

Критерии авторства

Холуденева А.О., Ефремова С.Ю. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Холуденева А.О., Ефремова С.Ю. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 12.05.2021 г.

Одобрена после рецензирования 05.06.2021 г.

Принята к публикации 28.06.2021 г.

Criteria of authorship

Kholudanova A.O., Efremova S.Yu. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Kholudanova A.O., Efremova S.Yu. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 12.05.2021

Approved after reviewing 05.06.2021

Accepted for publication 28.06.2021

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.67

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-47-54

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

БАЛАБАНОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, д-р техн. наук, профессор

vbalabanov@rgau-msha.ru

МАРТЫНОВА НАТАЛЬЯ БОРИСОВНА ✉, канд. техн. наук, доцент

nmartinova@rgau-msha.ru

АБДУЛМАЖИДОВ ХАМЗАТ АРСЛАНБЕКОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

abdulmajidov@rgau-msha.ru

МАКАРОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ, старший преподаватель

makaleksandr17@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская, 49. Россия

Проанализированы показатели валового сбора картофеля в Московской области за последние годы. Доказано, что рост посевных площадей не всегда приводит к повышению валового сбора. Не менее важно обеспечить комфортные условия для роста и развития растений. Осадки в Московской области в весенне-летний период выпадают крайне неравномерно: дни с ливневыми дождями, формирующими слой осадков в десятки миллиметров, чередуются с безосадочными днями и неделями. Обоснована необходимость проведения дополнительных поливов для создания оптимального водно-воздушного баланса для развития растений, оценены преимущества использования капельного полива в этих целях, позволяющего доставлять поливную воду непосредственно в корнеобитаемую зону растения. Рекомендовано совмещение операций по формированию картофельных гребней с укладкой капельной ленты, так как в начальный период развития растению хватает запасов влаги материнского клубня и проведения дополнительных поливов не требуется. Разработана конструкция укладчика капельной ленты на базе гребнеобразователя Grimme GF-75/4 для повышения степени механизации при укладке капельной ленты. При рабочей скорости 3,2...5,5 км/ч производительность машины составила 0,51...0,97 га/ч. В ходе дальнейших исследований рассчитана норма полива с учетом эллиптической формы контура увлажнения, что позволило исключить избыточный полив. После монтажа системы капельного орошения полив осуществлялся постоянной нормой при достижении влагоемкости 70% от ППВ с корректировкой времени между поливами. Использование системы капельного полива позволило повысить урожайность картофеля сортов Ред Скарлетт и Жуковский ранний на 26,5%...28% соответственно.

Ключевые слова: контур увлажнения, капельный полив, капельная лента, поливная норма, картофельный гребень, суточное водопотребление

Формат цитирования: Балабанов В.И., Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Макаров А.А. Применение системы капельного орошения для выращивания картофеля в Московской области // Природообустройство. – 2021. – № 3. – С. 47-54. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-47-54.

© Балабанов В.И., Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Макаров А.А., 2021

Scientific article

APPLICATION OF THE DRIP IRRIGATION SYSTEM FOR CULTIVATION OF POTATOES IN THE MOSCOW REGION

BALABANOV VICTOR IVANOVICH, doctor of technical sciences, professor

vbalabanov@rgau-msha.ru

MARTYNOVA NATALIA BORISOVNA , candidate of technical sciences, associate Professor

nmartinova@rgau-msha.ru

ABDULMAZHIDOV KHAMZAT ARSLANBEKOVICH, candidate of technical sciences, associate professor

abdulmajidov@rgau-msha.ru

MAKAROV ALEXANDER ALEKSEEVICH, senior lecturer

makaleksandr17@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

The article analyzes the indicators of the gross harvest of potatoes in the Moscow region in recent years. It has been proven that an increase in acreage does not always lead to an increase in gross harvest. It is equally important to provide comfortable conditions for the growth and development of plants. Precipitation in the Moscow region in the spring and summer period falls extremely unevenly: days with heavy rains forming a layer of precipitation of tens of millimeters alternate with non-precipitating days and weeks. The necessity of additional irrigation to create an optimal water – air balance for the development of plants is substantiated and the advantages of using drip irrigation for these purpose which allows the delivery of irrigation water directly to the root zone of the plant are estimated. It is recommended to combine operations on the formation of potato ridges with the laying of a drip tape since in the initial period of development the plant has enough moisture reserves of the mother tuber and additional watering is not required. The design of the drip tape stacker based on the Grimme GF-75/4 ridge former has been developed to increase the degree of mechanization when laying the drip tape. At a working speed of 3.2...5.5 km/h the productivity of the machine was 0.51...0.97 halh. In the course of further research the irrigation rate was calculated taking into account the elliptical shape of the humidification contour which made it possible to exclude excessive watering. After the installation of the drip irrigation system, irrigation was carried out at a constant rate when the moisture capacity reached 70% of the uultimate field moisture capacity with the adjustment of the time between irrigations. The use of the drip irrigation system made it possible to increase the yield of potatoes of the varieties Red Scarlett and Zhukovsky Early by 26.5% ... 28%, respectively.

Keywords: humidification circuit, drip irrigation, drip tape, irrigation rate, potato ridge, daily water consumption

Format of citation: Balabanov V.I., Martynova N.B., Abdulmashidov H.A., Makarov A.A. Application of the drip irrigation system for cultivation of potatoes on the Moscow region // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 3. – S. 47-54. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-47-54.

Введение. В ходе реализации Государственной программы 2014-2020 гг. «Сельское хозяйство Подмосковья» устойчивый рост посевных площадей, занятых картофелем. В значительной степени этому способствуют мероприятия подпрограммы 2

«Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения», благодаря которым ежегодно возвращается в сельскохозяйственный оборот свыше 18 тыс. га выбывших земель путем проведения культуртехнических мероприятий. Однако увеличения роста посевных площадей недостаточно для получения

гарантированного урожая [1, 2]. Так, после неплохих показателей 2019 г. (32,37 т/га) в 2020 г. произошло резкое снижение (до 24,87 т/га). В результате область недополучила запланированные 36 тыс. т, и проблему пришлось решать, импортируя недостающие объемы (табл. 1).

Таблица 1
Размер посевной площади и урожайность картофеля в Московской области

Table 1
The size of the cultivated area and the yield of potatoes in the Moscow region

Показатели <i>Indicators</i>	Период исследования, годы <i>Research period, years</i>							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Посевная площадь, тыс. га <i>Sown area, thousand hectares</i>	14,1	13,2	14,6	13,7	12,9	12,7	13,7	13,5
Урожайность, тыс. т <i>Productivity, thousand tons</i>	210	306	392	360	330	318	460	289

Область занимает третье место в центральном Федеральном округе по валовому сбору картофеля, развита также перерабатывающая отрасль [3], поэтому получение гарантированного урожая является актуальной задачей.

Одной из причин неустойчивого урожая является неравномерное выпадение осадков: количество в маловодные

и многоводные годы может отличаться в 2-4 раза [4]. Суточная динамика осадков также демонстрирует резкие колебания: ливневые дожди, когда слой осадков может исчисляться десятками миллиметров, чередуются с днями и даже неделями, когда осадки отсутствуют (рис. 1). Поэтому для получения устойчивого урожая требуется проведение дополнительных поливов.

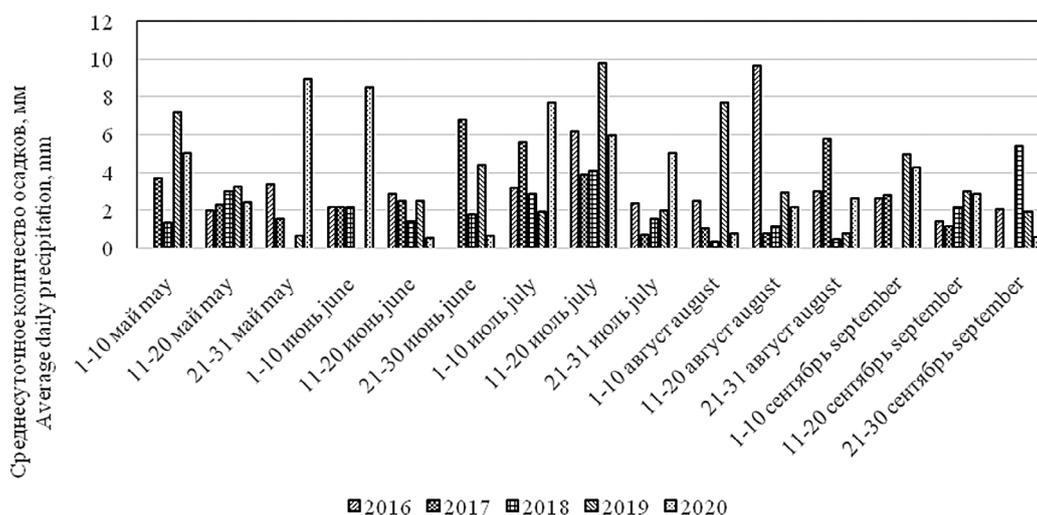


Рис. 1. Динамика среднесуточного количества осадков в период вегетации картофеля

Fig. 1. Dynamics of the average daily precipitation during the growing season of potatoes

Среди различных способов орошения следует отметить капельный полив, преимуществом которого является доставка воды непосредственно в корневую зону [5]. При использовании такого

способа практически отсутствует потеря воды на испарение. Междурядья практически не увлажняются, что приводит к замедлению роста сорняков. Однако суммарная площадь земель, занятых капельным

поливом, в Российской Федерации составляет 51 тыс. га из 4633 тыс. га всех орошаемых земель, что существенно ниже среднемировых показателей [6].

Темпы внедрения капельного полива в отечественное сельскохозяйственное производство также заметно отстают от показателей большинства стран. Одним из сдерживающих факторов является низкая степень механизации производства работ. Оборудование, предназначенное для механизированной укладки капельной ленты, серийно выпускается американскими производителями Andros и Rain-Flo, однако импорт предлагаемых рабочих органов сдерживает высокая стоимость и невозможность использования предлагаемых моделей для укладки капельной ленты в картофельный гребень [7]. Применение кустарно разработанных укладчиков капельной ленты приводит к ее неравномерному натяжению в процессе укладки и, как следствие, к перекручиванию и обрыву.

Материалы и методы. Для качественной укладки капельной ленты требуется обеспечить равномерное натяжение. Для его определения следует вычислить сопротивление протягиванию ленты [8]:

$$F_{po} = R_{нг} + F_{лв} = R_{нг} + F_{лвр} + F_{лдр} + F_{лтр} = \\ = \mu \cdot G_p + k_p \cdot h \cdot b + \varepsilon \cdot h \cdot b \cdot v^2 + \\ + (f_o \cdot G_{л} \cdot d_o \cdot d_p^{-1} + 2 \cdot G_{л} \cdot l_o \cdot d_p^{-1}) \cdot (1 + e^{f_o \cdot \beta}) \quad (1)$$

где $F_{лв}$ – сопротивление протягивания ленты, кН; $F_{лвр}$ – сопротивление трению ленты в укладчике, кН; $F_{лдр}$ – усилие на преодоление дисбаланса катушки, кН; $F_{лтр}$ – сопротивление трению катушки об ось, кН; $R_{нг}$ – сопротивление грунта разработке, кН; f_o – коэффициент трения оси в опорах; $G_{л}$ – вес бухты ленты, кН; d_o – диаметр оси, м; d_p – диаметр бухты, м; l_o – смещение центра тяжести бухты от оси вращения, м; β – угол обхвата лентой; μ – коэффициент трения рабочего органа о грунт; G_p – вес укладчика, кН; k_p – удельное сопротивление резанию, кН/м²; ε – коэффициент, учитывающий влияние скорости резания на сопротивление копанью; h – глубина разработки, м; b – ширина разработки, м.

В начальной фазе развития растению достаточно запасов влаги материнского клубня, почва наполнена влагой, накопившейся в процессе снеготаяния, поэтому проведения дополнительных поливов не требуется. В процессе роста потребность во влаге возрастает, достигая максимальных значений в период цветения и окончания роста ботвы, а в дальнейшем опять снижается.

Проанализировав полученные значения тягового усилия, можно сделать вывод о рациональности совмещения операций по формированию гребней и об укладке капельной ленты. В этом случае сопротивление укладке капельной ленты не превысит 10% от тяговых сопротивлений гребнеобразователя. Для проверки результатов исследований рабочее оборудование для укладки капельной ленты было установлено на гребнеобразователь Grimme GF-75/4 (рис. 2).



Рис. 2. Испытания укладчика капельной ленты на базе гребнеобразователя Grimme GF-75/4

Fig. 2. Tests of the drip tape stacker based on the Grimme GF-75/4 ridge former

Полевые исследования работы укладчика капельной ленты на базе гребнеобразователя Grimme GF-75/4 проводились на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева для повышения степени механизации при создании системы капельного орошения (табл. 2).

Дальнейшие исследования проводились с использованием картофеля сортов Ред Скарлетт и Жуковский ранний. Полив осуществлялся при достижении влагоемкости 70% от ППВ.

Существующие формулы для определения поливной нормы не учитывают форму поливного контура. Это может привести к избыточному поливу, вымыванию минеральных веществ в нижележащие слои, поднятию уровня грунтовых вод.

В связи с тем, что перемещение капли воды в почве в горизонтальном направлении осуществляется под действием капиллярных сил, а в вертикальном направлении – под действием капиллярных и гравитационных сил, следует рассматривать вертикальное и горизонтальное перемещение поливной воды в почве отдельно (рис. 3).

Техническая характеристика укладчика капельной ленты
на базе гребнеобразователя Grimme GF-75/4

Technical characteristics of the drip tape stacker based
on the Grimme GF-75/4 comb former

Масса рабочего органа, кг <i>Workingbodyweight, kg</i>	2150
Ширина рабочего органа, м <i>Workingbodywidth, m</i>	3
Рабочая скорость, м/с <i>Workingspeed, m/sec</i>	0,9...1,4
Производительность, га/ч <i>Productivity, ha/hours</i>	0,51...0,97
Диаметр капельной ленты, мм <i>Driptapediameter, mm</i>	16
Расход воды, л/ч <i>Water consumption, liters per hour</i>	1,6
Расстояние между капельницами, мм <i>Distance between droppers, mm</i>	300

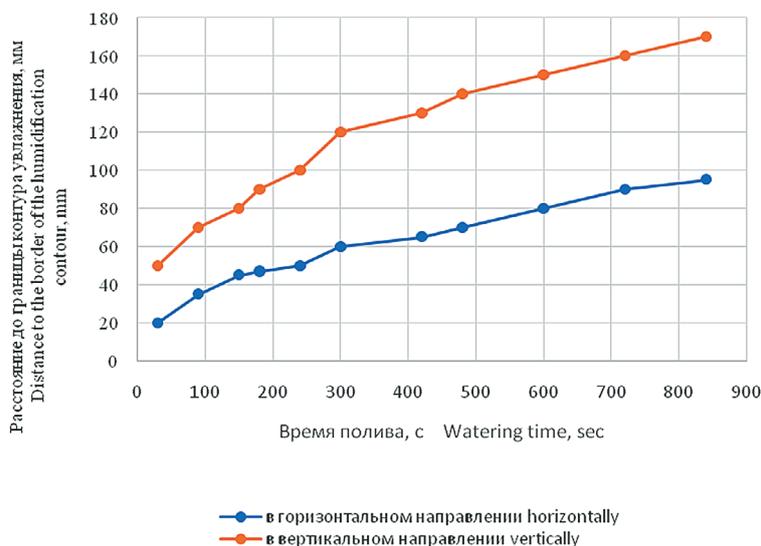


Рис. 3. Динамика распространения поливной воды в почве
в горизонтальном и вертикальном направлениях

Fig. 3. Dynamics of the distribution of irrigation water in the soil
in the horizontal and vertical directions

Вертикальное перемещение влаги в ненасыщенной среде определяем по формуле [9]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D(W) \frac{\partial W}{\partial z} + A \frac{\partial^2 W}{\partial t \partial z} \right) \quad (2),$$

где $D(W)$ – коэффициент диффузивности почвенной влаги; A – поправочный коэффициент; W – относительная влажность почвы; t – время, с.

Вертикальную координату, разделяющую политую и неполитую зоны, определяем по формуле:

$$z = 2A^{-0.5} \sqrt{Dt} \quad (3),$$

Коэффициент диффузивности почвенной влаги определяем [10] как

$$D(W) = D_0 \cdot e^{\beta(W-W_0)} \quad (4),$$

где β – параметр, зависящий от почв и влажности; D_0 – коэффициент диффузивности при начальной влажности W_0 .

Горизонтальное перемещение почвенной влаги может быть описано уравнением:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(W) \frac{\partial W}{\partial x} \right) \quad (5),$$

После преобразований найдем координату радиуса поливного контура:

$$x = \sqrt{\frac{2tD_0 e^{\beta(W-W_0)} \cdot \sqrt{A}}{\sqrt{A} - \beta(W-W_0) \sqrt{2D_0 e^{\beta(W-W_0)}}}} \quad (6),$$

Результаты и обсуждение. Зная горизонтальную и вертикальную координату контура увлажнения и принимая полуэллиптический профиль, к которому склоняются большинство исследователей, определим требуемый расход на капельницу:

$$Q_{\text{тр}} = \frac{2 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \pi z x^2 (W_1 - W_0)}{3t} \quad (7),$$

Определив расход на капельницу, выберем капельную ленту из условия

$Q_{\text{кап}} \geq Q_{\text{тр}}$, затем определим поливную норму:

$$m = \frac{10 \cdot Q_{\text{кап}} \cdot t}{3,6 \cdot l \cdot b} \quad (8),$$

где l – расстояние между капельницами, м; b – расстояние между соседними гребнями, м.

После монтажа капельной системы полив осуществлялся постоянной нормой с корректировкой времени между поливами при достижении начальной влагоемкости 70% от ППВ (рис. 4).

Полив проводился до удаления ботвы (использовался химический способ выжигания ботвы). Благодаря использованию капельного полива урожайность выросла на 28%.

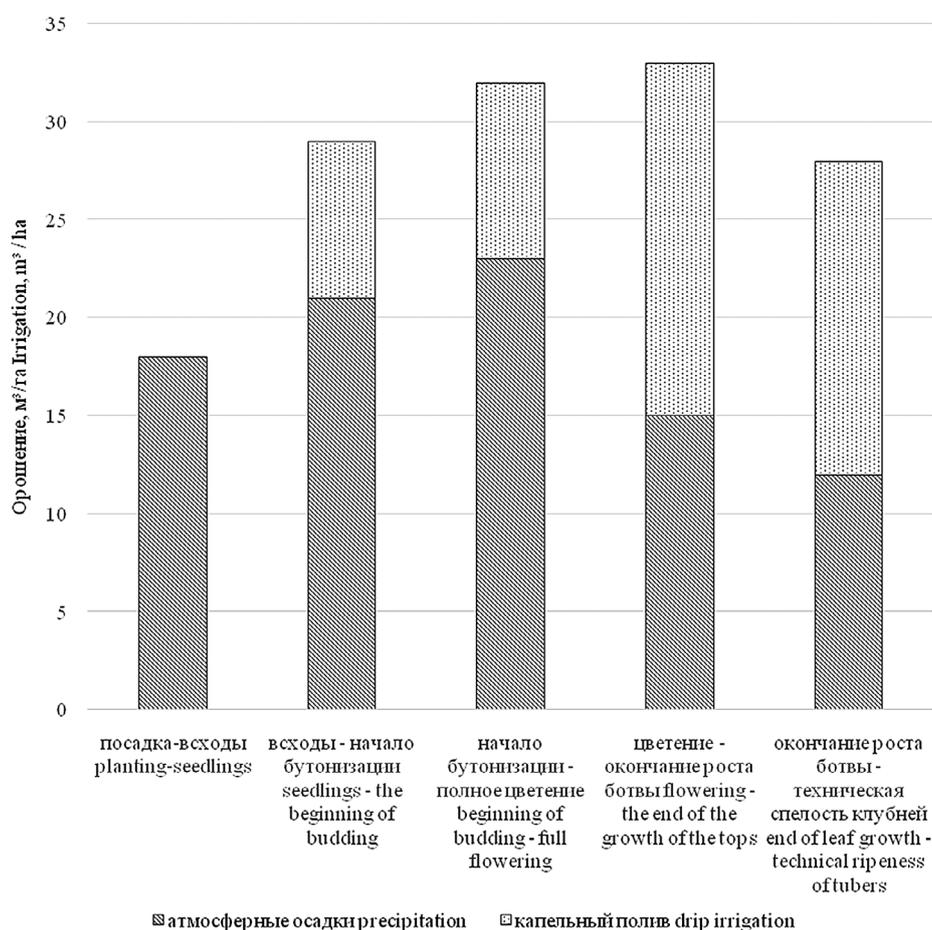


Рис. 4. Водопотребление картофеля в различные фазы развития
Fig. 4. Water consumption of potatoes at different stages of development

Выводы

В Московской области осадки в весенне-летний период выпадают неравномерно, поэтому для получения устойчивых урожаев требуется проведение дополнительных поливов. Преимуществом капельного орошения является доставка поливной

воды в корнеобитаемое пространство, что позволит рационально ее использовать, не допуская переполивов – вымывания питательных веществ в нижележащие слои и поднятия уровня грунтовых вод. Укладку капельной ленты рационально совместить с операцией по формированию гребней

на 10...14 дни после посадки, так как в начальной фазе развития растению достаточно запасов влаги материнского клубня. Установка рабочего оборудования на базе гребнеобразователя Grimme GF-75/4 позволила повысить степень механизации работ по укладке капельной ленты. Существующие поливные нормы не учитывают

эллиптическую форму контура увлажнения, предложенная формула расчета поливной нормы позволит экономить воду и не допустить переполивов. Использование системы капельного полива позволило увеличить урожайность картофеля сортов Ред Скарлетт и Жуковский ранний на 26,5...28% соответственно.

Библиографический список

1. **Дубенок Н.Н.** Отзывчивость различных сортов картофеля на водный режим светло-каштановых почв Нижнего Поволжья / Н.Н. Дубенок, Д.А. Болотин, С.Д. Фомин, А.Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 4. – С. 22-29
2. **Мартынова Н.Б., Корнеев А.Ю.** Машина для укладки капельной ленты в картофельный гребень // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 2. – С. 15-20
3. **Карапетян М.А., Шипанцов А.М.** От предпосадочной подготовки почвы зависит производительность картофелеуборочного комбайна и качество уборки клубней // Картофель и овощи. – 2012. – № 4. – С. 7.
4. **Балабанов В.И.** Актуальная техника. Обзор инновационных разработок для посева и почвообработки // Агротехника и технологии. – 2019. – № 1. – С. 18-19
5. **Абдулмажидов Х.А., Матвеев А.С.** Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе InventorPro // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2016. – № 2. – С. 40-46
6. **Reyes-Cabrera J.** Drip as alternative irrigation method for potato in Florida sandy soils / J. Reyes-Cabrera L. Zotarelli D.L. Rowland, M.D. Dukes, S.A. Sargent // American Journal of Potato Research. – 2015. – № 91 (5). – P. 504-516.
7. Green technologies: the basis for integration and clustering of subjects at the regional level of economy / V.V. Melikhov, A.A. Novikov, L.N. Medvedeva, O.P. Komarova // Contributions to economics. – 2017. – P. 365-382.
8. Оптимальное управление поливами на основе современных вычислительных алгоритмов / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов,

References

1. Otzyvchivost razlichnyh sortov kartofelya na vodnyj rezhim s vetlo-kashtanovyh pochv Nizhnego Povolzhya / N.N. Dubenok, D.A. Bolotin, S.D. Fomin, A.G. Bolotin // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversiteta skogokompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. – 2017. – № 4. – S. 22-29
2. **Martynova N.B.** Mashina dlya ukladki kapelnoj lenty v kartofelnyj greben / N.B. Martynova A.Yu. Korneev // Mezhdunarodnyj tekhniko – ekonomicheskij zhurnal. – 2019. – № 2. – S. 15-20
3. **Karapetyan M.A., Shipatsov A.M.** Ot predposadochnoj podgotovki pochvy zavisit proizvoditelnost kartofeleuborochnogo kombajna i kachestvo uborki klubnej / Kartofel i ovoshchi, 2012. – № 4 – S. 7.
4. **Balabanov V.I.** Aktualnaya tekhnika. Obzor innovatsionnyh razrabotok dlya poseva i pochvoobrabotki. // Agrotekhnika i tekhnologii. – 2019. – № 1. – S. 18-19
5. **Abdulmashidov H.A., Matveev A.S.** Kompleksnoe proektirovanie i prochnostnye raschety konstruksij mashin prirodobustrojstva v sisteme InventorPro // Vestnik federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professionalnogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina». – 2016. – № 2. – S. 40-46
6. **Reyes-Cabrera J.** Drip as alternative irrigation method for potato in Florida sandy soils / J. Reyes-Cabrera L. Zotarelli D.L. Rowland, M.D. Dukes, S.A. Sargent// American Journal of Potato Research; 2015; 91(5): 504-516.
7. Green technologies: the basis for integration and clustering of subjects at the regional level of economy / V.V. Melikhov, A.A. Novikov, L.N. Medvedeva, O.P. Komarova // Contributions to economics; 2017: 365-382.
8. Optimalnoe upravlenie polivami na osnove sovremennyh vychislitelnyh algoritmov / V.V. Borodychev, M.N. Lytov, A.S. Ovchinnikov, V.S. i dr. // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa:

А.С. Овчинников и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4 (40). – С. 21-28.

9. **Краснощечков В.Н., Ольгаренко Д.Г.** Модернизация мелиоративных систем как главный фактор обеспечения продовольственной и экологической безопасности страны // Природообустройство. – 2016. – № 4. – С. 51-57.

10. Green technologies: the basis for integration and clustering of subjects at the regional level of economy / V.V. Melikhov, A.A. Novikov, i dr. // Contributions to economics. – 2017. – P. 365-382.

Критерии авторства

Балабанов В.И., Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Макаров А.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Балабанов В.И., Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Макаров А.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 12.05.2021 г.

Одобрена после рецензирования 05.06.2021 г.

Принята к публикации 28.06.2021 г.

nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. – 2015. – № 4(40). – S. 21-28.

9. **Krasnoshchekov V.N., Olgarenko D.G.** Modernizatsiya meliorativnyh system kak glavny factor obespecheniya prodovolstvennoj i ekologicheskoj bezopasnosti strany // Prirodoobustrojstvo, 2016. – № 4 – S. 51-57.

10. Green technologies: the basis for integration and clustering of subjects at the regional level of economy / V.V. Melikhov, A.A. Novikov, L.N. Medvedeva, O.P. Komarova // Contributions to economics; 2017: 365-382.

Criteria of authorship

Balabanov V.I., Martynova N.B., Abdumazhidov H.A., Makarov A.A. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Balabanov V.I., Martynova N.B., Abdumazhidov H.A., Makarov A.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 12.05.2021

Approved after reviewing 05.06.2021

Accepted for publication 28.06.2021