

## Высокопроизводительные системы фенотипирования сельскохозяйственных культур

М. И. Анчёков, К. Ч. Бжихатлов, А. М. Лешкенов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

**Аннотация.** В работе произведен анализ систем высокопроизводительного фенотипирования сельскохозяйственных культур. Рассматриваются системы на основе мобильных роботов, беспилотных летательных аппаратов и программно-аппаратные комплексы. Показано, что несмотря на существование на рынке готовых решений, они не покрывают весь спектр задач.

**Ключевые слова:** фенотипирование, селекция, робототехника

### REFERENCES

1. URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/population> (дата обращения 31.10.2022 г.)
2. Mueller-Sim T. The Robotanist: A ground-based agricultural robot for high-throughput crop phenotyping. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2017. DOI: 10.1109/ICRA.2017.7989418.
3. Fischler M.A., Bolles R.C. Random sample consensus. *Commun. ACM*. 1981. Vol. 24. No. 6. Pp. 381–395.
4. Coulter R. Implementation of the pure pursuit path tracking algorithm. Carnegie Mellon University – Robotics Institute, *Tech. Rep.*, January 1992.
5. Baret F., de Solan B., Thomas S. [et al]. Phenomobile: A fully automatic robot for high-throughput field phenotyping of a large range of crops with active measurements. April 2022, [https://www.robopac.com/wp-content/uploads/2020/08/IAMPS\\_Phenomobile.pdf](https://www.robopac.com/wp-content/uploads/2020/08/IAMPS_Phenomobile.pdf)
6. Madec S., Baret F., de Solan B. [et al]. High-throughput phenotyping of plant height: comparing unmanned aerial vehicles and ground lidar estimates. *Frontiers in Plant Science*. 2017. No. 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.02002.

7. Volpato L. [et al]. High Throughput Field Phenotyping for Plant Height Using UAV-Based RGB Imagery in Wheat Breeding Lines: Feasibility and Validation. *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.591587>
8. Chivasa W., Mutanga O., Burgueño J. UAV-based high-throughput phenotyping to increase prediction and selection accuracy in maize varieties under artificial MSV inoculation. *Computers and Electronics in Agriculture.* 2021. Vol. 184. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106128.
9. Su W. [et al]. Phenotyping of Corn Plants Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *Remote Sensing.* 2019. Vol. 11. No. 17. <https://doi.org/10.3390/rs11172021>
10. Buchaillet Ma.L. [et al]. Evaluating Maize Genotype Performance under Low Nitrogen Conditions Using RGB UAV Phenotyping Techniques. *Sensors.* 2019. Vol. 19. No. 8. DOI: 10.3390/s19081815.
11. Arunachalam A., Andreasson H. Real-time plant phenomics under robotic farming setup: A vision-based platform for complex plant phenotyping tasks. *Computers & Electrical Engineering.* 2021. Vol. 92. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2021.107098.
12. Gehan M. A. [et al]. PlantCV v2: Image analysis software for high-throughput plant phenotyping. *PeerJ.* 2017. Vol. 5. DOI: 10.7717/peerj.4088.
13. Rueden C. T. [et al]. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics.* 2017. Vol. 18. No. 1. <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z>
14. Klukas C., Chen D., Pape J.-M. Integrated Analysis Platform: An Open-Source Information System for High-Throughput Plant Phenotyping. *Plant Physiology.* 2014. Vol. 165. No. 2. Pp. 506–518. <https://doi.org/10.1104/pp.113.233932>
15. De Vylder J. [et al]. Rosette Tracker: An Open Source Image Analysis Tool for Automatic Quantification of Genotype Effects. *Plant Physiology.* 2012. Vol. 160. No. 3. Pp. 1149–1159. <https://www.jstor.org/stable/41693984>
16. Ubbens J. R., Stavness I. Deep Plant Phenomics: A Deep Learning Platform for Complex Plant Phenotyping Tasks. *Front. Plant Sci.* 2017. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01190>
17. Apelt F. [et al]. Phytotyping 4D: a light-field imaging system for non-invasive and accurate monitoring of spatio-temporal plant growth. *Plant J.* 2015. Vol. 82. No. 4. Pp. 693–706. DOI: 10.1111/tpj.12833
18. Zhang C. [et al]. 3D Robotic System Development for High-throughput Crop Phenotyping. *IFAC-PapersOnLine.* 2016. Vol. 49. No. 16. Pp. 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.045>
19. Mazis A. [et al]. Application of high-throughput plant phenotyping for assessing biophysical traits and drought response in two oak species under controlled environment. *Forest Ecology and Management.* 2020. Vol. 465. P. 118101. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118101>
20. URL: <https://phenospex.com/> (дата обращения 31.10.2022 г.)

21. *Rakutko E.N.* Determination of the crown structure of plants during their automated phenotyping. *Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva* [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products]. 2020. No. 2(103). Pp. 44–57. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10240. (In Russian)

*Ракутько Е. Н.* Определение структуры кроны растений при их автоматизированном фенотипировании // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2020. № 2(103). С. 44–57. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10240.

22. *Braginsky M.Ya., Tarakanov D.V.* Plant phenotyping by an adaptive image processing system based on convolutional neural networks. *Izdatel'skiy tsentr Sur-GU* [Publishing Center of SurSU]. 2021. No. 2(42). Pp. 6–16. DOI: 10.34822/1999-7604-2021-2-6-16. (In Russian)

*Брагинский М. Я., Тараканов Д. В.* Фенотипирование растений адаптивной системой обработки изображений на базе сверточных нейронных сетей // Вестник кибернетики. 2021. № 2(42), С. 6–16. DOI: 10.34822/1999-7604-2021-2-6-16.

23. *Röckel F. [et al].* PhenoApp: A mobile tool for plant phenotyping to record field and greenhouse observations. *F1000Res.* 2022. Vol. 11. P. 12.

#### **Информация об авторах**

**Анчёков Мурат Инусович**, науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;  
360000, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;  
[murat.antchok@gmail.com](mailto:murat.antchok@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>

**Бжихатлов Кантемир Чамалович**, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;  
360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;  
[haosit13@mail.ru](mailto:haosit13@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

**Лешкенов Аслан Мухамедович**, зав. лабораторией «Сельскохозяйственная робототехника», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;  
360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;  
[aslan.leshkenov@yandex.ru](mailto:aslan.leshkenov@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-3213>