

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-30-37
УДК: 635.646:631.674.6(470.31)

Н.Н. Дубенок¹, Д.А. Лебедев^{2*},
А.В. Гемонов¹

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга» (ФГБНУ ВНИИ «Радуга») 140483, Россия, Московская область, Коломенский городской округ, поселок Радужный, д. 38

*Автор для переписки:
denislebedev992@gmail.com

Вклад авторов: Дубенок Н.Н.: руководство исследованием, методология. Лебедев Д.А.: проведение исследований, создание черновика рукописи. Гемонов А.В.: концептуализация, методология, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Дубенок Н.Н. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2017 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Для цитирования: Дубенок Н.Н., Лебедев Д.А., Гемонов А.В. Эффективность использования воды и закономерности водопотребления баклажана при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья. *Овощи России*. 2026;(1):30-37. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-30-37>

Поступила в редакцию: 22.10.2025
Принята к печати: 18.11.2025
Опубликована: 16.03.2026

Nikolay N. Dubenok¹, Denis A. Lebedev^{2*},
Alexander V. Gemonov¹

¹Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 49, Timiryazevskaya street, Moscow, 127434, Russia

²Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply «Raduga» 38, Raduzhny Village, Kolomna Urban District, Moscow Region, 140483, Russia

*Corresponding Author:
denislebedev992@gmail.com

Authors' Contribution: N.N. Dubenok: supervision, methodology. D.A. Lebedev: investigation, writing – original draft. A.V. Gemonov: conceptualization, methodology, writing – review & editing.

Conflict of interest. Dubenok N.N. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2017, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citations: Dubenok N.N., Lebedev D.A., Gemonov A.V. Water Use Efficiency and Water Consumption Patterns of Eggplants under Drip Irrigation in the Central Non-Chernozem Region. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):30-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-30-37>

Received: 22.10.2025
Accepted for publication: 18.11.2025
Published: 16.03.2026

Эффективность использования воды и закономерности водопотребления баклажана при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Актуальность исследования обусловлена растущим дефицитом водных ресурсов и необходимостью интенсификации сельскохозяйственного производства, особенно в условиях Нечерноземной зоны России. Баклажан, как культура, требовательная к влаге и питанию, представляет особый интерес для изучения эффективности водопользования при капельном орошении. Целью работы являлось установление количественных закономерностей суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления (K_v) баклажана при капельном орошении в зависимости от уровня предполивной влажности почвы и минерального питания.

Материал и методика. Полевые исследования проводили на юге Московской области в 2022–2024 годах и включали изучение трех уровней предполивной влажности почвы (70%, 80% и 90% НВ) и двух уровней минерального питания (без удобрений и $N_{150}P_{90}K_{140}$). Суммарное водопотребление определялось методом водного баланса, влажность почвы контролировали тензиометрами.

Результаты. Установлено, что основными источниками влаги являются оросительная вода (35,5–65,2%) и атмосферные осадки (27,7–53,2%). Повышение ППВ с 70% до 90% НВ на удобренном фоне приводило к росту суммарного водопотребления с 3219 до 3777 м³/га. Максимальное среднесуточное водопотребление (29–39 м³/га/сут.) наблюдалось в фазы бутонизации–плодоношения. Коэффициент водопотребления изменялся от 80 до 104 м³/т. Оптимизация режимов орошения и питания оказывала значительное влияние на K_v : поддержание ППВ 90% НВ на удобренном фоне снижало K_v на 9,8%, а внесение удобрений на фоне ППВ 70% НВ – на 10,8%. Наивысшая эффективность водопользования ($K_v=84$ м³/т) достигнута при сочетании высокого уровня влагообеспеченности (90% НВ) и интенсивного минерального питания ($N_{150}P_{90}K_{140}$). Этот агроприем обеспечил экономию воды в 17,5% по сравнению с контролем.

Заключение. Результаты доказывают целесообразность перехода на технологии возделывания баклажана, основанные на поддержании уровня предполивной влажности почвы 80–90% НВ в сочетании со сбалансированным минеральным питанием.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

баклажан, капельное орошение, суммарное водопотребление, коэффициент водопотребления, водный баланс, минеральное питание, предполивная влажность

Water Use Efficiency and Water Consumption Patterns of Eggplants under Drip Irrigation in the Central Non-Chernozem Region

ABSTRACT

Relevance. The relevance of the study is driven by the increasing water scarcity and the need to intensify agricultural production, particularly in the non-chernozem zone of Russia. Eggplant, being a crop with high demands for moisture and nutrition, presents a pertinent case for investigating water use efficiency under drip irrigation systems. The objective of this research was to quantify the patterns of total water use and the water consumption coefficient of eggplant under drip irrigation, as influenced by different levels of pre-irrigation soil moisture and mineral fertilizer application.

Methodology. Field experiments were conducted in the southern part of Moscow Oblast from 2022 to 2024. The study investigated three levels of pre-irrigation soil moisture (70%, 80%, and 90% of Field Capacity) and two levels of mineral nutrition (no fertilizer and $N_{150}P_{90}K_{140}$). Total water use was determined using the water balance method, with soil moisture monitored by tensiometers.

Results. The findings indicate that the primary sources of moisture were irrigation water (35.5–65.2%) and precipitation (27.7–53.2%). Increasing the pre-irrigation moisture threshold from 70% to 90% on a fertilized background resulted in a rise in total water consumption from 3219 to 3777 m³/ha. The peak average daily water use (29–39 m³/ha/day) was recorded during the budding-to-fruiting phases. The water consumption coefficient ranged from 80 to 104 m³/t. The optimization of irrigation and fertilization regimes: maintaining 90% on an unfertilized background reduced by 9.8%, while fertilizer application against a background of 70% reduced it by 10.8%. The highest water use efficiency (84 m³/t) was achieved by combining a high moisture supply (90%) with intensive mineral fertilization ($N_{150}P_{90}K_{140}$). This agronomic practice secured water savings of 17.5% compared to the control.

Conclusion. The results substantiate the expediency of adopting eggplant cultivation technologies based on maintaining pre-irrigation soil moisture levels at 80–90% in combination with balanced mineral nutrition.

KEYWORDS:

eggplant, drip irrigation, total water consumption, water consumption coefficient, water balance, mineral fertilization, pre-irrigation moisture

Введение

Актуальность разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий в овощеводстве обусловлена растущим дефицитом водных ресурсов и необходимостью интенсификации сельскохозяйственного производства для обеспечения продовольственной безопасности [1]. Особое значение эти вопросы приобретают в условиях Нечерноземной зоны России, в частности, на юге Московской области, где неустойчивость погодных условий в течение вегетационного периода предъявляет повышенные требования к управлению факторами роста и развития растений. В данном регионе водопотребление сельскохозяйственных культур традиционно компенсируется за счет атмосферных осадков, орошения и использования влагозапасов почвы. Однако изменение климатических паттернов, проявляющееся в неравномерном распределении осадков и увеличении частоты засушливых явлений, обуславливает критическую зависимость урожайности от регулируемого орошения [2]. Среди интенсивных возделываемых культур баклажан выделяется высокой требовательностью к влажности и питательному режиму почвы, что делает его подходящим объектом для изучения эффективности водопотребления.

Капельное орошение, являющееся одним из наиболее прогрессивных способов полива, позволяет точно дозировать подачу воды и питательных веществ непосредственно в корнеобитаемую зону, минимизируя непродуктивные потери влаги [3,4]. В связи с этим, исследование суммарного водопотребления баклажан при капельном орошении представляет значительный научный и практический интерес. Особую важность приобретает изучение не изолированного воздействия, а именно взаимодействия двух ключевых агротехнических факторов – водного и минерального режимов почвы, поскольку именно их синергия может обеспечить максимальную эффективность использования ресурсов [5]. Многочисленными исследованиями установлено, что продуктивность воды у сельскохозяйственных культур существенно зависит от уровня минерального питания, однако количественные закономерности этого взаимодействия для баклажана в специфических условиях Подмосковья остаются недостаточно изученными.

В наших исследованиях 2022-2024 годов был проведен анализ водного баланса, динамики среднесуточного водопотребления по фазам развития растения и, что наиболее важно, коэффициента водопотребления (K_v), что позволяет дать комплексную оценку эффективности различных сочетаний режимов орошения и применения минеральных удобрений. Предполагается, что поддержание предполивной влажности почвы на более высоком уровне (80-90% НВ) в сочетании с применением минеральных удобрений будет способствовать не только росту урожайности, но и значительному повышению эффективности использования водных ресурсов. Таким образом, цель настоящего исследования заключалась в установлении количественных закономерностей формирования суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления баклажана при капельном орошении в зависимости от уровня влажности почвы и минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья. Полученные результаты призваны стать научной основой для разработки высокоэффективных, водо- и ресурсосберегающих технологий возделывания данной культуры, обеспечивающих получение стабильных и высоких урожаев при минимизации затрат оросительной воды.

Материалы и методы

Экспериментальную работу осуществляли в период с 2022 по 2024 годы в хозяйстве ООО «Сергиевское», находящемся в Коломенском районе Подмосковья, приблизительно в 10 километрах от города Коломны. Установка системы капельного полива и все необходимые подготовительные мероприятия были проведены в апреле-мае [6].

Основной задачей исследований была оценка различных схем орошения и внесения минеральных удобрений на рост, развитие и урожайность баклажана, выращиваемого под пленочными укрытиями. Исходное предположение базировалось на понимании биологии данной культуры и её отклика на совокупность факторов внешней среды, с особым вниманием к взаимосвязи водного и питательного режимов для усовершенствования агротехнологии.

Опыты проводили по плану, учитывающему два фактора. Фактор А представлял собой режим увлажнения грунта, а фактор В – систему минерального питания. Программа экспериментов состояла из следующих вариантов:

- А1 (контроль): Поддержание уровня влажности почвы перед поливом на отметке 70% НВ в слое 0,4 м (от высадки рассады до цветения) и 0,6 м (от цветения до окончания сбора урожая).
- А2: Поддержание влажности на уровне 80% НВ в аналогичных слоях и временных интервалах.
- А3: Поддержание влажности на уровне 90% НВ.

Опытный участок соответствовал критериям типичности для почвенно-климатических условий Московской области. Опыт проведен в трехкратной повторности. Площадь учетной делянки составила 30 м², повторности – 240 м², общая площадь опыта – 720 м².

Для орошения использована капельная лента NEO-DRIP с эмиттерами шагом 0,4 м и расходом 1,8 л/ч при рабочем давлении 0,6–1,2 атм.

В рамках фактора В (пищевой режим) применялись два варианта:

- В1: внесение минеральных удобрений в дозе N₁₅₀P₉₀K₁₄₀;
- В2: без внесения удобрений (контроль).

Дозы удобрений рассчитаны балансовым методом с учетом планируемой урожайности, химического состава растений, выноса элементов питания и содержания доступных форм азота, фосфора и калия в почве.

Использован сорт баклажана Черный опал. Для достижения поставленных целей и получения надежных данных, пригодных для статистического анализа информации о воздействии капельного орошения и удобрений на водный и питательный режимы грунта, а также на продуктивность баклажана в условиях Московской области, применяли общепринятые методики. Используемые измерительные инструменты прошли необходимую метрологическую проверку, а сбор показаний производили через строго определенные промежутки времени, что минимизировало погрешности и позволило сформировать качественный, однородный массив данных для последующей интерпретации.

Метеорологические параметры (температура, влажность воздуха, осадки) фиксировали автоматической метеостанцией КаiproMini v 2.2.0; скорость и направление ветра – портативным мультимонитором AMTAST AMF035.

Поливные нормы рассчитывали с учетом локальности увлажнения при капельном орошении.

Учет поливной воды проводили по показаниям счетчика-водомера и контролировался по времени подачи воды на орошаемый массив. Влажность почвы контролировали тен-

зиометрами TR 46908 в четырехкратной повторности. Запасы влаги определяли расчетным методом на основе плотности почвы и полевой влажности.

Расчет суммарного водопотребления посевов проводили методом водного баланса, а также по сопутствующим методам определения водопотребления сельскохозяйственных культур. Среднесуточное водопотребление баклажана, а также затраты воды на образование одной тонны урожая определяли расчетным методом.

Все измерения и учеты выполнены с соблюдением методических требований, что обеспечило высокую достоверность и репрезентативность полученных данных [7].

Результаты и обсуждения

В естественных условиях юга Московской области потребность сельскохозяйственных растений в воде покрывается главным образом за счет дождевых осадков, поливной воды, запасов влаги в почве после зимы и продуктивного расхода влаги в течение сезона вегетации.

При выращивании баклажана с капельным орошением исходные запасы влаги в грунте играют незначительную роль в удовлетворении потребностей растений (табл. 1).

Расход почвенной влаги за вегетационный сезон у баклажана не превышал 11,9% от общего водопотребления. Эксперимент не выявил четкой зависимости между объемом используемой растениями почвенной влаги и условиями орошения или уровня подкормки.

Основным источником влаги в почве при культивации баклажана под укрытиями является орошение. В различные по погодным условиям годы исследований доля оросительной воды в общем водопотреблении культуры колебалась от 35,5 до 60,9%. Вторым по важности источником выступали атмосферные осадки, вклад которых составлял от 28,3 до 53,2%. Следовательно, объем осадков и количество поливной воды, а значит, и формирование режима орошения баклажана под укрытиями, в основном определяются динамикой суммарного водопотребления [8].

Результаты опытов продемонстрировали, что улучшение условий влаго- и минерального обеспечения приводит к значительному росту общего водопотребления баклажана (табл. 2). При увеличении допустимого порога снижения влажности почвы с 70% до 90% НВ и применении удобрений в дозе $N_{150}P_{90}K_{140}$, суммарное водопотребление в среднем возрастало с 3297 до 4054 $m^3/га$.

Таблица 1. Основные статьи водного баланса при орошении баклажана капельным способом, $m^3/га$ (с применением минеральных удобрений $N_{150}P_{90}K_{140}$)
Table 1. Main components of the water balance for drip-irrigated eggplants, m^3/ha (with $N_{150}P_{90}K_{140}$ mineral fertilizers)

Уровень предполивной влажности почвы, % НВ	Год исследований	Использовано влаги					
		Оросительная норма		Атмосферные осадки		Почвенные влагозапасы	
		$m^3/га$	%	$m^3/га$	%	$m^3/га$	%
70	2022	1710	55,1	1022	33,0	370	11,9
	2023	1230	37,0	1781	53,6	311	9,4
	2024	1390	43,0	1512	46,8	330	10,2
	Среднее	1443	44,8	1438	44,7	337	10,5
80	2022	2060	59,5	1024	29,6	380	11,0
	2023	1530	42,4	1779	49,3	302	8,4
	2024	1670	46,6	1514	42,2	402	11,2
	Среднее	1753	49,3	1439	40,5	361	10,2
90	2022	2420	65,2	1028	27,7	263	7,1
	2023	1920	49,1	1780	45,5	208	5,3
	2024	2040	54,9	1470	39,6	203	5,5
	Среднее	2127	56,3	1426	37,8	225	5,9

Таблица 2. Суммарное водопотребление баклажана при капельном орошении в зависимости от уровня водного и минерального питания, $m^3/га$
Table 2. Total water consumption of drip-irrigated eggplants as affected by water and mineral nutrition levels, m^3/ha

В зависимости от водного режима почвы								В зависимости от уровня минерального питания				
Доза внесения мин. удобрений, кг д.в./га	Уровень ППВ, %НВ	Год исследований				ΔЕ на каждом фоне режимов орошения		Уровень ППВ, %НВ	Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га	Среднее	ΔЕ на каждом фоне режимов орошения	
		2022	2023	2024	Среднее	$m^3/га$	%				$m^3/га$	%
Без удобрений	70	2636	2824	2812	2757	0	0	70	б/у	2757	0	0
	80	2979	3141	3156	3092	335	12,1		$N_{150}P_{90}K_{140}$	3218	461	16,7
	90	3266	3400	3212	3293	535	19,4	80	б/у	3092	0	0
$N_{150}P_{90}K_{140}$	70	3102	3322	3232	3219	0	0		$N_{150}P_{90}K_{140}$	3553	462	14,9
	80	3464	3611	3586	3554	335	10,4	90	б/у	3292	0	0
	90	3711	3908	3713	3777	559	17,4		$N_{150}P_{90}K_{140}$	3777	485	14,7

Минимальные значения совокупного водопотребления, находившиеся в интервале 2953–3116 м³/га (в среднем 3043 м³/га), отмечали на опытных участках при отсутствии минеральных удобрений и поддержании предполивной влажности почвы на отметке 70% от наименьшей влагоёмкости (НВ). Повышение данного уровня до 80% НВ на неудобренных делянках вызывало увеличение объема используемой воды в среднем до 3297 м³/га, что на 254 м³/га (8,4%) выше показателя для 70% НВ. В условиях дальнейшего роста порога до 90% НВ среднее водопотребление достигало 3601 м³/га, что на 18,3% превышало значение при 70% НВ.

Комбинированное использование минеральных удобрений (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) и оросительных мероприятий, обеспечивающих влажность корнеобитаемого слоя не менее 70% НВ, также обуславливало повышение общего водопотребления, средняя величина которого за период исследований равнялась 3381 м³/га. Установление предполивного порога в 80% НВ на удобренных вариантах опыта способствовало последующему возрастанию данного показателя до 3685 м³/га, что на 303 м³/га (9%) больше, чем в условиях 70% НВ.

При увеличении уровня предполивной влажности грунта до 90% НВ суммарное водопотребление культуры баклажа-

на повышалось в среднем до 4054 м³/га, или на 19,9% относительно вариантов, где в вегетационный сезон допускалось снижение влажности перед орошением до 70% НВ.

Таким образом, увеличение общего водопотребления баклажана обусловлено воздействием как режима орошения, так и интенсивности минерального питания, контролируемого применением удобрений. Данное обстоятельство отражает эффект взаимодействия изучаемых факторов, вносящий свой вклад в интенсификацию водопотребления растениями.

В процессе вегетации водопотребление баклажана характеризуется неравномерностью. От посадки рассады до старта фазы бутонизации на суммарное испарение культура использует не более 386–453 м³/га влаги; в промежуток от бутонизации до начала массового цветения – 644–755 м³/га; от старта цветения до старта плодоношения – 805–944 м³/га; и от начала плодоношения до окончания уборки – 1384–1624 м³/га. Количество потребленной воды в межфазные интервалы развития определяется их длительностью и динамикой затрат влаги на транспирацию и физическое испарение с поверхности грунта, что при комплексной оценке выражается показателем среднесуточного водопотребления.

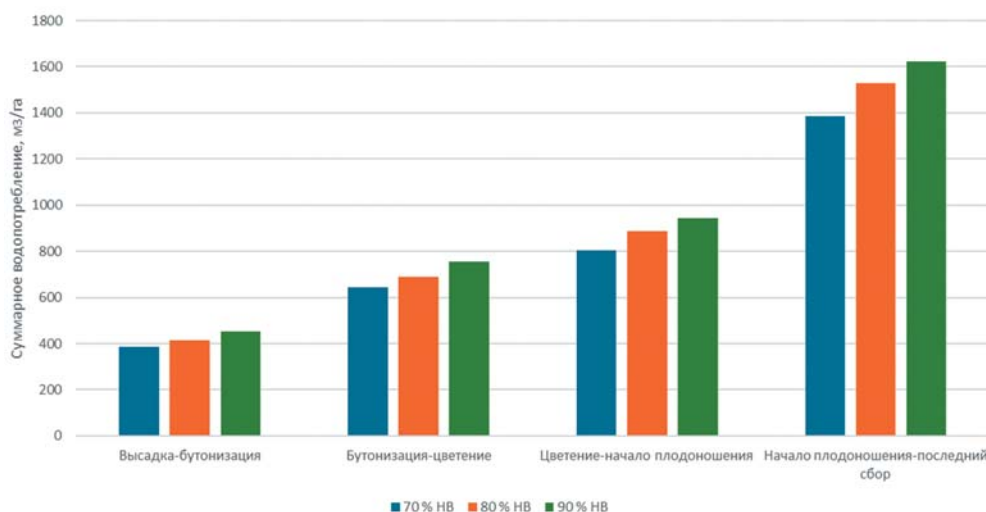


Рис. 1. Водопотребление рассадных баклажана в основные межфазные периоды, м³/га
Fig.1. Water consumption of eggplant seedlings during the principal growth phases, m³/ha

Таблица 3. Интенсивность среднесуточного водопотребления баклажана в основные периоды развития, м³/га в сут.
(с применением минеральных удобрений N₁₅₀P₉₀K₁₄₀)

Table 3. Mean daily water consumption rate of eggplants during the principal development periods, m³/ha/day (with N₁₅₀P₉₀K₁₄₀ mineral fertilizers)

Уровень предполивной влажности почвы, % НВ	Год исследований	Высадка-бутонизация	Бутонизация-цветение	Цветение-начало плодоношения	Начало плодоношения-последний сбор
70	2022	14	30	29	32
	2023	15	33	30	33
	2024	15	32	30	35
	Среднее	15	32	29	33
80	2022	14	30	35	35
	2023	15	34	33	36
	2024	19	36	33	37
	Среднее	16	33	34	36
90	2022	16	34	36	37
	2023	17	39	35	38
	2024	18	37	36	37
	Среднее	17	37	35	37

Изменение среднесуточного водопотребления баклажана описывается одновершинной кривой, что подтверждается экспериментальными данными трёх лет и представлено в соответствующей таблице. Минимальный расход влаги, составлявший 14–19 м³/га в сутки, наблюдался в интервале от высадки рассады до старта бутонизации. Однако в последующей фазе развития отмечался более чем двукратный прирост среднесуточного водопотребления, значения которого по вариантам опыта варьировали, в среднем, от 30 до 39 м³/га в сутки.

В фазы цветения, образования завязей и до первого сбора урожая суточное водопотребление баклажана составляло от 29 до 36 м³/га. В среднем, при поддержании влажности 70% НВ в этот период растения потребляли 29 м³/га/сутки, при 80% НВ — 34 м³/га/сутки, а при 90% НВ — 35 м³/га/сутки.

В промежуток от начала плодоношения до окончания сбора суточный расход воды составлял в среднем 32–38 м³/га, демонстрируя схожие с предыдущим периодом значения.

Исследования подтвердили существенное влияние погодных условий вегетационного сезона на интенсивность водопотребления [9,10]. Например, при поддержании влажности не ниже 80% НВ и внесении полной дозы удобрений (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) среднесуточное потребление воды баклажана составило 28 м³/га в 2022 году, 30 м³/га в 2023 году и 31 м³/га в 2024 году.

Ограниченность ресурсов пресной воды и значительные энергозатраты на её подачу диктуют необходимость оценки эффективности использования водных ресурсов как ключевого критерия результативности оросительных мероприятий для любой сельскохозяйственной культуры [11]. Проведенные изыскания выявили, что коэффициент водопотребления баклажана, отражающий затраты воды на производство единицы урожая, при капельном орошении и различных комбинациях изучаемых факторов колебался в среднем от 80 до 104 м³/т. Оптимизация водного и питательного режимов почвы позволяет достичь экономии воды до 30% на единицу полученной продукции.

Трехлетние наблюдения наглядно демонстрируют выраженную зависимость коэффициента водопотребления баклажана от двух ключевых агротехнических факторов: предполивной влажности почвы, поддерживаемой в активном слое, и уровня минерального питания, задаваемого внесением NPK. Исходные данные свидетельствуют о том, что даже на неудобренном фоне вариация водного режима оказывает статистически значимое воздействие на величину Кв. Так, при повышении уровня ППВ с 70% до 80% НВ на неудобренном фоне средний за три года коэффициент водопотребления снижается с 102 м³/т до 95 м³/т, что в абсолютном выражении составляет экономию 7 м³ воды на производство каждой тонны продукции, а в относитель-

ном – снижение на 6,8%. Дальнейшая интенсификация орошения, выражающаяся в поддержании ППВ на уровне 90% НВ, приводит к дополнительному, еще более существенному, снижению Кв до 92 м³/т. Таким образом, абсолютное снижение относительно фона 70% НВ составляет 10 м³/т, а относительное – 9,8%. Эта динамика однозначно указывает на то, что оптимизация водного режима, а именно поддержание более высоких уровней ППВ вплоть до 90% НВ, способствует значительному повышению эффективности использования влаги растениями баклажана. Физиологически это может быть объяснено устранением даже кратковременных водных дефицитов, негативно сказывающихся на процессах фотосинтеза и транспирации, что в конечном итоге повышает продуктивность использования единицы потребленной воды (таблица 4).

Не менее значимое влияние на величину коэффициента водопотребления оказывает применение минеральных удобрений. Введение в агроценоз дозы N₁₅₀P₉₀K₁₄₀ кг д.в./га на фоне оптимального увлажнения (70% НВ) способствует резкому снижению Кв по сравнению с неудобренным контролем на том же водном фоне – с 102 м³/т до 91 м³/т. Это снижение на 11 м³/т, или 10,8%, является статистически весомым и подтверждает тезис о том, что полноценное минеральное питание является необходимым условием для реализации потенциальной продуктивности не только по урожайности, но и по эффективности водопользования. Растение, обеспеченное всеми необходимыми макроэлементами, формирует более мощную корневую систему и ассимиляционный аппарат, что позволяет более рационально трансформировать поглощенную воду в биомассу и хозяйственно ценный урожай [12]. Однако наиболее репрезентативные данные, раскрывающие системный характер взаимодействия изучаемых факторов, получены при анализе изменения Кв на удобренном фоне при варьировании режимов орошения.

Синергетический эффект от совместного применения оптимизированного водного и минерального режимов проявляется наиболее отчетливо. Анализ данных показывает, что на удобренном фоне (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) градиент снижения Кв при увеличении ППВ с 70% до 80% НВ составляет 7,8 м³/т (8,6%), а при дальнейшем повышении до 90% НВ – 6,8 м³/т (7,5%) относительно Кв на фоне 70% НВ с удобрениями. Важно отметить, что абсолютные значения Кв на удобренном фоне при любом уровне орошения существенно ниже, чем на неудобренном. Ключевой вывод заключается в том, что максимальная эффективность использования водных ресурсов, выражающаяся в минимальном значении коэффициента водопотребления (84 м³/т), достигается исключительно при сочетании двух факторов: интенсивного минерального фона (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) и высокого уровня влагообеспеченности

Таблица 4. Коэффициент водопотребления баклажана при капельном орошении, м³/т
Table 4. Water consumption coefficient of drip-irrigated eggplants, m³/t

Доза внесения мин. удобрений, кг д.в./га	Уровень ППВ, %НВ	В зависимости от водного режима почвы						В зависимости от уровня минерального питания					
		Год исследований				ΔКв на каждом фоне режимов орошения		Уровень ППВ, %НВ	Доза внесения мин. удобрений, кг д.в./га	Среднее	ΔКв на каждом фоне режимов орошения		
		2022	2023	2024	Среднее	м ³ /т	%				м ³ /т	%	
Без удобрений	70	100	104	101	102	0	0	70	б/у	102	0	0	
	80	95	98	92	95	-7	-6,8		N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	91	-11	-10,8	
	90	96	93	87	92	-10	-9,8		б/у	95	0	0	
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	70	91	96	85	91	0	0	80	N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	83	-12	-12,6	
	80	84	84	81	83	-8	-8,8		б/у	92	0	0	
	90	84	87	80	84	-6,8	-7,7		N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	84	-8	-8,7	

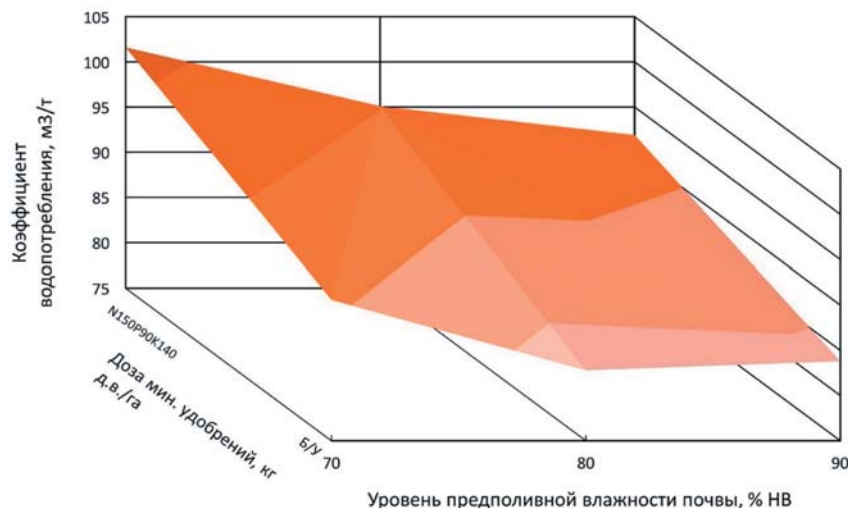


Рис. 2. График зависимости коэффициента водопотребления баклажана от условий водного и минерального питания
Fig. 2. Relationship between the water consumption coefficient of eggplants and their water and mineral nutrition conditions

(90% НВ). Сравнение этого значения с контролем (неудобренный фон, 70% НВ, $K_v = 102 \text{ м}^3/\text{т}$) показывает комплексную экономию в $17,8 \text{ м}^3$ воды на производство каждой тонны урожая, что в относительном выражении составляет 17,5%.

Таким образом, динамика коэффициента водопотребления баклажана при капельном орошении подчиняется четко выраженным закономерностям. Во-первых, установлена обратная зависимость между уровнем влагообеспеченности почвы и величиной K_v : поддержание ППВ на уровне 80-90% НВ является существенным фактором экономии водных ресурсов по сравнению с традиционным режимом в 70% НВ даже без изменения фона питания [13]. Во-вторых, доказано самостоятельное и мощное влияние сбалансированного минерального питания, которое за счет повышения урожайности и улучшения физиологического состояния растений позволяет значительно снизить расход воды на единицу полученной продукции. В-третьих, и это наиболее важно, выявлен выраженный синергетический эффект от совместного применения интенсивного водного и минерального режимов. Комбинация высоких уровней обоих факторов не просто суммирует их положительные эффекты, но и приводит к синергии, обеспечивая наивысшую эффективность водопользования. Полученные результаты являются серьезным научным обоснованием для перехода к ресурсосберегающим агротехнологиям возделывания баклажана в условиях Подмосковья, основанным на интегрированном управлении водным и питательным режимами почвы, что позволяет получать высокие и стабильные урожаи при минимальных затратах поливной воды.

Заключение

Проведенные многолетние полевые исследования позволили установить количественные закономерности формирования суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления (K_v) баклажана при капельном орошении в зависимости от уровней предполивной влажности почвы (ППВ) и минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья.

Установлено, что основными составляющими водного баланса при возделывании баклажана в условиях тоннельных укрытий являются оросительная норма (35,5–65,2%) и атмосферные осадки (27,7–53,2%), в то время как доля почвенных влагозапасов не превышает 11,9%. Показано, что увеличение уровня ППВ с 70% до 90% НВ приводит к статистически значимому росту суммарного водопотребления культуры. На удобренном фоне ($N_{150}P_{90}K_{140}$) данный рост

составил с 2757 до 3777 $\text{м}^3/\text{га}$. Динамика среднесуточного водопотребления характеризуется одновершинной кривой с максимумом в критический по водопотреблению период – фазы бутонизации–плодоношения (29–39 $\text{м}^3/\text{га}$ в сут.).

Ключевым результатом работы является выявление значительного влияния оптимизации водного и минерального режимов на эффективность водопользования, оцениваемую через коэффициент водопотребления [14,15]. Установлено, что коэффициент водопотребления баклажана варьировал в широких пределах – от 80 до 104 $\text{м}^3/\text{т}$. Поддержание ППВ на уровне 90% НВ на неудобренном фоне способствовало снижению K_v на 9,5% (до 92 $\text{м}^3/\text{т}$) по сравнению с вариантом 70% НВ. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{90}K_{140}$ на фоне ППВ 70% НВ обеспечило снижение K_v на 10,8% (до 91 $\text{м}^3/\text{т}$) относительно неудобренного контроля при том же водном режиме.

Наибольшая эффективность использования водных ресурсов (минимальное значение $K_v = 84 \text{ м}^3/\text{т}$) достигнута при сочетании интенсивного минерального фона ($N_{150}P_{90}K_{140}$) и высокого уровня влагообеспеченности (90% НВ). Данный агротехнический прием обеспечил экономию водных ресурсов в расчете на единицу продукции в размере 17,5% по сравнению с контролем. Выявлен выраженный синергетический эффект от совместного применения оптимизированных водного и питательного режимов, который проявляется не в простом суммировании положительных влияний каждого фактора, а в их взаимном усилении, приводящем к значительному повышению продуктивности воды [16].

Таким образом, результаты исследований убедительно доказывают, что переход к ресурсосберегающим агротехнологиям возделывания баклажана в условиях Центрального Нечерноземья должен базироваться на интегрированном управлении водным и минеральным режимами почвы. Рекомендуется поддерживать предполивную влажность почвы в активном слое на уровне не ниже 80–90% НВ в сочетании с внесением сбалансированных доз минеральных удобрений ($N_{150}P_{90}K_{140}$). Это позволяет не только получать стабильно высокие урожаи, но и существенно повышать эффективность использования дефицитных водных ресурсов, что имеет важное значение для устойчивого развития овощеводства в условиях возрастающей климатической изменчивости [17,18].

Полученные данные являются научным обоснованием для разработки практических рекомендаций по режимам капельного орошения и минерального питания баклажана, направленных на ресурсосбережение и экологизацию производства в регионе [19].

• Литература

1. Дубенок Н.Н., Лебедев Д.А. Совершенствование агротехнологических приемов для выращивания ранних баклажан в тоннельных укрытиях при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2025;17(1):29-36. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.38.85.005>
<https://elibrary.ru/bhaidc>
2. Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Ищенко О.С., Сабра Х. Водный режим орошаемых земель в условиях дефицита естественного увлажнения на примере свёклы сахарной. Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы IV Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 24–26 апреля 2023 года. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. С. 49-54. <https://elibrary.ru/lqwpij>
3. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Янченко А.В. [и др.] Капельное орошение овощных культур. *Картофель и овощи*. 2025;(4):31-37. <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.56.30.005>
<https://elibrary.ru/kwvgtg>
4. Курбанов С.А., Магомедова Д.С., Сулейманов М.С. Капельное орошение: итоги и перспективы. Абдулбасировские чтения: Материалы II Республиканской научно-практической конференции, Махачкала, 09 ноября 2023 года. Махачкала: ИП "Магомедалиев С.А.", 2023. С. 107-113. <https://elibrary.ru/kfyidk>
5. Енгальчев Д.И., Меньших А.М., Енгальчева Н.А. Применение капельного орошения и минеральных удобрений при выращивании томата в условиях Нечерноземной зоны. *Орошаемое земледелие*. 2017;(4):15-16. <https://elibrary.ru/nshidz>
6. Дубенок Н.Н. Водно-энергосберегающие режимы на мелиорированных землях – основа повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного производства. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2023;(65):35-40. <https://elibrary.ru/igogom>
7. Ольгаренко И.В., Ольгаренко В.И., Ольгаренко О.Н. Эмпирические параметры расчёта суммарного испарения с учётом изменчивости гидрометеорологических условий. *Мелиорация и водное хозяйство*: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения) с международным участием, Новочеркасск, 06–23 ноября 2018 года. Вып. 16. Ч.1. Новочеркасск: ООО "Лик", 2018. С. 100-104. <https://elibrary.ru/yuchtn>
8. Мухортова Т.В., Полухина Е.В., Власенко М.В. Влияние уровня водопотребления и минерального питания в условиях капельного орошения на продуктивность разных сортов баклажан. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2015;1(37):81-84. <https://elibrary.ru/tomqtt>
9. Курбанов С.А., Магомедова Д.С., Курбанова Л.Г., Келеметова З.Ш. Водопотребление столовой моркови при капельном орошении в зависимости от периодов посева. Экологические проблемы сельского хозяйства и научно-практические пути их решения: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Махачкала, 05–06 июня 2017 года. Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, 2017. С. 40-45. <https://elibrary.ru/zgkshd>
10. Кружилин И.П., Ганиев М.А., Кузнецова Н.В., Родин К.А. Динамика суммарного водопотребления и урожайность периодически увлажняемого риса при дождевании и капельном поливе в Волгоградской области. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018;3(51):34-42. <https://elibrary.ru/yqtcmx>
11. Ольгаренко И.В., Эфендиев М.С. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов. Мелиорация и водное хозяйство: материалы научно-практической конференции, Новочеркасск, 24–25 ноября 2016 года. Том Выпуск 14. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2016. С. 50-53. <https://elibrary.ru/yofpxd>
12. Кизяев Б.М., Бородычев В.В. Эффективность минерального питания овощных культур при капельном орошении. *Плодородие*. 2016;5(92):18-21. <https://elibrary.ru/wwwrvxt>
13. Zhatkanbayeva A., Shokimova Zh., Nuruly Zh. Investigation of the coefficient of water consumption of pepper and eggplant in different irrigation methods. *3i intellect idea innovation*. 2024;(1):37-44. https://doi.org/10.52269/22266070_2024_1_37
14. Коржов В.И., Ольгаренко И.В., Коржова Т.В. Проблемы водораспределения на оросительных системах в условиях использования капельного орошения. Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), Новочеркасск, 07–24 ноября 2017 года. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Корунова. Вып. 15. Ч. 1. Новочеркасск: ООО "Лик", 2017. С. 80-85. <https://elibrary.ru/qjckah>
15. Aujla M.S., Thind H.s., Buttar G. Fruit Yield and Water Use Efficiency of Eggplant (*Solanum Melongema* L.) as Influenced by Different Quantities of Nitrogen and Water Applied through Drip and Furrow Irrigation. *Scientia Horticulturae*. 2007;(112):142-148. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.020>
16. Магомедова Д.С., Курбанов С.А., Шабанова М.Ш. Комплексное действие удобрений и капельного орошения на урожайность баклажана. *Овощи России*. 2021;(2):67-70. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-67-70>
<https://elibrary.ru/jkiufo>
17. Клевцова В.К., Ольгаренко И.В., Матвиенко Г.О. Обоснование динамики суммарного водопотребления капусты поздней в условиях полузасушливой степной зоны Ростовской области. Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), Новочеркасск, 07–24 ноября 2017 года. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Корунова. Вып. 15. Ч. 1. Новочеркасск: ООО "Лик", 2017. С. 60-65. <https://elibrary.ru/tbylqi>
18. Пчелкин В.В., Владимиров С.О., Кузина О.М. Водопотребление кормовых культур в нечерноземной зоне России. *Научная жизнь*. 2022;(85-2). <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2020-15-9-1186-1194>
<https://elibrary.ru/slyxfw>
19. Douh B., Boujelben A. Water saving and eggplant response to sub-surface drip irrigation. *Agricultural Segment*. 2010;(1):1.

• References

1. Dubenok N.N., Lebedev D.A. Improvement of agrotechnical methods for growing early eggplants in tunnel shelters under drip irrigation in the conditions of the central Non-Chernozem zone. *Vestnik of the Ryzan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2025;17(1):29-36. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.38.85.005>
<https://elibrary.ru/bhaidc> (In Russ.)
2. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Ishchenko O.S., Sabra H. Water regime of irrigated lands under conditions of natural moisture deficit on the example of sugar beet. In: *Melioration as a driver of agricultural*

- modernization in the context of climate change: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Internet Conference, Novochoerkassk, April 24–26, 2023. Novochoerkassk: Lik LLC; 2023. p. 49-54. <https://elibrary.ru/lqwpjl> (In Russ.)
3. Fedosov A.Y., Men'shikh A.M., Yanchenko A.V., et al. Drip irrigation of vegetable crops. *Potato and Vegetables*. 2025;(4):31-37. <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.56.30.005> <https://elibrary.ru/kwvgtg> (In Russ.)
4. Kurbanov S.A., Magomedova D.S., Suleymanov M.S. Drip irrigation: results and prospects. In: Abdulbasirov Readings: Proceedings of the II Republican Scientific and Practical Conference, Makhachkala, November 09, 2023. Makhachkala: Magomedaliev SA IP; 2023. p. 107-113. <https://elibrary.ru/kfyidk> (In Russ.)
5. Engalychev D.I., Men'shikh A.M., Engalycheva N.A. Application of drip irrigation and mineral fertilizers in the cultivation of tomatoes in the Non-Chernozem zone. *Irrigated Agriculture*. 2017;(4):15-16. <https://elibrary.ru/nshidz> (In Russ.)
6. Dubenok N.N. Water and energy saving regimes on reclaimed lands as a basis for increasing the competitiveness of agricultural production. *Izvestia of the International Academy of Agricultural Education*. 2023;(65):35-40. <https://elibrary.ru/igogom> (In Russ.)
7. Olgarenko I.V., Olgarenko V.I., Olgarenko O.N. Empirical parameters for calculating total evaporation taking into account the variability of hydrometeorological conditions. In: Land Reclamation and Water Management: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov Readings) with international participation, Novochoerkassk, November 06–23, 2018. Vol. 16. Part 1. Novochoerkassk: Lik LLC; 2018. p. 100-104. (In Russ.) <https://elibrary.ru/yuchtn>
8. Mukhortova T.V., Polukhina E.V., Vlasenko M.V. Influence of water consumption level and mineral nutrition under drip irrigation on the productivity of different eggplant varieties. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2015;1(37):81-84. <https://elibrary.ru/tomqtt> (In Russ.)
9. Kurbanov S.A., Magomedova D.S., Kurbanova L.G., Kelemetova Z.Sh. Water consumption of table carrots under drip irrigation depending on sowing periods. In: Environmental Problems of Agriculture and Scientific-Practical Ways to Solve Them: collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference, Makhachkala, June 05–06, 2017. Makhachkala: Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhabulatov; 2017. p. 40-45. (In Russ.) <https://elibrary.ru/zgkshd>
10. Kruzhilin I.P., Ganiev M.A., Kuznetsova N.V., Rodin K.A. Dynamics of total water consumption and yield of periodically moistened rice under sprinkling and drip irrigation in the Volgograd region. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2018;3(51):34-42. <https://elibrary.ru/yqtcmx> (In Russ.)
11. Olgarenko I.V., Efendiev M.S. Total water consumption of agricultural crops under conditions of water resources deficit. In: Land Reclamation and Water Management: proceedings of the scientific-practical conference, Novochoerkassk, November 24–25, 2016. Vol. 14. Novochoerkassk: Lik LLC; 2016. p. 50-53. (In Russ.) <https://elibrary.ru/yofpxd>
12. Kizyaev B.M., Borodychev V.V. Effectiveness of mineral nutrition of vegetable crops under drip irrigation. *Plodorodie*. 2016;5(92):18-21. <https://elibrary.ru/wrvvxt> (In Russ.)
13. Zhatkanbayeva A., Shokimova Zh., Nuraly Zh. Investigation of the coefficient of water consumption of pepper and eggplant in different irrigation methods. *3i intellect idea innovation*. 2024;(1):37-44. https://doi.org/10.52269/22266070_2024_1_37
14. Korzhov V.I., Olgarenko I.V., Korzhova T.V. Problems of water distribution in irrigation systems under conditions of drip irrigation use. In: Land Reclamation and Water Management. Ways to improve the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov Readings), Novochoerkassk, November 07–24, 2017. Novochoerkassk: Novochoerkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov. Vol. 15, Part 1. Novochoerkassk: Lik LLC; 2017. p. 80-85. <https://elibrary.ru/qjckah> (In Russ.)
15. Aujla M.S., Thind H.s., Buttar G. Fruit Yield and Water Use Efficiency of Eggplant (*Solanum Melongema* L.) as Influenced by Different Quantities of Nitrogen and Water Applied through Drip and Furrow Irrigation. *Scientia Horticulturae*. 2007;(112):142-148. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.020>
16. Magomedova D.S., Kurbanov S.A., Shabanova M.Sh. Complex effect of fertilizers and drip irrigation eggplant yield. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(2):67-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-67-70> <https://elibrary.ru/jkiufo>
17. Klevtsova V.K., Olgarenko I.V., Matvienko G.O. Substantiation of the dynamics of total water consumption of late cabbage in the conditions of the semi-arid steppe zone of the Rostov region. In: Land Reclamation and Water Management. Ways to improve the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov Readings), Novochoerkassk, November 07–24, 2017. Novochoerkassk: Novochoerkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov. Vol. 15, Part 1. Novochoerkassk: Lik LLC; 2017. p. 60-65. (In Russ.) <https://elibrary.ru/tbylqi>
18. Pchelkin V.V., Vladimirov S.O., Kuzina O.M. Water consumption of forage crops in the non-chernozem zone of Russia. *Scientific life*. 2022;(85-2). <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2020-15-9-1186-1194> <https://elibrary.ru/slyxfw> (In Russ.)
19. Douh B., Boujelben A. Water saving and eggplant response to sub-surface drip irrigation. *Agricultural Segment*. 2010;(1):1.

Об авторах:

Николай Николаевич Дубенок – академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, зав. каф. Сельскохозяйственных мелиораций РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>, SPIN-код: 1856-9793, ndubenok@mail.ru

Денис Андреевич Лебедев – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0009-0004-0983-1318>, SPIN-код: 9753-5647, автор для переписки, denislebedev992@gmail.com

Александр Владимирович Гемонов – доктор с.-х. наук, доцент кафедры Сельскохозяйственных мелиораций РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0002-2561-8179>, SPIN-код: 3293-5840, agemonov@yandex.ru

About the Authors:

Nikolay N. Dubenok – Academician of the RAS, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Agricultural Melioration, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>, SPIN-code: 1856-9793, ndubenok@rgau-msha.ru

Denis A. Lebedev – Junior Researcher, <https://orcid.org/0009-0004-0983-1318>, SPIN-code: 9753-5647, Corresponding Author, denislebedev992@gmail.com

Alexander V. Gemonov – Dr. Sci. (Agriculture), Assistant Professor of the Department of Agricultural Melioration Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, <https://orcid.org/0000-0002-2561-8179>, SPIN-code: 3293-5840, agemonov@yandex.ru