

**Экспериментальные исследования автоматизированной системы
регулирования плотности почвы машины для посадки чеснока**

Андрей Григорьевич Пономарев, Сергей Николаевич Петухов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

e-mail: agrodisel@mail.ru

Аннотация. Разработана автоматизированная система адаптивного регулирования плотности почвы, позволяющая обеспечить повышение качества заделки чеснока при посадке в диапазоне регулирования плотности почвы в интервале 1,2–1,4 г/см³. Разработана методика проведения экспериментальных исследований машины для посадки чеснока с установленной системой автоматического контроля и управления регулированием плотности почвы при посадке. Результаты экспериментальных исследований равномерности уплотнения почвы прикатывающим катком с автоматической системой контроля плотности и заделывающим устройством, представленным загорточом полозовидного типа свидетельствуют о том, что после прохода загорточом полозовидного типа значение исследуемого параметра увеличилось на 18 % относительно первоначального состояния почвы. Результаты экспериментальных исследований показателей качества работы посадочной машины без системы автоматического контроля и управления позволили сделать вывод об ухудшении качества выполнения процесса посадки луковиц чеснока при увеличении поступательной скорости движения от 0,8 до 1,2 м/с при значениях коэффициентов вариации глубины заделки луковиц чеснока $v_{НЛ}$ от 32 до 42 %. Результаты экспериментальных исследований влияния цифровой системы автоматического контроля и управления посадки чеснока свидетельствуют о перспективности проведения исследований в данном направлении, что подтверждается повышением показателей качества работы посадочной машины на 15 % в сравнении с заделывающим органом в виде полозовидного загортача.

Ключевые слова: прикатывающий каток; посадочный слой; луковица; чеснок; машина для посадки; влажность; плотность; почва; многофакторный эксперимент.

Для цитирования: Пономарев А. Г., Петухов С. Н. Экспериментальные исследования автоматизированной системы регулирования плотности почвы машины для посадки чеснока // Аграрный научный журнал. 2023. № 11. С. 188–193. [http: 10.28983/asj.y2023i11pp188-193](http://10.28983/asj.y2023i11pp188-193).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Experimental study of automated soil density control system of garlic planting machine

Andrey G. Ponomarev, Sergey N. Petukhov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

e-mail: agrodisel@mail.ru

Abstract. An automated system for adaptive regulation of soil density has been developed, which makes it possible to improve the quality of garlic incorporation when planting within the range of soil density regulation in the range of 1.2–1.4 g/cm³. A methodology has been developed for conducting experimental studies of a machine for planting garlic with an installed automatic monitoring and control system for regulating soil density during planting. The results of experimental studies of the uniformity of soil compaction using a compaction roller with an automatic density control system and a closing device represented by a skid-type harrow indicate that after passing through a skid-type harrow, the value of the studied parameter increased by 18 % relative to the initial state of the soil. The results of experimental studies of the quality indicators of the planting machine without an automatic monitoring and control system indicate a deterioration in the quality of the process of planting garlic bulbs with increasing forward speed in the range from 0.8 to 1.2 m/s at values of the coefficients of variation of the depth of planting of garlic bulbs $v_{НЛ}$ from 32 % to 42 %. The results of experimental studies of the influence of a digital system for automatic control and management of garlic planting indicate the prospects of conducting research in this direction, which is confirmed by an increase in the quality indicators of the planting machine by 15 % in comparison with the closing organ in the form of a skid-shaped harrow.



Keywords: press roller; planting layer; bulb; garlic; planting machine; moisture; density; soil; multifactor experiment

For citation: Ponomarev A. G., Petukhov S. N. Experimental study of automated soil density control system of garlic planting machine // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(11):188–193. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i11pp188-193](http://10.28983/asj.y2023i11pp188-193).

Введение. Для устойчивого роста показателей сельскохозяйственного производства перед научными организациями страны и сельхозоваропроизводителями стоит задача обеспечить развитие аграрной отрасли в соответствии с основными направлениями развития науки и технологий мирового уровня.

Большие вызовы создают существенные риски для общества, экономики, системы государственного управления, но одновременно представляют собой важный фактор для появления новых возможностей и перспектив научно-технологического развития Российской Федерации. При этом наука и технологии являются одним из инструментов для ответа на эти вызовы, играя важную роль не только в обеспечении устойчивого развития цивилизации, но и в оценке рисков и возможных опасностей для человечества.

В ближайшие 10–15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать те направления, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке, как в отраслях промышленности, так и в сельском хозяйстве.

Показатели сельскохозяйственного производства в различных странах мира свидетельствует о росте производства и производительности труда. Однако, показатели производства с.-х. продукции РФ несколько отстают от показателей мирового уровня.

Для достижения основных целей стратегии научно-технологического развития Российской Федерации согласно ее концепции для ответа на большие вызовы, стоящие в настоящее время перед страной, и обеспечения ее продовольственной безопасности необходимо обеспечить внедрение искусственного интеллекта в основные отрасли, в том числе и сельское хозяйство.

Следовательно, повышение продуктивности производства сельскохозяйственной продукции, в том числе и овощных культур возможно обеспечить внедрением современных систем управления процессами производства овощей, в том числе и на посеве и посадке.

Таким образом, целью исследований является разработка автоматизированной системы регулирования плотности почвы машины для посадки чеснока и проведение экспериментальных исследований.

Для обеспечения требуемой плотности почвы при посадке луковичных культур, в частности чеснока разработана автоматизированная система регулирования плотности почвы, схема и функционирующие элементы которой представлены на рис. 1.

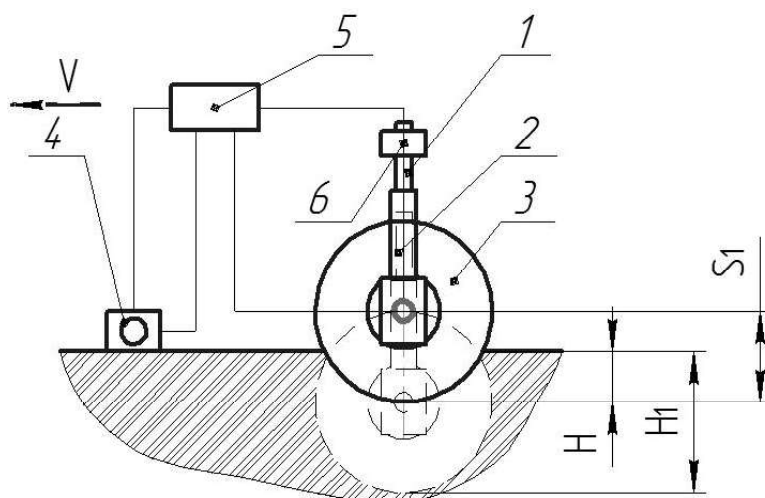


Рис. 1. Схема изменения вертикального перемещения прикатывающих рабочих органов посевной машины: 1 – шток электроцилиндра; 2 – электроцилиндр; 3 – прикатывающий рабочий орган; 4 – датчик плотности почвы прецизионный; 5 – микроконтроллер; 6 – реле ограничения подъема штока электроцилиндра





Для обеспечения требуемого качества взаимодействия прикатывающих рабочих органов с почвой необходимо выполнить требуемое силовое воздействие на поверхностный почвенный слой (перемещением штока цилиндра на расстояние S_1) в диапазоне влажности от 18 до 24 % [3–5].

Методика исследований. Экспериментальные исследования цифровой системы автоматического контроля и управления посадки чеснока проводили на полях Института семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) в 2022 г. на посадке чеснока сорта Петровский в соответствии с методикой СТО АИСТ 5.6-2010 и последующей обработкой экспериментальных исследований с использованием прикладных программ «STATISTICA-6.0», «MathCAD» [6–8].

При определении качества заделки луковиц чеснока определяли следующие показатели [9–11]:

коэффициент равномерности распределения луковиц чеснока, заделанных почвой вдоль ряда $v_{Р.л.}$, % (рис. 2);

коэффициент вариации равномерности глубины заделки луковиц чеснока $v_{Н.л.}$, %;

плотность посадочного слоя почвы над луковицей чеснока ρ_c , г/см³.

Коэффициент вариации равномерности распределения луковиц чеснока определяли по количеству нормальных интервалов [12].

Исследования показателей качества заделки посадочного материала проводили при измерении плотности почвы после прохода машины для посадки чеснока за секцией высаживающего аппарата с установленными прикатывающим катком с автоматической системой контроля плотности и заделывающего устройства, представленного загортатом полозовидного типа [12].

Показатели качества работы экспериментального устройства определяли использованием измерительной линейки 3 при наложении ее на поверхностный слой почвы и фиксации расстояния от луковицы чеснока 1 до рейки 2 (рис. 3).

Основные функционирующие элементы машины для посадки чеснока представлены на рис. 4.

Посадочный агрегат состоял из трактора марки МТЗ-80 и машины для посадки чеснока с установленной системой автоматического контроля плотности почвы машины для посадки чеснока (рис. 5).



Рис. 2. Равномерность распределения луковиц чеснока при проведении экспериментальных исследований



Рис. 3. Определение глубины заделки луковиц чеснока почвой:

1 – луковица чеснока; 2 – рейка; 3 – линейка



Рис. 4. Общий вид машины для посадки чеснока с системой автоматического контроля плотности почвы: 1 – брус поперечный опорный; 2 – бункер; 3 – высаживающий аппарат; 4 – опорно-приводные колеса; 5 – сошник; 6 – бороздозакрывающий рабочий орган

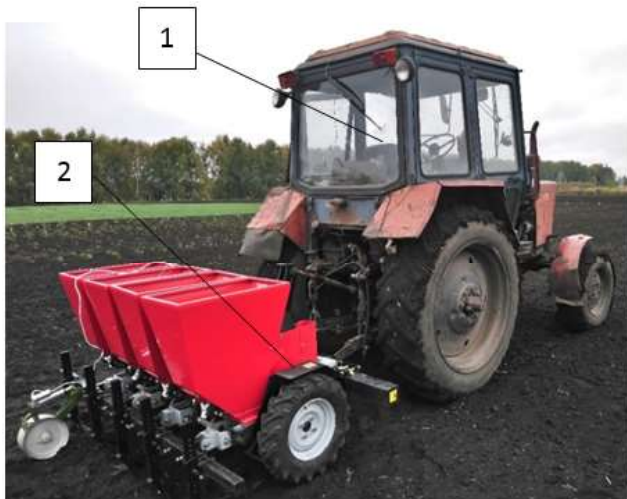


Рис. 5. Посадочный агрегат (вид сзади): 1 – трактор МТЗ-80; 2 – машина для посадки чеснока с системой автоматического контроля плотности почвы машины для посадки чеснока; 3 – каток прикатывающий

Исследование показателей качества заделки лукович чеснока с системой автоматического контроля и управления посадочной машины выполняли при изменении поступательной скорости движения в интервале значений от 0,8 до 1,2 м/с с изменением исследуемого технологического параметра с шагом, равным 0,1 м/с. Участок опытного поля для проведения экспериментальных исследований был разделен на две учетные делянки, равные ширине захвата посадочной машины с последовательно установленными на нее загортачами и прикатывающими катками с системой автоматического контроля плотности почвы [12].

Начало и окончание прохода учетного отрезка поля размечали деревянными вешками, при выполнении сигнала о начале и окончании прохода посадочным агрегатом учетной длины 50 м.

Исследования выполняли при прохождении опытного участка посадочным агрегатом в трехкратной повторности с фиксированием значений времени показателей прохождения учетного отрезка.

Показатели качества заделки лукович чеснока определяли раскрытием закрытой борозды подкапыванием деревянной лопаткой.

Результаты исследований.

Экспериментальные исследования машины для посадки чеснока с разработанной системой автоматического контроля плотности почвы завершены обработкой полученных результатов.

Результаты проведенных исследований позволили определить графические зависимости коэффициентов вариации глубины заделки лукович чеснока ($v_{Нл}$) и равномерности распределения лукович чеснока ($v_{Рл}$), от поступательной скорости движения посадочной машины (рис. 6).

Значения исследуемых показателей качества работы посадочной машины от значения технологического параметра посадочного агрегата представляются эмпирическим значением представленной ниже системы уравнений:

$$\begin{cases} v_{Нл} = 7,18 + 6,6514v_d - 1,0286v_d^2, \\ v_{Рл} = 6,95 + 14,3857v_d - 2,7143v_d^2. \end{cases} \quad (1)$$

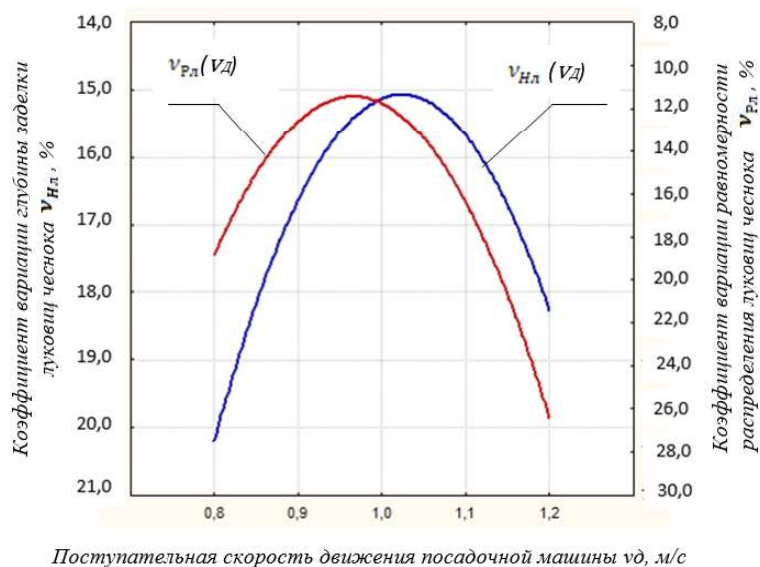


Рис. 6. Зависимость коэффициентов вариации глубины заделки лукович чеснока $v_{Нл}$, %, и равномерности распределения лукович, заделанных почвой вдоль ряда $v_{Рл}$, %, от поступательной скорости движения посадочной машины, оснащенной прикатывающим катком с системой автоматического контроля плотности





Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 6, позволяет сделать заключение о том, что коэффициенты вариации глубины заделки луковиц чеснока и равномерности распределения луковиц составляют 15 и 12 % соответственно при поступательной скорости движения 0,95 и 1,05 м/с.

Результаты экспериментальных исследований показателей качества работы посадочной машины без системы автоматического контроля и управления представлены на рис. 7 и свидетельствуют об ухудшении качества выполнения процесса посадки луковиц чеснока при увеличении поступательной скорости движения в интервале от 0,8 до 1,2 м/с при значениях коэффициентов вариации:

глубины заделки луковиц чеснока $v_{Нл}$ от 32 до 42 %;

равномерности распределения луковиц, заделанных почвой вдоль ряда $v_{Рл}$ от 20 до 44 %.

Значение показателей качества работы посадочной машины, оснащенной загортачами полозовидного типа определяется системой уравнений

$$\begin{cases} v_{Нл} = 9,97 - 68,74v_d + 0,31 \cdot v_d^2, \\ v_{Рл} = 8,88 - 0,04v_d + 0,04 \cdot v_d^2. \end{cases} \quad (2)$$

Экспериментальные исследования цифровой системы контроля и управления посадки чеснока представлены в виде графической зависимости на рис. 8 и свидетельствуют о том, что размах вариации равен соответственно 17 и 48 мм, а среднелинейное отклонение 4,7

и 13,3 мм для исследуемых заделывающих устройств – прикатывающего катка с цифровой системы контроля и управления и загортачом полозовидным соответственно.

Результаты экспериментальных исследований влияния цифровой системы автоматического контроля и управления посадки чеснока свидетельствуют о перспективности проведения исследований в данном направлении, что подтверждается повышением показателей качества работы посадочной машины на 15 % в сравнении с заделывающим органом в виде полозовидного загортача.

Закключение. Результаты проведенных исследований машины для посадки чеснока, оснащенной прикатывающим катком с автоматической системой контроля плотности свидетельствуют об однородности коэффициентов вариации глубины заделки луковиц чеснока $v_{Нл}$, %, и равномерности распределения луковиц, заделанных почвой вдоль ряда $v_{Рл}$ при значении поступательной скорости в интервале значений от 0,95 до 1,05 м/с при значении 15 и 19 % соответственно.

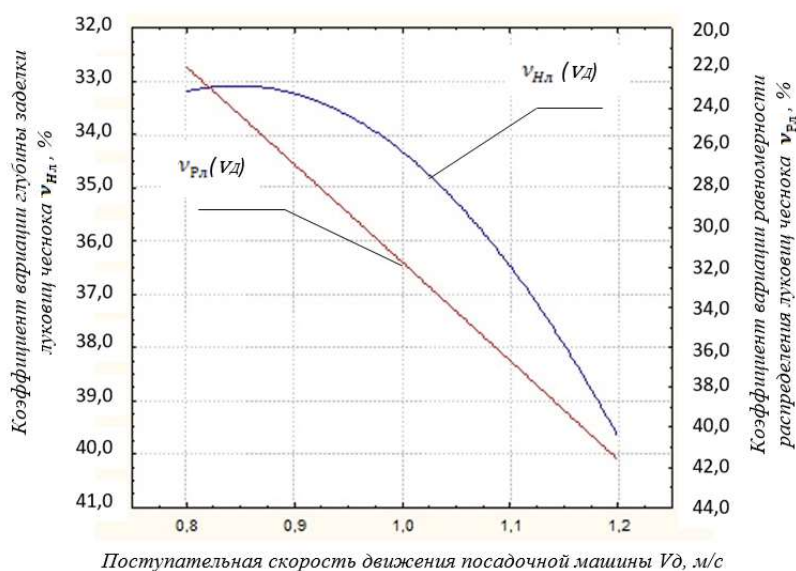


Рис. 7. Зависимость коэффициентов вариации глубины заделки луковиц чеснока $v_{Нл}$, % и равномерности распределения луковиц, заделанных почвой вдоль ряда $v_{Рл}$, % загортачом полозовидного типа от поступательной скорости движения посадочной машины

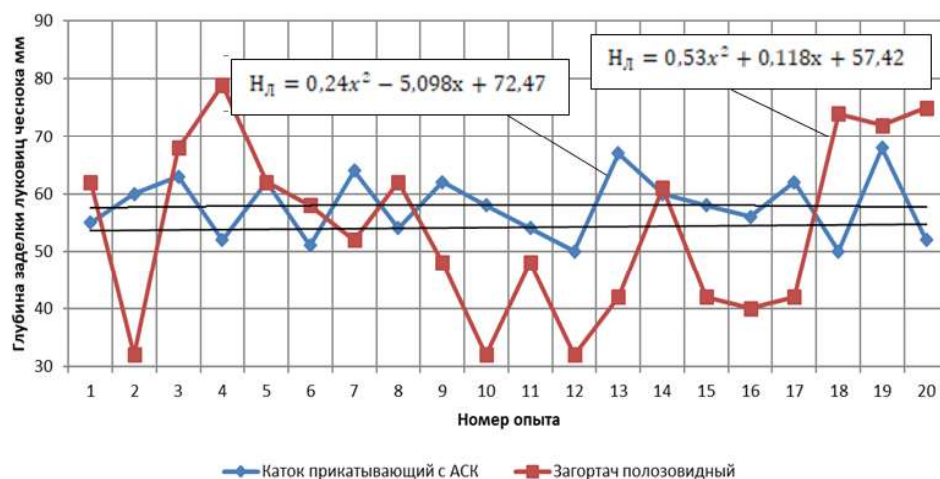


Рис. 8. Глубина заделки луковиц чеснока H_d , мм

1. Машинная технология производства лука / Я.П. Лобачевский [и др.]. М., 2016. 168 с.
2. Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). М., 1995. 391 с.
3. Калинина А.Б., Теплинский И.З., Кудрявцев П.П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35–36.
4. Haverkort A.J., Struik P.C. Potato in progress (science meets practice). Edited by: The Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 2005. 366 p.
5. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. // Research in Agricultural Engineering. 2017. Vol. 1. P. 22–31.
6. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of Potato Harvesting Model // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2017. Vol. 4. P. 1567–1570.
7. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 2. P. 304–314.
8. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition // Transactions of the CSAM. 2017. No. 48(11). P. 146–155.
9. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter // Transactions of the CSAM. 2016. No. 47(5). P. 106–114.
10. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield // Soil and Tillage Research. 1997. No. 40 (3–4). P. 25–144.
11. Ларюшин Н.П., Кухарев О.Н., Кирюхина Т.А. Исходные положения при проектировании машин для уборки лука // Наука в центральной России. 2015. № 6 (18). С. 48–58.
12. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А.Б. Калинин [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 315–319.

REFERENCES

1. Machine technology of onion production / Ya.P. Lobachevsky et al. Moscow, 2016. 168 p. (In Russ.).
2. Khvostov V.A., Reinhart E.S. Machines for harvesting root crops and onions (theory, design, calculation). Moscow, 1995. 391 p. (In Russ.).
3. Kalinin A.B., Teplinsky I.Z., Kudryavtsev P.P. Soil state in intensive technology. *Potatoes and vegetables*. 2016;2:35–36. (In Russ.).
4. Haverkort A.J., Struik P.C. Potato in progress (science meets practice). Edited by: The Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 2005. 366 p.
5. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*. 2017;1:22–31.
6. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of Potato Harvesting Model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017;4:1567–1570.
7. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012;2:304–314.
8. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. *Transactions of the CSAM*. 2017;48(11):146–155.
9. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016;47(5):106–114.
10. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*. 1997;40(3–4):25–144.
11. Laryushin N.P., Kukharev O.N., Kiryukhina T.A. Initial positions in the design of machines for harvesting onions. *Science in Central Russia*. 2015;6(18):48–58. (In Russ.).
12. Kalinin, A.B. Selection and justification of parameters of the ecological state of the agroecosystem for monitoring technological processes of cultivation of agricultural crops / A.B. Kalinin et al. *Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2015;39:315–319. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 6.06.2023; одобрена после рецензирования 5.07.2023; принята к публикации 17.07.2023.
The article was submitted 6.06.2023; approved after reviewing 5.07.2023; accepted for publication 17.07.2023.

