

ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНДЕКСА ВОДНОГО СТРЕССА

Усолюев С.Ф., Нестяк В.С.

*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологии Российской академии наук
Новосибирск, Россия*

Для цитирования: Усолюев С.Ф., Нестяк В.С. Применение фитомониторинга для оценки индекса водного стресса // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 77-85. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-10

For citation: Usoltsev S.F., Nestyak V.S. Primenenie fitomonitoringa dlya otsenki indeksa vodnogo stressa [Application of phytomonitoring for estimating the water stress index]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 77-85.. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-10

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

APPLICATION OF PHYTOMONITORING FOR ESTIMATING THE WATER STRESS INDEX

Usoltsev S.F., Nestyak V.S.

*Siberian Federal Research Centre
of Agro-BioTechnologies of the
Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia*

Выращивание теплолюбивых овощных культур в условиях Сибири возможно только при условии приведения лимитирующих факторов среды их обитания (обеспеченность теплом и влагой) в зону оптимума. Для этого требуется непрерывный фитомониторинг характеристик среды обитания и показателей состояния растений, выполняемый фитомонитором с комплектом датчиков. На основе результатов фитомониторинга осуществляется управление производственным процессом выращиваемых культур в режиме реального времени путем проведения технологических операций, направленных на изменение лимитирующего фактора. Разработана схема управления производственным процессом овощных культур в укрытиях. Для повышения теплообеспеченности предлагается применение защитных экранов с автоматическим управлением приточно-вытяжной вентиляцией. За основу принята схема автоматического управления с обратными связями. Автоматическое управление вентиляцией осуществляется путем измерения температуры воздуха внутри укрытия и формирования сигнала на включение привода механизма. Обеспеченность растений водой оценивается величиной индекса водного стресса, рассчитываемого на основе измерений температуры влажности воздуха и температуры листьев растений. Разработан алгоритм расчета индекса водного стресса, проведены эксперименты по измерению характеристик среды обитания и показателей состояния растений в лабораторно-полевых условиях. Получена характеристика изменения индекса водного стресса растений внутри укрытия и снаружи. На основании величины индекса водного стресса сделан вывод о достаточном обеспечении растений водой. Результаты экс-

Cultivation of thermophilic vegetable crops in Siberian conditions is possible only if the limiting environmental factors of their habitat (heat and moisture availability) are brought to the optimum zone. This requires continuous phytomonitoring of habitat characteristics and plant status indicators performed by a phytomonitor with a set of sensors. Based on the results of phytomonitoring, the production process of the crops to be grown is managed in the real-time mode by conducting technological operations aimed at changing the limiting factor. A scheme has been developed for managing the production process of vegetable crops in canopies. To improve the heat supply, it is proposed to use protective screens with automatic control of inflow-and-exhaust ventilation. The basis is the automatic control scheme with feedbacks. Automatic ventilation control is carried out by measuring the air temperature inside the canopy and forming a signal to activate the mechanism drive. The water availability of plants is estimated by the value of the water stress index, calculated on the basis of measurements of air temperature and humidity and leaf temperature. An algorithm for calculating the water stress index has been developed and experiments have been conducted to measure the characteristics of the habitat and indicators of the state of plants in laboratory and field conditions. The characteristic of changes in the water stress index of plants inside and outside the canopy was obtained. Based on the value of the water stress index, it was concluded that the plants are adequately supplied with water. The

периментов показали высокую надежность фитомонитора и комплекта датчиков. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование системы управления производственным процессом с применением фитомониторинга в режиме реального времени на основе методики расчета эвапотранспирации.

Ключевые слова: экраны, производственный процесс, лимитирующий фактор, влагообеспеченность, фитомониторинг, приборное обеспечение

ВВЕДЕНИЕ

Получение высоких урожаев основано на удовлетворении потребности растений в жизненно важных факторах внешней среды: свете, тепле, воде, воздухе, минеральном питании [1–4]. Разработка технических средств и технологических процессов, обеспечивающих рациональное сочетание управляемых факторов среды обитания, необходимых для получения заданного урожая, является основным условием разработки современных технологий [5–9]. Биологические процессы, протекающие в растениях, непрерывны, во многом зависят от сортовых особенностей, фазы развития и других биологических параметров. В связи с этим факторы, лимитирующие производственный процесс, неизвестны в текущий момент времени. В настоящее время разработан ряд моделей управления производственным процессом [10, 11], в основе которых лежит мониторинг показателей, характеризующих состояние растений и среды их обитания в режиме реального времени [12–14].

Для управления температурой воздуха как лимитирующим фактором в условиях Сибири в Сибирском научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН разработан способ создания условий для выращивания теплолюбивых овощных культур в открытом грунте и устройство для его реализации. В основе разработки лежит принцип дуализма (растения одновременно находятся и под укрытием, и в открытом грунте). Это обеспечивает повышение суммы активных

results of the experiments showed high reliability of the phytomonitor and a set of sensors. Further studies will focus on improving the production process management system using phytomonitoring in real time based on the methodology of evapotranspiration calculation.

Keywords: screens, production process, limiting factor, moisture availability, phytomonitoring, instrumentation support

температур под укрытием, защиту растений от негативных воздействий открытого грунта (ливни, град, кратковременные заморозки, перегрев растений, техногенные выбросы и др.), продлевает период вегетации, повышает производственный процесс – увеличивает урожайность томатов в 2–3 раза по сравнению с открытым грунтом. При этом обеспечивается постоянный доступ к растениям и возможность применения в укрытиях средств малой механизации [15].

При возделывании томатов в укрытиях экранного типа информационные технологии можно применять как для автоматического управления параметрами вентиляции, так и для принятия решения о проведении полива, подкормки растений и других технологических операций.

Вариант схемы управления производственным процессом выращивания овощей томатной группы в открытом грунте с применением защитных экранов приведен на рис. 1. За основу принята схема автоматического управления с обратными связями. Первый цикл обратной связи предназначен для автоматического управления вентиляцией на основе измерения температуры воздуха внутри укрытия. Данная информация поступает в блок управления, который формирует команды на включение механизма открытия вентиляции.

Второй цикл обратной связи предназначен для принятия решения о необходимости выполнения технологических операций на основе информации о состоянии растений и среды их обитания, получаемой в режиме

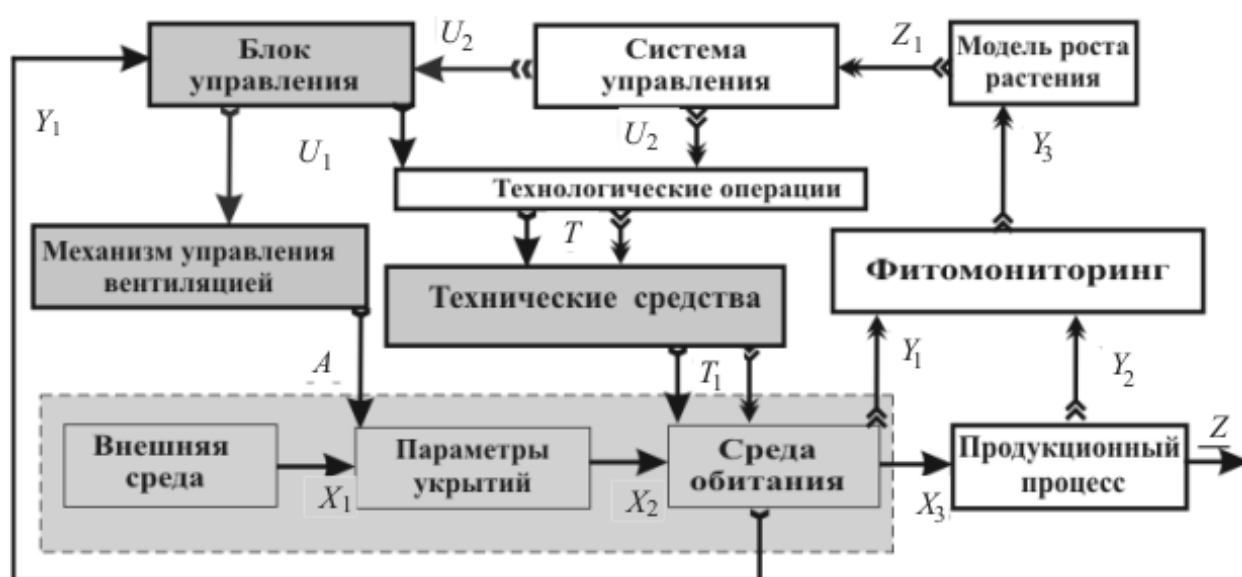


Рис. 1. Схема управления производственным процессом овощных культур томатной группы в укрытиях экранного типа:

X_1 – воздействие внешней среды; X_2 – воздействие укрытий на среду обитания; X_3 – воздействие среды обитания на производственный процесс; Y_1 – характеристики среды обитания; Y_2 – характеристики производственного процесса; Y_3 – измеренные параметры; U_1, U_2 – управляющие воздействия; A_1 – воздействие исполнительного механизма на параметры укрытий; T_1 – влияние технологических операций на параметры укрытий; T_2 – влияние технологических операций на характеристики среды обитания; Z – показатель эффективности производственного процесса; Z_1 – расчетный показатель состояния растений и среды их обитания

Fig. 1. The scheme of production process management of tomato group vegetable crops in screen type canopies:

X_1 – effect of the eternal environment; X_2 – effect of canopies on the habitat; X_3 – effect of the habitat on production process; Y_1 – habitat characteristics; Y_2 – characteristics of production process; Y_3 – measured parameters; U_1, U_2 – controlling effects; A_1 – effect of the actuating mechanism on canopy parameters; T_1 – effect of technological operations on canopy parameters; T_2 – effect of technological operations on habitat characteristics; Z – efficiency index of production process; Z_1 – estimated index of the state of plants and their habitat

реального времени от комплекта датчиков. Модель роста растений должна выполнять расчет параметров, необходимых для определения лимитирующих факторов. К таким параметрам могут относиться индекс водного стресса, показатели содержания в почве азота, фосфора и т.д.

Совершенствование технологий выращивания томатов с применением защитных экранов должно быть направлено на управление производственным процессом растений путем непосредственного технологического воздействия и на другие характеристики среды обитания внутри укрытия [16]. Информация о состоянии растений и среды их обитания в режиме реального времени может быть получена в цифровом форма-

те. Практическое применение фитомониторинга для выявления стрессовых состояний растений и оптимизации режимов их выращивания вполне реализуемо и открывает новые возможности повышения эффективности управления производственным процессом.

Цель исследования – повысить эффективность выращивания томатов в укрытиях экранного типа за счет обеспечения их необходимыми ресурсами на различных этапах жизненного цикла в режиме реального времени.

Задачи исследования – экспериментальная проверка возможности мониторинга влагообеспеченности и разработка алгоритма расчета индекса водного стресса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наиболее сложная задача, которую необходимо решать в конкретных условиях при выращивании растений, – определение фактора внешней среды, находящегося в данное время в минимуме. Технологические воздействия на него позволяют повышать урожайность при наименьших затратах труда и средств.

В лесостепной зоне Западной Сибири для теплолюбивых овощных культур в открытом грунте на первое место выходит фактор теплообеспеченности. На втором месте находится влагообеспеченность, особенно в период приживаемости рассады и интенсивного роста плодов, на третьем – наличие питательных веществ, четвертом – наличие солнечной радиации, которой в зоне достаточно для развития растений. В соответствии с данным ранжированием факторов сле-

дует подбирать технологические процессы и комплексы технических средств, необходимые для приближения лимитирующих факторов к зоне оптимума.

Исследования по повышению теплообеспеченности растений и их защиты от негативных факторов открытого грунта проведены нами ранее, поэтому на первый план выходит проблема контроля и управления влагообеспеченностью растений. Критерием необходимости полива может быть величина индекса водного стресса, который определяется на основе измерений характеристик среды обитания и состояния растений. С появлением приборов, позволяющих определить фактическую температуру листьев, появилась возможность оперативного определения этого показателя по эмпирическому методу Идсо и Джексона [17].

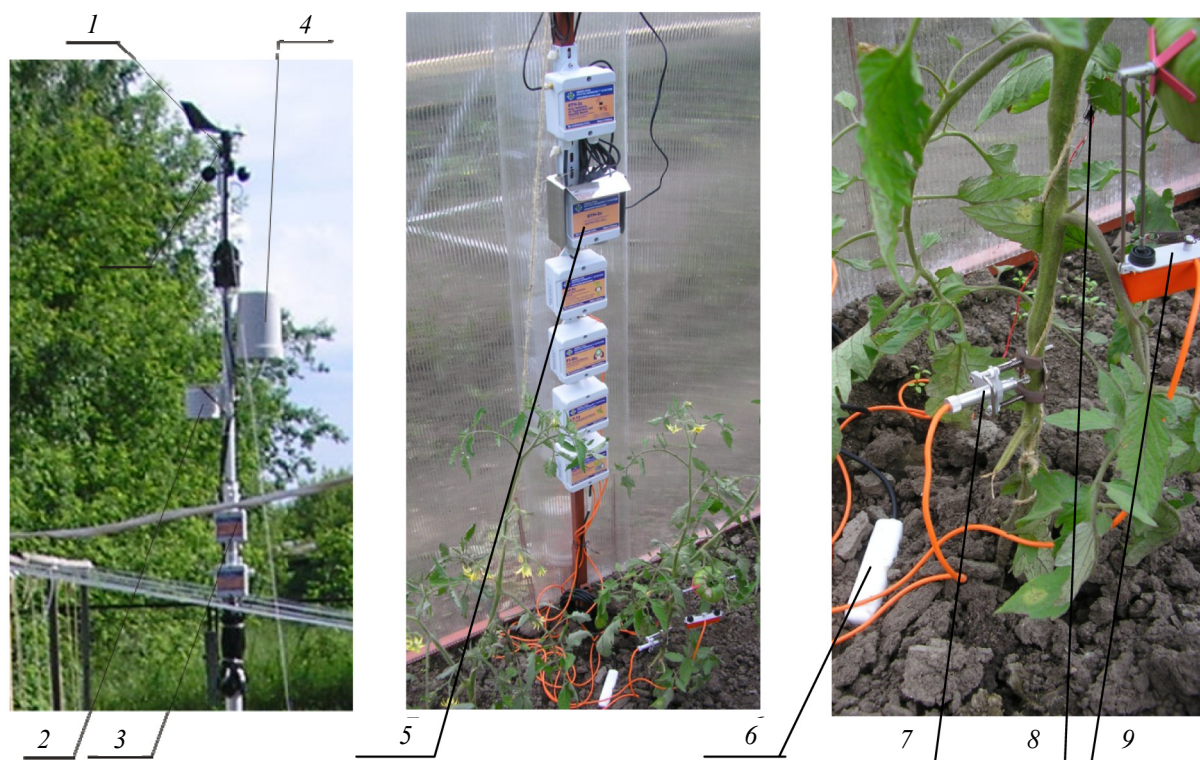


Рис. 2. Метеостанция и датчики для снятия параметров среды обитания и растения:

- 1 – датчик направления и скорости ветра; 2 – датчик температуры и влажности воздуха, 3 – радиомодуль; 4 – датчик дождя; 5 – аспирационный датчик температуры и влажности воздуха; 6 – датчик параметров почвы; 7 – датчик диаметра стебля; 8 – датчик температуры листа; 9 – датчик диаметра плода

Fig. 2. Weather station and sensors for metering parameters of the habitat and a plant:

- 1 – air temperature and humidity sensor; 2 – wind direction and speed sensor; 3 – radio module; 4 – rain sensor; 5 – aspiration sensor of air temperature and humidity; 6 – soil parameters sensor; 7 – stem diameter sensor; 8 – leaf temperature sensor; 9 – fruit diameter sensor

Лабораторно-полевой эксперимент проведен с 10 июня по 20 сентября 2018г. на участке открытого грунта при экспериментальной теплице. Для проведения эксперимента изготовлена секция крупногабаритного укрытия экранного типа. Рядом с укрытием заложен контрольный вариант посадок. Внутри укрытий и на контроле высажены одинаковые по возрасту и состоянию крупноплодные томаты.

Состояние атмосферного воздуха вне укрытий определяли при помощи автоматической метеостанции DWS-11z, в состав которой входят радиомодуль с блоком питания, а также набор датчиков: температуры и влажности воздуха, дождя, пиранометр, датчик направления и скорости ветра. Показатели состояния воздуха внутри укрытия

измеряли аспирационным датчиком температуры и влажности воздуха RTH-2z в комплекте с радиомодулем, блоком питания и пиранометром B12-R. Для оценки состояния почвы и растений внутри укрытия и снаружи использовали одинаковые наборы датчиков с радиомодулями и питанием от батареек: датчик изменений диаметра стебля SD-5z, датчик температуры листа LT-4z, датчик роста плода FI-Mz и почвенный датчик SMTE-3z (см. рис. 2)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Алгоритм расчета индексов водного стресса разработан и реализован в приложении Excel. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 3.

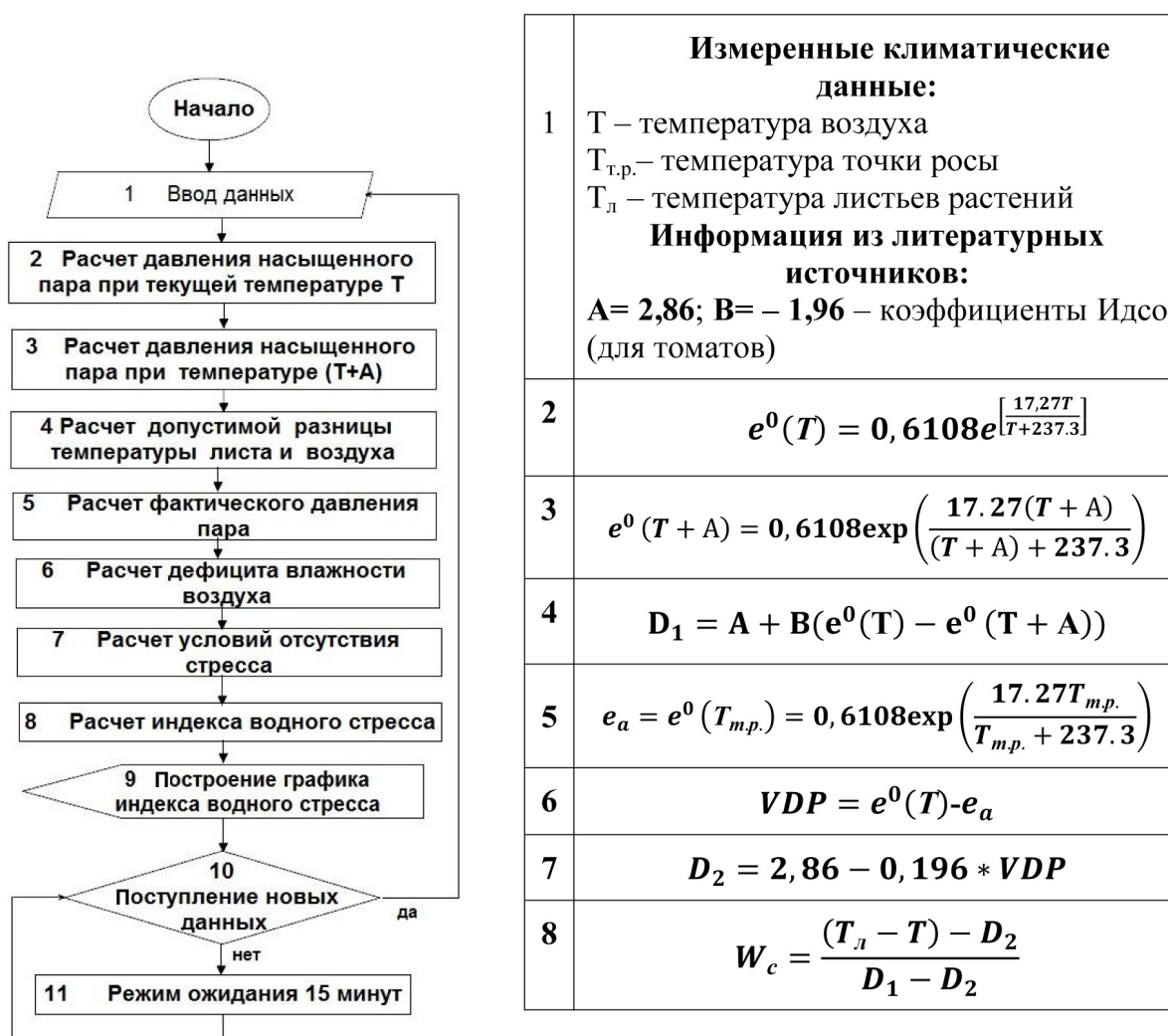


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета индекса водного стресса
Fig. 3. Control flow chart of the water stress index calculation

В основе практического применения индекса водного стресса лежит возможность определения в режиме реального времени основных параметров окружающей среды и растения – температуры листа, температуры и влажности воздуха, а также остальных параметров. Процесс снятия параметров проводили в автоматическом режиме. Результаты измерений по радиоканалу передавали на фитомонитор и далее через USB-адаптер на компьютер. Результаты обработки измерений от 12, 13 и 16 июля, выполненные в соответствии с алгоритмом, представлены на рис. 4.

Из графика следует, что величина индекса водного стресса меньше критического значения 0,3. Следовательно, растения не испытывали недостатка в воде. Стандартное отклонение индекса водного стресса снаружи полностью перекрывает интервал изменения индекса водного стресса внутри укрытия, следовательно, разница между ними находится в пределах ошибки опыта. Эксперимент показал высокую надежность

работы фитомонитора, метеостанции и комплекта датчиков, не зафиксировано ни одного сбоя.

Недостаток данного комплекса состоит в том, что используются точечные датчики температуры листа, т.е. фактически температура листового аппарата всех растений в опыте оценивается по температуре одного листа. В связи с этим целесообразно использовать инфракрасные датчики, которые измеряют температуру поверхности всех листьев растений, попавших в зону захвата. Следует также заметить, что определение обеспеченности растений водой по методу Идсо – Джексона имеет существенный недостаток: он не учитывает солнечную радиацию и влияние ветра, размеры и сомкнутость растений, которые оказывают влияние на испарение воды с поверхности листа. Работы по дальнейшему совершенствованию системы управления продукционным процессом в режиме реального времени необходимо продолжить на основе методики расчета эвапотранспирации [18].



Рис. 4. Результаты расчета индекса водного стресса

Fig. 4. Results of the water stress index calculation

ВЫВОДЫ

1. Комплект приборов для фитомониторинга на основе фитомонитора РМ-IIz обеспечивает бесперебойный сбор и хранение информации о состоянии растений и среды их обитания в течение всего периода вегетации.

2. Разработанный алгоритм позволяет выполнять расчет индекса водного стресса на основе результатов фитомониторинга. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование системы управления продукционным процессом в режиме реального времени на основе методики расчета эвапотранспирации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.И., Конашенков А.А., Иванова Ж.А., Воробьев В.А., Фесенко М.А., Данилова Т.А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала северо-запада России // *Агрофизика*. 2016. № 2. С. 35–5.
2. Ильницкий О.А. Зависимость интенсивности фотосинтеза *Nerium oleander* L. и *Laurus nobilis* L. от факторов внешней среды (ТВ, I-ФАР, ВВОЗ.), температуры листьев, транспирации и их изменение в ходе вегетации в условиях ЮБК // *Бюллетень государственного Никитского ботанического сада*. 2017. № 125. С. 109–113.
3. Поддубский А.А., Шуравилин А.В., Сурикова Н.В. Влияние влагообеспеченности на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Московской области // *Природообустройство*. 2017. № 2. С. 68–74.
4. 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. Т. 47. № 3. С. 73–79.
5. Бабичев А.Н., Ольгаренко В.И. Технологические подходы к нормированию режимов орошения и аппарат прогнозирования водопотребления картофеля в условиях поймы нижнего Дона // *Научный журнал Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации*. 2016. Т. 22. №2. С. 148–165.
6. Хорт Д.О., Смирное И.Г. Интеллектуальные машинные технологии в садоводстве // *Таврический вестник аграрной науки*. 2017. Т. 9. № 1. С. 119–126.
7. Семенов С.А., Васильев С.А., Максимов И.И. Особенности реализации и перспективы применения технологий цифрового земледелия в АПК // *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. Т. 4. № 1. С. 69–76.
8. Железова С.В. Применение оптических датчиков для оценки состояния посевов озимой пшеницы // *Агрофизика*. 2018. № 3. С. 42–8.
9. Ефимов А.Е., Ситдикова Ю.Р., Доброхотов А.В., Козырева Л.В. Мониторинг эвапотранспирации на сельскохозяйственном поле, определение норм и сроков полива автоматизированным мобильным полевым агрометеорологическим комплексом // *Водные ресурсы*. 2018. Т. 45. № 1. С. 100–105.
10. Максенова И.Л., Доброхотов А.В., Козырева Л.В. Параметрическая идентификация модели роста и развития AQUACROP на посевах рапса в Ленинградской области // *Агрофизика*. 2018. № 1. С. 44–53.
11. Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Математическое моделирование и управление состоянием посевов по данным дистанционного зондирования // *Агрофизика*. 2016. № 2. С. 45–54.
12. Шишкин П.В., Тон Ю. Фитомониторинг в практическом растениеводстве // *Теплицы России*. 2009. № 1. С. 50–53.
13. Одинцова В.А. Фитомониторинг при изучении водного обмена и температурного режима растений черешни // *Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства*. 2017. Т. 13. С. 55–58.
14. Козырева Л.В., Ситдикова Ю.Р., Ефимов А.Е., Доброхотов А.В. Методика оценки биологического водопотребления посевов для решения задач управления водным режимом // *Агрофизика*. 2018. Т. 12. №4. С. 12–19.
15. Нестяк В.С., Чепурин Г.Е., Ивакин О.В., Усольцев С.Ф. Защитные экраны – резервные возможности для овощеводства // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30.

№ 8. С. 83–86.

16. Ивакин О.В., Нестяк В.С. Техногенез в продукционном процессе томатов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. Т. 142. № 8. С. 149–155.
17. Jackson R.D., Kustas W.P., Choudhury B.J. A reexamination of the Crop Water Stress Index // Irrigation Science. 1988. Vol. 9. P. 309–317.
18. Allen R.G. Using the FAO – 56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration inter comparison study // Journal of Hydrology. 2000. Vol. 229–P. 27–1.

REFERENCES

1. Ivanov A.I., Konashenkov A.A., Ivanova Zh.A., Vorob'ev V.A., Fesenko M.A., Danilova T.A., Filippov P.A. Agrotekhnicheskie aspekty realizatsii bioklimaticheskogo potentsiala severo-zapada Rossii [Agrotechnical aspects of implementation of bio-climatic potential of the north-west of Russia]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2016, no. 2, pp. 35–45.
2. Il'nitskii O.A. Zavisimost' intensivnosti fotosinteza Nerium oleander L. i Laurus nobilis L. ot faktorov vneshnei sredy (TV, I-FAR, DVOZ.), temperatury list'ev, transpiratsii i ikh izmenenie v khode vegetatsii v usloviyakh YuBK [Dependence of photosynthesis intensity Nerium oleander L. and Laurus nobilis L. on external environment factors (TV, I-FAR, DVOZ.), leaf temperature, transpiration and their change in the course of vegetation in the conditions of the South Coast of Crimea]. *Byulleten' gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden], 2017, no. 125, pp. 109–113.
3. Poddubskii A.A., Shuravilin A.V., Surikova N.V. Vliyanie vlagoobespechennosti na urozhainost' sePskokhozyaistvennykh kul'tur v usloviyakh Moskovskoi oblasti [Influence of water availability on the yield of agricultural crops in the conditions of Moscow region]. *Prirodoobustroistvo* [Environmental engineering], 2017, no. 2, pp. 68–74.
4. Nestyak V.S., Usoltsev S.F., Ivakin O.V., Kos'yanenko V.P., Rybakov R.V., Patrino V.A. K voprosu upravleniya produktsionnym protsessom sePskokhozyaistvennykh kul'tur (na primere tomato v) [On the issue of management of agricultural crops' production process (on the example of tomatoes)]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Bashkir State Agrarian University], 2018, vol. 47, no. 3, pp. 73–79.
5. Babichev A.N., Ol'garenko V.I. Tekhnologicheskie podkhody k normirovaniyu rezhimov orosheniya i apparat prognozirovaniya vodopotrebleniya kartofelya v usloviyakh poimyy nizhnego Dona [Technological approaches to setting irrigation schedule and a device for forecasting water consumption of potatoes in the conditions of the Don river floodplain]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], 2016, vol. 22, no. 2, pp. 148–165.
6. Khort D.O., Smirnov I. G. Intellektual'nye mashinnye tekhnologii v sadovodstve [Smart engineering technologies in horticulture]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoi nauki* [Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science], 2017, vol. 9, no. 1, pp. 119–126.
7. Semenov S.A., Vasil'ev S.A., Maksimov I.I. Osobennosti realizatsii i perspektivy primeneniya tekhnologii tsifrovogo zemledeliya v APK [Peculiarities of implementation and prospects of digital agriculture technologies application in AIC]. *Vestnik Chuvashskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy], 2018, vol. 4, no. 1, pp. 69–76.
8. Zhelezova S.V. Primenenie opticheskikh datchikov dlya otsenki sostoyaniya posevov ozimoi pshenitsy [Application of optical sensors for assessment of the state of winter wheat crops]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2018, no. 3, pp. 42–8.
9. Efimov A.E., Sitdikova Yu.R., Dobrokhoto A.V., Kozyreva L.V. Monitoring evapotranspiratsii na sel'skokhozyaistvennom pole, opredelenie norm i srokov poliva avtomatizirovannym toBIГpyt polevym agrometeorologicheskim kompleksom [Monitoring of evapotranspiration on agricultural field, determination of rates and terms of watering with an automated mobile field agrometeorological complex]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2018, vol. 45, no. 1, pp. 100–105.
10. Maksenkova I.L., Dobrokhoto A.V., Kozyreva L.V. Parametricheskaya identifikatsiya

- modeli rosta i razvitiya AQUACROP na pos evakh rapsa v Leningradskoi oblasti [Parametric identification of AQUACROP growth and development model on rape crops in Leningrad region]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2018, no. 1, pp. 44–53.
11. Mikhailenko I.M., Timoshin V.N. Matematicheskoe modelirovanie i upravlenie sostoyaniem posevov po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Mathematic modelling and management of crops according to remotely sensed data]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2016, no. 2, pp. 45–54.
12. Shishkin P.V., Ton Yu. Fitomonitoring v prakticheskom rastenievodstve [Phytomonitoring in practical plant breeding]. *Teplitsy Rossii* [Green houses of Russia], 2009, no. 1, pp. 50–53.
13. Odintsova V.A. Fitomonitoring pri izuchenii vodnogo obmena i temperaturnogo rezhima rastenii chereschni [Phytomonitoring when studying water exchange and temperature conditions of cherry plants]. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo nauchnogo uchrezhdeniya Severo-Kavkazskogo zonal'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta 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.
14. Kozyreva L.V., Sitdikova Yu.R., Efimov A.E., Dobrokhotov A.V. Metodika otsenki biologicheskogo vodopotrebleniya posevov dlya resheniya zadach upravleniya vodnym rezhimom [Assessment methods of biological water consumption of crops in order to solve tasks of managing water regime]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2018, vol. 12, no. 4, pp. 12–19.
15. Nestyak V.S., Chepurin G.E., Ivakin O.V., Usoltsev S.F. Zashchitnye ekrany – rezervnye vozmozhnosti dlya ovoshchevodstva [Protective screens as a back-up means for vegetable growing]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2016, vol. 30, no. 8, pp. 83–86.
16. Ivakin O.V., Nestyak V.S. Tekhnogenez v produktsionnom protsesse tomatov [Technogenesis in production process of tomatoes]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], 2016, vol. 142, no. 8, pp. 149–155.
17. Jackson R.D., Kustas W.P., Choudhury B.J. A reexamination of the Crop Water Stress Index. *Irrigation Science*, 1988, vol. 9, p. 309–317.
18. Allen R.G. Using the FAO – 56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration inter comparison study. *Journal of Hydrology*, 2000, vol. 229, pp. 27–1.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Усолюдев С.Ф., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий; Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ **Нестяк В.С.**, доктор технических наук, заведующий лабораторией; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463, e-mail: nestyak-vs@ya.ru

AUTHOR INFORMATION

Usoltsev S.F., Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher of the Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; address: Krasnoobsk, Novosibirsk, 630501, Russia

✉ **Nestyak V.S.**, Doctor of Science in Engineering, Laboratory Head of the Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: nestyak-vs@ya.ru

Дата поступления статьи 11.08.2018

Received by the editors 11.08.2018