходят естественные по производительности и увеличение доли искусственного лесовосстановления и лесоразведения можно рассматривать как способ повышения продуктивности лесов [3–5, 7, 15, 16, 18]. Особенно подчеркивается эффективность искусственного лесовосстановления для территорий, пройденных огнем [19].

Перспективным считается лесной посадочный материал с ЗКС, который выращивают в контейнерах, брикетах разных формы и размеров, торфоперегнойных горшочках и т. п. с полным комплексом органоминеральных удобрений и микроэлементов [1]. В процессе выращивания посадочного материала в теплицах проводят подкормку сеянцев и саженцев. Все это обеспечивает хороший рост растений в питомнике [11]. Несмотря на то, что себестоимость сеянца с ЗКС на 42 % превышает себестоимость сеянца с открытой корневой системой, использование первого вида посадочного материала экономически обосновано, так как обеспечивает относительно высокую приживаемость растений и позволяет производить посадку в течение длительного периода времени [9].

Исходя из сказанного, разработка и совершенствование технологии и оборудования для выращивания посадочного материала с ЗКС являются актуальными.

Цель работы – совершенствование конструкции модульной теплицы для выращивания сеянцев с ЗКС на основе анализа ветровых нагрузок.

Объекты и методы исследования

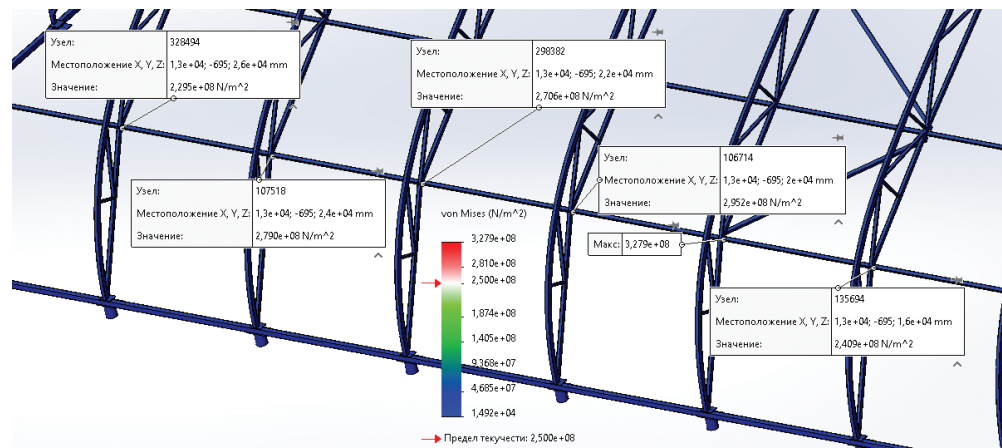
Проведен анализ нагрузок и напряжений, возникающих в элементах конструкции теплицы под действием внутренних и внешних сил. Используются инструменты твердотельного моделирования с предварительным расчетом ветровой нагрузки на конструкцию теплицы. Учтены воздействия ветра от основной и пиковой типов ветровой нагрузки. Данные воздействия определены согласно СП 20.13330.2016 и СП 107.13330.2012. При этом учтены габаритные размеры теплицы и ее территориальное расположение. Исследование проведено для природно-климатических условий Красноярского края.

Для анализа нагрузок и напряжений, возникающих в элементах конструкции теплицы под действием внутренних и внешних сил, применяли систему автоматизированного проектирования, алгоритм расчета нагрузок которой основан на методе конечных элементов и использует распределение фон Мизеса (von Mises) [2, 8, 10, 13, 14, 17, 20]. Расчеты выполнены в программе Solidworks Simulation.

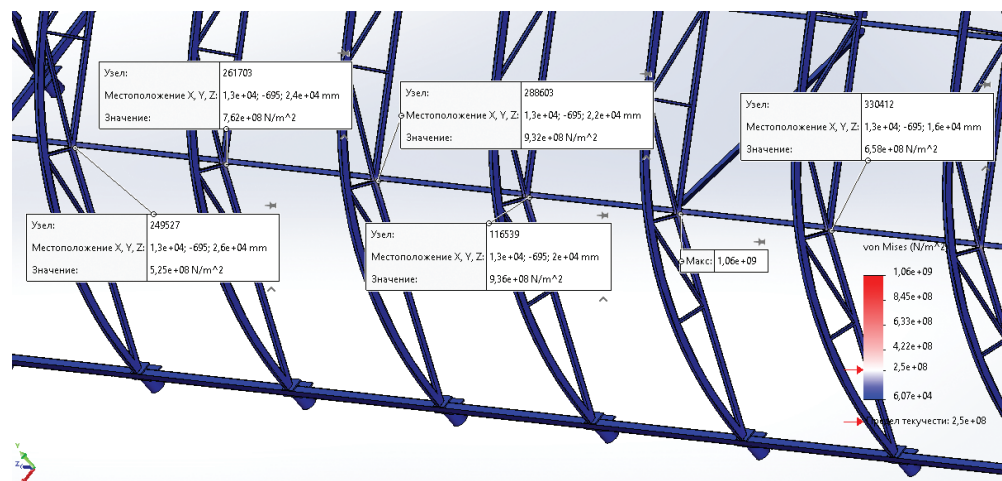
Результаты исследования и их обсуждение

Анализ напряжений, вызываемых основной и пиковой ветровыми нагрузками, показал, что наибольшие напряжения, превышающие допустимые в 4,22 раза, возникают в элементах конструкции теплицы в случае $\alpha = 90^\circ$, т. е. когда вектор скорости ветра направлен перпендикулярно плоскости торцевой конструкции. При этом пятно максимальной концентрации напряжений находится на сгибе внутреннего пояса с боковой стороны 8-й арки.

Выявлено, что одними из наиболее нагруженных мест рядовых конструкций являются узлы, приближенные к месту крепления арок к сваям (см. рисунок). Максимальные напряжения возникают ближе к центральной части теплицы. Исходя из этого проведено исследование нагрузок 3–8-й арок от торцевой конструкции, подвергшейся воздействию основной и пиковой ветровых нагрузок. Результаты представлены на рисунке.



а



б

Зондирование наиболее нагруженных мест арок рядовых конструкций при ветровой нагрузке: а – основной; б – пиковой. Программа Solidworks Simulation

Probing of the most stressed areas of the constructional arches influenced by wind load in Solidworks Simulation software: а – principal load; б – peak load

При воздействии пиковой ветровой нагрузки на подветренной стороне торцевой арки в узлах сочленения диагональных и поперечных связей также возникают напряжения, превышающие допустимые.

Выводы

По результатам анализа воздействия ветровых нагрузок и собственного веса на конструкцию каркаса теплицы для выращивания сеянцев лесных культур сделаны следующие выводы:

максимальные напряжения, возникающие на каркасе теплицы под действием ветровой нагрузки и собственного веса, превышают допустимые;

наиболее нагруженным местом являлся узел на внутреннем поясе арки, где сходятся малый и большой радиусы поясов рядовых конструкций теплицы, для равномерности распределения напряжений необходимо обеспечить более плавный переход элементов конструкции внутреннего пояса;

одними из наиболее нагруженных мест рядовых конструкций являются узлы, приближенные к месту крепления арок к сваям, требуется выполнить разнесение наружного и внутреннего поясов у оголовка сваи, что позволит разгрузить узлы крепления арок к фундаменту;

для обеспечения существенного повышения прочности конструкции рекомендуется в 1,5 раза увеличить расстояние между внутренним и наружным поясами арки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Авдеева Е.В., Ровных Н.Л., Иванов Д.В., Сухенко Н.В., Кухар И.В., Калинин М.Д. Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 4. С. 250–258.

Avdeyeva E.V., Rovnykh N.L., Ivanov D.V., Sukhenko N.V., Kukhar I.V., Kalinin M.D. Russian and World Experience in Growing Planting Material with a Closed Root System. *Khvoynye boreal'noy zony* = Conifers of the Boreal Area, 2022, vol. 40, no. 4, pp. 250–258. (In Russ.).

2. Алямовский А.А. SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология. М.: ДМК Пресс, 2020. 658 с.

Alyamovskiy A.A. *SOLIDWORKS Simulation and FloEFD. Practice, Methodology, Ideology*. Moscow, DMK Press Publ., 2020. 658 p. (In Russ.).

3. Ананьев Е.М., Азбаев Б.О., Суюндиков Ж.О., Рахимжанов А.Н., Ражанов М.Р. Использование посадочного материала с закрытой корневой системой в степной зоне // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. Вып. 46. С. 60–63.

Ananyev E.M., Azbayev B.O., Suyundikov Zh.O., Rakhimzhanov A.N., Razhanov M.R. The Use of Planting Material with Closed Root System in the Steppe Zone. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2016, no. 46, pp. 60–63. (In Russ.).

4. Бобушкина С.В., Мочалов Б.А., Шапошникова Л.В. Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Архангельской области // Леса и лесное хозяйство в современных условиях: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, Хабаровск, 4–6 окт. 2011 г. / отв. ред. А.П. Ковалев. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2011. С. 81–84.

Bobushkina S.V., Mochalov B.A., Shaposhnikova L.V. Experience of Growing Planting Material with Closed Root System in Arkhangelsk Region. *Forests and Forestry in Current Conditions: Proceedings of the All-Russian International Conference, Khabarovsk, 4-6 October 2011*. Ed. by A.P. Kovalev. Khabarovsk, Dal'NIILKh Publ., 2011, pp. 81–84. (In Russ.).

5. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований. СПб.: Политехн. ун-т, 2016. 125 с.
Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. *Statistical Processing of Forestry Research Materials*. Sankt Petersburg, POLYTECH Publ., 2016. 125 p. (In Russ.).
6. Ву Ван Чыонг. Лесоводственно-экологические последствия комплексных рубок в осушаемых сосняках (на примере Ленинградской области): дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2018. 110 с.
Chyong Vu Van. *Silvicultural and Ecological Consequences of Complex Logging in Drained Pine Forests (a Case Study in the Leningrad Region)*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 2018. 110 p. (In Russ.).
7. Гоф А.А. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной сеянцами с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2020. 169 с.
Gof A.A. *Efficiency of Scots Pine Forest Cultivation by Seedlings with Closed Root System in Ribbon Forests of Altai*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Ekaterinburg, 2020. 169 p. (In Russ.).
8. Долгушин В.А., Соляник С.С., Спирина А.В. Механика: Сопротивление материалов. Расчет элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость. СПб.: СПбГАУ, 2019. 47 с.
Dolgushin V.A., Solyanik S.S., Spirina A.V. *Mechanics: Resistance of Materials. Evaluation of Constructional Components by Strength, Rigidity and Stability*. Saint Petersburg, SPbGAU Publ., 2019. 47 p. (In Russ.).
9. Корчагов С.А., Грибов С.Е., Обрядина О.Ю. Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 5. С. 92–102.
Korchagov S.A., Gribov S.E., Obryadina O.Yu. Economic Appraisal of Forest Plantation Development by Kinds of Planting Material. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2017, no. 5, pp. 92–102. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.5.92>
10. Кузнецов Ф.А., Сладкова Л.А., Крылов В.В. Моделирование ветровой нагрузки в программной среде SOLIDWORKS // Строительные и дорожные машины. 2020. № 12. С. 23–27.
Kuznetsov F.A., Sladkova L.A., Krylov V.V. Wind Load Modeling by SOLIDWORKS Software. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* = Construction and Road Building Machinery, 2020, no. 12, pp. 23–27. (In Russ.).
11. Лугинина Л.И., Иващенко Н.Н. Применение сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенной по контейнерной технологии на вырубках Нижегородской области // Вестн. НГСХА. 2017. № 1(13). С. 25–31.
Luginina L.I., Ivashchenko N.N. Application of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) Cultivated with Container Technology on Logging Areas of Nizhny Novgorod Region. *Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*, 2017, no. 1(13), pp. 25–31. (In Russ.).
12. Родин А.Р., Васильев С.Б., Родин С.А., Савченкова В.А., Никитин В.Ф., Калашиникова Е.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 164 с.
Rodin A.R., Vasilyev S.B., Rodin S.A., Savchenkova V.A., Nikitin V.F., Kalashnikova E.A. *Theory and Practice of Artificial Reforestation*. Moscow, MG TU im. N.E. Bauman Publ., 2019. 164 p. (In Russ.).
13. Черник Д.В., Авдеева Е.В., Логачев А.К., Черник К.Н., Ровных Н.Л. Исследование воздействия снеговой нагрузки на каркас теплицы для выращивания сеянцев с ЗКС в SolidWorks // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 4. С. 333–337.

Chernik D.V., Avdeyeva E.V., Logachev A.K., Chernik K.N., Rovnykh N.L. Study of the Effect of Snow Load on the Framework of Greenhouses for Growing Seedlings with Root-Balled Tree System in SolidWorks. *Khvoynye boreal'noy zony = Conifers of the Boreal Area*, 2022, vol. 40, no. 4, pp. 333–337. (In Russ.).

14. Черник К.Н., Черник Д.В. Анализ прочностных характеристик стрелы комбинированного манипулятора в среде SolidWorks // *Машиностроение: новые концепции и технологии: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 23 окт. 2020 г. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнёва, 2020. С. 200–203.*

Chernik K.N., Chernik D.V. Strength Characteristics Analysis of Combined Crane Arm in SolidWorks Software. *Mechanical Engineering: New Concepts and Technologies. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Post-Graduates and Young Scientists. Krasnoyarsk, October 23, 2020. Krasnoyarsk, SibGU im. M.F. Reshetnev Publ., 2020, pp. 200–203. (In Russ.).*

15. Clabo D.C., Clatterbuck W.K. Establishment and Early Development of Even-Age Shortleaf Pine-Hardwood Mixtures Using Artificially Regenerated Shortleaf Pine and Various Site Preparation and Release Treatments. *Forest Science*, 2020, vol. 66, no. 3, pp. 351–360. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz082>

16. Dey D.C., Jacobs D., McNabb K., Miller G., Baldwin V., Foster G. Artificial Regeneration of Major Oak (*Quercus*) Species in the Eastern United States: A Review of the Literature. *Forest Science*, 2008, vol. 54, no. 1, pp. 77–106. <https://doi.org/10.1093/forests/54.1.77>

17. Yang A.-S., Juan Y.-H., Wen C.-Y., Su Y.-M., Wu Y.-C. Investigation on Wind Environments of Surrounding Open Spaces Around a Public Building. *Journal of Mechanics*, 2017, vol. 33, no. 1, pp. 101–113. <https://doi.org/10.1017/jmech.2016.47>

18. Ogilvy T.K., Legg C.J., Humphrey J.W. Diversifying Native Pinewoods Using Artificial Regeneration. *Forestry*, England, London, vol. 79, no. 3, pp. 309–317. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpl018>

19. Zhang J., Webster J., Powers R.F., Mills J. Reforestation After the Fountain Fire in Northern California: An Untold Success Story. *Journal of Forestry*, 2008, vol. 106, iss. 8, pp. 425–430, <https://doi.org/10.1093/jof/106.8.425>

20. Zhang Y., Fu Y., Jia J., Luo X. An Approach to Automatic Boundary Segmentation of Solid Models Using Virtual Topology: Toward Reconstruction of Design Features. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2020, vol. 7, no. 3, pp. 367–385. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa030>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest