

СУТОЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ДИАМЕТРА СТЕБЛЯ ТОМАТА КАК КРИТЕРИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВОМ

✉ **Усольцев С.Ф., Рыбаков Р.В., Нестяк Г.В., Гончаренко Ю.В.**

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ e-mail: sibime@sfcsa.ru

Рассмотрен процесс суточного изменения диаметра стебля томата с целью обоснования использования этого параметра для управления капельным орошением. Изменение размеров отдельных частей растений зависит от обеспечения продукционного процесса водой, светом, теплом и элементами питания. Поэтому такие параметры растений, как температура листьев, скорость потока ксилемы, диаметр плода и стебля, могут быть индикаторами наличия необходимых ресурсов. Исследования проведены в Новосибирской области в июне – сентябре 2020 г. В качестве индикатора водного стресса растений использована величина диапазона суточных колебаний диаметра стебля, которая имеет тесную связь с относительной влажностью почвы. Источником информации послужили результаты измерений влажности почвы и прироста диаметра стебля томата. Эксперименты по оценке влияния водного дефицита на параметры стебля проводили на растении, высаженном в открытый грунт отдельно от остальных. Условия искусственного водного стресса создавали путем полива один раз в неделю. Сбор данных осуществляли с помощью фитомонитора РМ-11z, датчиков влажности почвы и диаметра роста стебля. Результаты измерений обрабатывали в программе Microsoft Office Excel. Установлено, что диапазон суточных колебаний прироста диаметра стебля зависит от наличия влаги. При влажности почвы ниже 30% растение испытывает водный стресс и диапазон колебаний диаметра стебля увеличивается. Максимальный рост диаметра стебля наблюдался в 7–10 ч, минимальный – в 13–15 ч местного времени. Разница между максимумом и минимумом суточного прироста диаметра стебля характеризует диапазон суточной разницы диаметра стебля, который тесно коррелирует с влажностью почвы. Коэффициент корреляции между ними составляет 0,72. Предельное значение суточной разницы диаметров стеблей составляет 0,025 мм при влажности почвы 30%. Превышение фактического значения этого параметра граничного значения может служить сигналом к включению системы орошения. Реализация данного подхода дает возможность автоматизировать технологический процесс полива и учесть показатель, сигнализирующий о водном стрессе растения.

Ключевые слова: продукционный процесс, диаметр стебля, водный стресс, фитомониторинг, датчик, полив

DAILY VARIATIONS IN TOMATO STEM DIAMETER AS A CRITERION FOR IRRIGATION MANAGEMENT

✉ **Usoltsev S.F., Rybakov R.V., Nestyak G.V., Goncharenko Yu.V.**

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: sibime@sfcsa.ru

The process of daily variation in tomato stem diameter is examined in order to justify the use of this parameter to control drip irrigation. Changes in the size of individual plant parts depend on the provision of water, light, heat and nutrients to the production process. Therefore, such plant parameters as leaf temperature, xylem flow rate, fruit and stem diameter can be indicators of availability of necessary resources. The research was carried out in Novosibirsk region in June - September 2020. The value of the range of daily variations in stem diameter, which has a close relationship to relative soil moisture, was used as an indicator of plant water stress. The source of the information is the results of measurements of soil moisture and stem diameter growth of tomato. Experiments to assess the effect of water deficit on stem parameters were carried out on a plant set out in the open ground separately from the rest. Artificial water stress conditions were created by

watering once a week. Data were collected using a PM-11z phytomonitor, soil moisture and stem diameter growth sensors. The results of measurements were processed in Microsoft Office Excel program. It was found that the range of daily fluctuations of stem diameter growth depends on moisture availability. When soil moisture is below 30%, the plant experiences water stress and the range of stem diameter fluctuations increases. The maximum growth in stem diameter was observed at 7-10 a.m. and the minimum at 13-15 p.m. local time. The difference between the maximum and minimum of the daily stem diameter increase characterizes the range of the daily stem diameter difference, which correlates closely with soil moisture. The correlation coefficient between them is 0.72. The limit for the daily stem diameter difference is 0.025 mm at 30% soil moisture. If the actual value of this parameter exceeds the limit value, the irrigation system can be activated. The implementation of this approach makes it possible to automate the irrigation process and to take into account the indicator that signals water stress of the plant.

Keywords: production process, stem diameter, water stress, phytomonitoring, sensor, irrigation

Для цитирования: Усольцев С.Ф., Рыбаков Р.В., Нестяк Г.В., Гончаренко Ю.В. Суточные колебания диаметра стебля томата как критерий управления поливом // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 5. С. 101– 107. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-12>

For citation: Usoltsev S.F., Rybakov R.V., Nestyak G.V., Goncharenko Yu.V. Daily variations in tomato stem diameter as a criterion for irrigation management. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 5, pp. 101– 107. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-12>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность сельскохозяйственных растений является результатом комплекса природных процессов, зависящих от среды обитания. Негативные последствия данных воздействий компенсируются технологическими процессами. Эффективность выращивания зависит от правильности и своевременности выполнения всех технологических операций по возделыванию культуры. В настоящее время большая часть исследований направлена на применение высокотехнологичных средств управления производственными процессами и отдельными операциями [1–3].

Основанием для принятия решения о необходимости проведения технологической операции является информация, полученная путем наблюдения за происходящими природными процессами, опыт и интуиция специалистов предприятий. Правильность выбора технологической операции и сроков ее проведения во многом зависит от человеческого фактора. Снижение этой зависимости – одна из проблемных задач, решение которой невозможно без цифровизации тех-

нологий выращивания сельскохозяйственных культур.

В соответствии с законами земледелия максимальный урожай может быть получен при оптимальном сочетании всех условий возделывания культуры. Лимитирующий фактор при выращивании томатов в сибирских условиях – тепло. Применение культивационных сооружений в течение всего периода вегетации повышает температуру воздуха в зоне роста растений, поэтому следующим лимитирующим фактором становится обеспеченность влагой [4–6]. Следовательно, своевременность полива является важным условием получения высоких урожаев томатов.

Цель исследования – обосновать выбор параметра суточного изменения диаметра стебля томата в качестве критерия оценки необходимости выполнения технологического процесса полива.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Производственный процесс растений состоит из фотосинтеза и процессов передачи органического вещества из листьев в другие

органы за счет ксилемных потоков. Специфика эколого-физиологических исследований заключается в том, что растение рассматривается как единый организм, жизненные функции которого тесно взаимосвязаны и реализуются в условиях постоянного взаимодействия с изменяющимися факторами среды [7, 8]. Изменения размеров таких частей растений, как стебель и плод, зависят от обеспеченности продукционного процесса водой, светом, теплом и элементами питания. Индикаторами обеспеченности продукционного процесса необходимыми ресурсами могут быть такие параметры растений, как температура листа, скорость ксилемного потока, диаметр плода и стебля [9–11].

Показатель суточных колебаний диаметра стебля томата – важный индикатор его водообеспеченности. На потребность растений в воде влияет множество факторов: почвенные, климатические, физиологические параметры растений. Комплексный учет таких параметров в математической модели позволяет решать задачи оперативного управления системами капельного орошения [12–14]. Для практического использования данных параметров требуется определение граничных условий необходимости выполнения операции полива. Поставленные задачи решены экспериментально путем измерения приращения диаметра стебля томата при изменении влажности почвы. Эксперимент проводили в Новосибирской области с 16 июня по 10 сентября 2020 г. Для оценки влияния недостатка воды на параметры стебля использовали растение, высаженное в открытый грунт отдельно от остальных. Условия искусственного водного стресса создавали путем полива один раз в неделю. Применение специальных современных не повреждающих растения фитомониторных систем и оборудования (монитора фотосинтеза РТМ-48А и фитомонитора РМ-11z [15] для исследований вариабельности и разнообразия изменений характеристик CO_2 -газообмена в ответ на изменения внешней среды) позволило выявить оптимальные и пороговые значения абиотических факторов, ограничивающих рост и развитие растений [16].

Почвенный датчик SMTE-3z установили в зоне корнеобитания растения на глубине 10–20 см. Он измерял температуру, влажность и электропроводность почвы. Датчик прироста диаметра стебля SD-5z установили на нижней части стебля для регистрации изменения величины стебля относительно его диаметра в момент установки. Разрешение составляло не менее 0,002 мм. Датчик диаметра плода измерял его фактическую величину. Разрешение – не менее 0,04 мм.

Сигналы датчиков через радиомодуль передаются в фитомонитор, сохраняются в его памяти и используются для дальнейшей компьютерной обработки. Интервал сбора информации датчиков – 15 мин. Комплекс работает непрерывно в течение всего периода вегетации.

Для измерения характеристик внешней среды использовали метеостанцию DWS-11z, для характеристик растений и среды их обитания – датчики фитомониторинга (см. рис. 1).



Рис. 1. Приборы для измерения параметров растений и внешней среды обитания: 1 – почвенный датчик, 2 – датчик прироста диаметра стебля, 3 – датчик диаметра плода, 4 – радиомодуль

Fig. 1. Instruments for measuring the parameters of plants and the external environment: 1 – soil sensor, 2 – stem diameter growth sensor, 3 – fruit diameter sensor, 4 – radio module

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений диаметра плода, прироста стебля и влажности почвы в графическом виде представлены на рис. 2. Из приведенного графика следует, что граничным значением влажности почвы в условиях проведения эксперимента является влажность около 30%. Но этот параметр может существенно зависеть от механического состава почвы и других ее свойств. Поэтому реакция растения на изменение его влагообеспеченности – наиболее достоверный критерий оценки необходимости выполнения технологического процесса полива.

Кривая изменения прироста диаметра стебля ежедневно имеет два экстремума: утренний максимум и дневной минимум. Максимальный прирост диаметра стебля

наблюдали в 7–10 ч, минимум – в 13–15 ч местного времени. Разность между максимумом и минимумом (в дальнейшем – перепад диаметра стебля) – характеристика размаха суточных колебаний диаметра стебля, которая тесно коррелирует с влажностью почвы. Коэффициент корреляции между ними равен 0,72.

Динамика изменения влажности почвы и перепада диаметра стебля представлена на рис. 3. Из графика следует, что между влажностью почвы и размахом колебаний диаметра стебля существует обратно пропорциональная зависимость, так как колебания происходят в противофазе. При влажности почвы 30% перепад диаметра стебля составляет примерно 0,025 мм. Отсюда можно предположить, что признаком водного

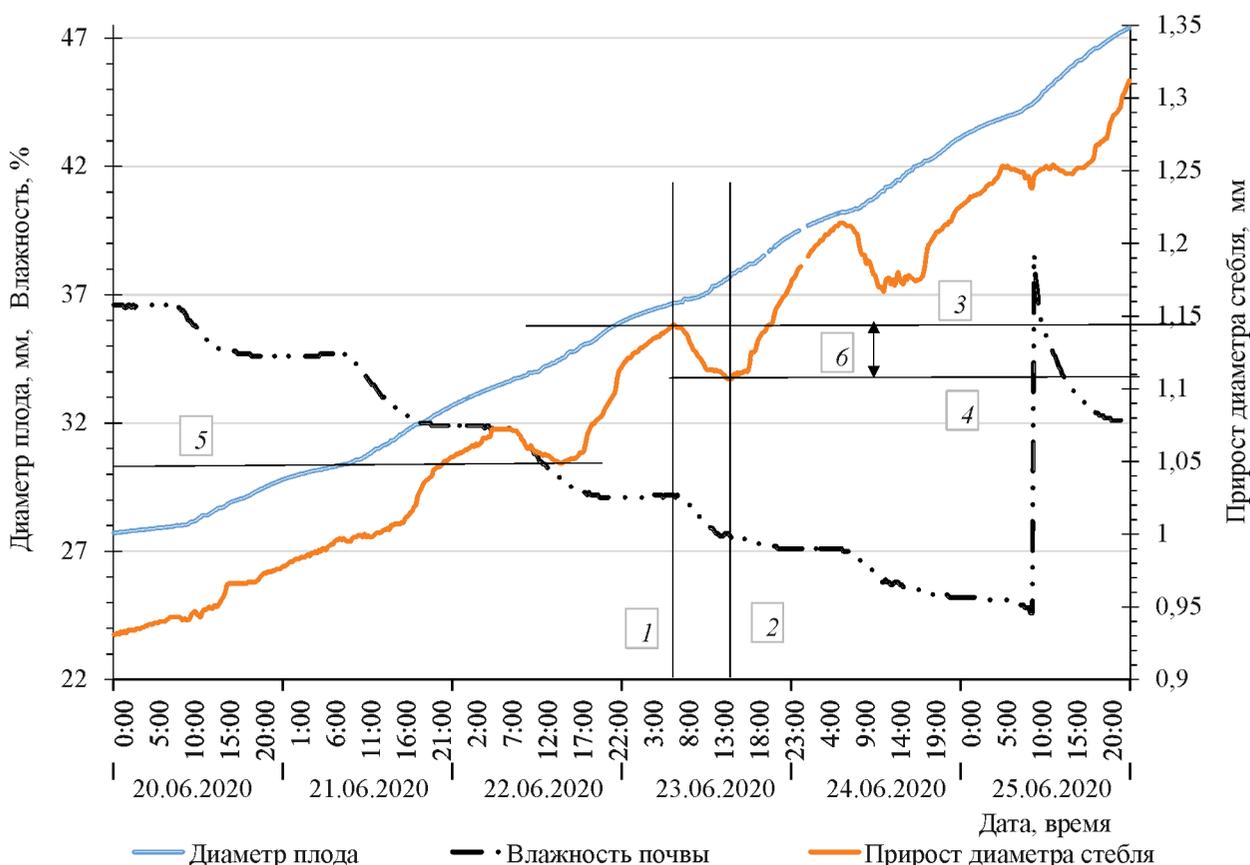


Рис. 2. Динамика изменения параметров почвы и растения при недостатке влаги

1 – время утреннего максимума, 2 – время дневного минимума, 3 – значение утреннего максимума, 4 – значение дневного минимума, 5 – допустимый минимум влажности почвы

Fig. 2. Dynamics of changes in soil and plant parameters with a lack of moisture

1 – time of the morning maximum, 2 – time of the daytime minimum, 3 – value of the morning maximum, 4 – value of the daytime minimum, 5 – permissible minimum soil moisture

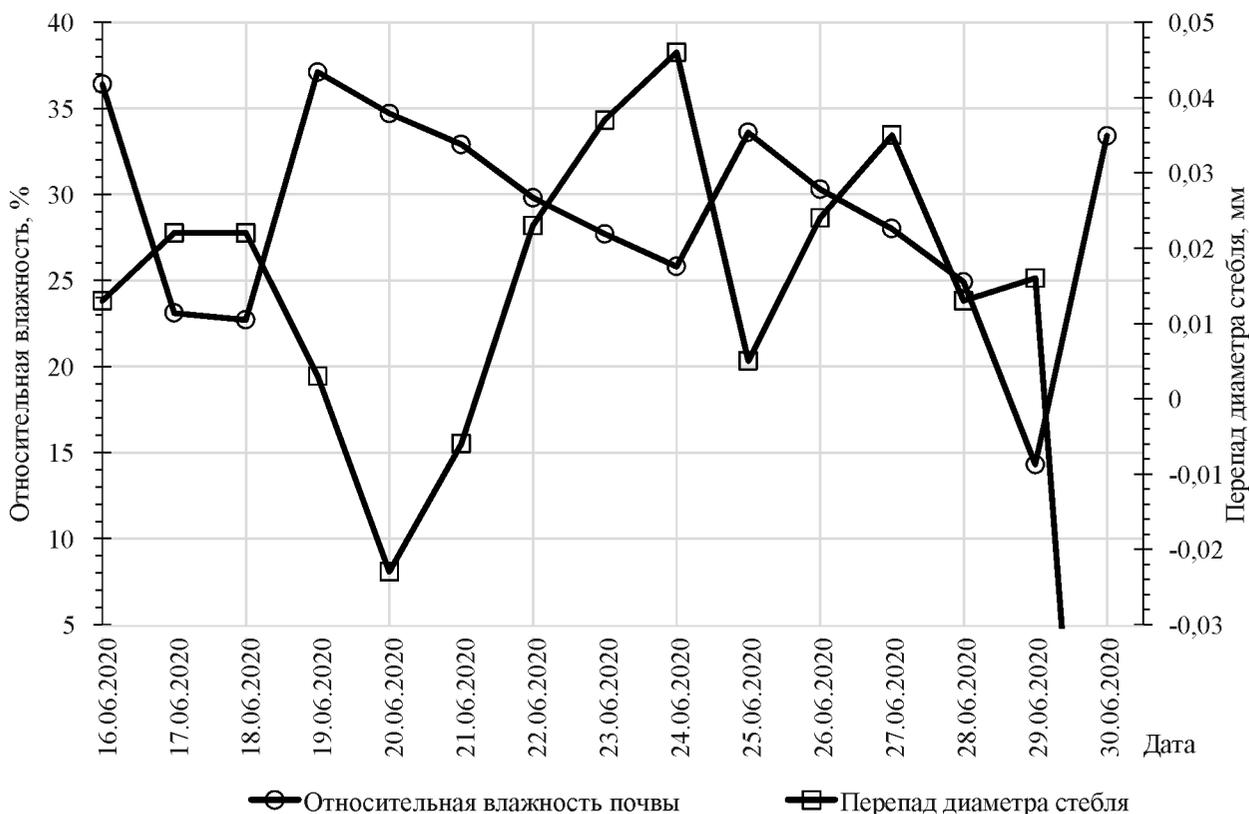


Рис. 3. Динамика изменения влажности почвы и перепада диаметра стебля
Fig. 3. Dynamics of changes in soil moisture and the difference in stem diameter

стресса томата является перепад диаметра стебля больше 0,025 мм. Однако это предположение требует дальнейшей проверки и уточнения влияния возраста растения и других условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индикатором наличия водного стресса у томатов является величина суточного колебания диаметра стебля. Показатель перепада диаметра стебля, т.е. разность между утренним максимумом и дневным минимумом прироста диаметра стебля, может быть использован как индикатор водного стресса растений для управления системами полива в цифровых технологиях выращивания томатов. По результатам исследования граничная величина перепада диаметра стебля равна 0,025 мм. Превышение фактического значения этого параметра граничной величины может служить сигналом для включения системы полива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конев А.В., Ломакин В.С., Матвеевко Д.А., Якушев В.В. Структура представления производственных процессов в системе поддержки принятия агротехнологических решений // *Агрофизика*. 2018. № 1. С. 24–37.
2. Михайленко И.М. Управление системами точного земледелия: монография. СПб.: Издательство СПбГУ, 2006. 396 с.
3. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур: монография. СПб.: Издательство СПбГУ, 2005. 234 с.
4. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология: монография. М.: Дрофа, 2004. 416 с.
5. Протасов В.Ф. Экология: термины и понятия, стандарты, сертификация, нормативы: монография. М.: Финансы и статистика, 2005. 667 с.
6. Нестяк В.С., Усольцев С.Ф. Ивакин О.В., Косьяненко В.П., Рыбаков Р.В., Патрин В.А. К вопросу управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур (на примере томатов) // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. № 3. С. 73–79.

7. Корсакова С.П., Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Паштецкий А.В. Применение фитомониторных систем для оптимизации интродукционных исследований // Труды Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Т. 147. С. 80–82.
8. Корсакова С.П. Критерии оценки параметров эколого-физиологического паспорта растений // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4 (16). С. 57–65. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.06.
9. Одинцова В.А. Фитомониторинг при изучении водного обмена и температурного режима растений черешни // Научные труды Северо-Кавказского зонального НИИ садоводства и виноградарства. 2017. Т. 13. С. 55–58.
10. Басаргина Е.М., Лицингер О.Г., Путилова Т.А. Измерительная система фитомониторинга // АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1141–1146.
11. Ильницкий О.А. Зависимость интенсивности фотосинтеза *Nerum oleander* и *Laurus Nobilis* L. от факторов внешней среды, температуры листьев, транспирации и их измерение в ходе вегетации в условиях ЮБК // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2017. № 125. С. 109–113.
12. Таццилина А.В. Нечеткая модель оперативного планирования поливов для автоматизированных систем капельного орошения // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2015. № 1. С. 38–41.
13. Таццилина А.В. Идентификация модели процесса планирования режимов капельного полива для управления автоматизированными системами капельного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 1 (17). С. 41–60.
14. Леви Л.И., Таццилина А.В. Физиологический уровень стресса растений в иерархической структуре дерева нечеткого логического вывода // Молодой ученый. 2014. № 11. С. 67–69.
15. Балаур Н.С., Воронцов В.А., Клейман Э.И., Тон Ю.Д. Новая технология мониторинга CO₂-обмена у растений // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 3. С. 466–470.
16. Корсакова С.П., Плугатарь Ю.В., Ильницкий О.А., Клейман Э.И. Особенности водного обмена *Nerium oleander* L. в условиях прогрессирующей почвенной засухи // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. № 1. С. 101–115.

REFERENCES

1. Konev A.V., Lomakin V.S., Matveyenko D.A., Yakushev V.V. The structure of production processes presentation in the back-up system of decision-making in agriculture. *Agrofizika = Agrophysics*, 2018, no. 1, pp. 24–37. (In Russian).
2. Mikhaylenko I.M. *Management of precision farming systems*. St. Petersburg, SPGU Publishing House, 2006, 396 p. (In Russian).
3. Poluektov R.A., Smolyar E.I., Terleyev V.V., Topazh A.G. *Models of the production process of crops*. St. Petersburg, SPGU Publishing House, 2005, 234 p. (In Russian).
4. Chernova N.M., Bylova A.M. *General ecology*. Moscow, Drofa, 2004, 416 p. (In Russian).
5. Protasov V.F. *Ecology: terms and concepts, standards, certification, regulations*. Moscow, Finance and statistics, 2005, 667 p. (In Russian).
6. Nestyak V.S., Usoltsev S.F., Ivakin O.V., Kos'yanenko V.P., Rybakov R.V., Patrín V.A. Management of production process of agricultural crops (on the example of tomatoes). *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Bashkir State Agrarian University*, 2018, no. 3, pp. 73–79. (In Russian).
7. Korsakova S.P., Il'nitskiy O.A., Plugatar' Yu.V., Pashtetskiy A.V. Application of phytomonitoring systems to optimize introduction studies, *Trudy Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada = Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Gardens*, 2018, vol. 147, pp. 80–82. (In Russian).
8. Korsakova S.P. Criteria for evaluating the parameters of eco-physiological passport of plants. *Taurida bulletin of the agrarian sciences*, 2018, no. 4 (16), pp. 57–65. (In Russian). DOI: 10.25637/TVAN2018.04.06.
9. Odintsova V.A. Phytomonitoring when studying water exchange and temperature conditions of cherry plants. *Nauchnyye trudy Severo-Kavkazskogo zonal'nogo NII sadovodstva i vinogradarstva = Scientific works of the State Scientific Organization of North-Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture*, 2017, vol. 13, pp. 55–58. (In Russian).
10. Basargina Ye.M., Litsinger O.G., Putilova T.A. Measuring system of phytomonitoring. *APK*

- Rossii = AIC of Russia*, 2017, vol. 24, no. 5, pp. 1141–1146. (In Russian).
11. Il'nitskiy O.A. Dependence of the intensity of photosynthesis of *Nerum oleander* and *Laurus Nobilis L* on environmental factors, leaf temperature, transpiration and their measurement during the growing season under the conditions of the Southern Coast of Crimea, *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo bota-nicheskogo sada = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*, 2017, no. 125, pp. 109–113. (In Russian).
 12. Tashchilina A.V. Fuzzy model of operational planning of irrigation for automated drip irrigation systems. *Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskkiye nauki = University news. North Caucasian region. Technical sciences series*, 2015, no. 1, pp. 38–41. (In Russian).
 13. Tashchilina A.V. Identification of the model for drip irrigation scheduling to manage automated systems of drip irrigation. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii = Scientific journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems*, 2015, no. 1 (17), pp. 41–60. (In Russian).
 14. Levi L.I., Tashchilina A.V. Physiological level of plant stress in the hierarchical structure of the fuzzy logical inference tree, *Molodoy uchenyy = Young scientist*, 2014, no. 11, pp. 67–69. (In Russian).
 15. Balaur N.S., Vorontsov V.A., Kleyman E.I., Ton Yu.D. New technology for monitoring CO₂-exchange in plants. *Fiziologiya rasteniy = Plant Physiology*, 2009, vol. 56, no. 3, pp. 466–470. (In Russian).
 16. Korsakova S.P., Plugatar' Yu.V., Il'nitskiy O.A., Kleyman E.I. Water relation features of *Nerium oleander L* under progressive soil drought stress. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye = South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 101–115. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Усольцев С.Ф.**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: sibime@sfscs.ru

Рыбаков Р.В., аспирант

Нестяк Г.В., старший научный сотрудник

Гончаренко Ю.В., младший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Sergey F. Usoltsev**, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: sergey.usoltsev@yandex.ru

Roman V. Rybakov, Postgraduate Student

Galina V. Nestyak, Senior Researcher

Yuri V. Goncharenko, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 06.07.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 27.09.2021
Дата публикации / Published 25.11.2021