

Капельное орошение овощных культур

Drip irrigation of vegetable crops

Федосов А.Ю., Меньших А.М., Янченко А.В.,
Иванова М.И., Еременко А.Н.

Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Yanchenko A.V.,
Ivanova M.I., Eremenko A.N.

Аннотация

Нехватка пресноводных ресурсов остается мировой проблемой, которая усугубляется ростом населения Земли и изменением климата, вызванным глобальным потеплением. Несмотря на значительные запасы водных ресурсов, которыми располагает Россия, в целом ряде регионов страны наблюдается их дефицит. Неравномерное распределение стока и осадков по сезонам года, а также от года к году особенно сильно сказывается в засушливых районах страны. Для решения этой проблемы овощеводческий сектор потребления воды принял ряд мер, среди которых – внедрение схем капельного орошения. В России оборудование для капельного орошения в основном используется для товарных культур, таких как плодовые и овощные. Основные цели капельного орошения: сокращение дефицита воды вблизи корневой зоны, уменьшение испарения и сокращение потребления воды. Область применения капельного орошения становится все шире. Обобщаются эффекты технологии капельного орошения на рост и развитие растений, качество, урожайность и эффективность использования воды. Представлен обзор технологии капельного орошения на развитие корневой системы овощных культур и усвоение азота. Технология капельного орошения эффективна для улучшения роста овощных культур, повышения эффективности использования воды и сокращения ее дефицита, а также снижения вымывания удобрений и засоления почвы, что делает ее идеальным решением проблемы нехватки пресной воды во всем мире. Несмотря на многочисленные преимущества технологии капельного орошения, высокие первоначальные затраты на установку и обслуживание, переменное качество воды, ограниченные технические знания и поддержка внедрения, а также институциональные барьеры, такие как политика и правила управления водными ресурсами, ограничивают ее широкое распространение в овощеводстве.

Ключевые слова: капельное орошение; овощные культуры; урожайность; качество; продуктивность воды.

Для цитирования: Капельное орошение овощных культур / А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, А.В. Янченко, М.И. Иванова, А.Н. Еременко // Картофель и овощи. 2025. №4. С. 31-37. <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.56.30.005>

Россия, наряду с Бразилией, Канадой, США, Китаем и Индией, входит в число стран с наибольшим речным стоком и обладает более 20% мировых ресурсов пресной воды (без учета ледников и подземных вод). По водообеспеченности на душу населения среди шести стран мира с наибольшим речным стоком Россия находится на третьем месте после Бразилии и Канады. На одного жителя нашей страны приходится около 30 тыс. м³ речного стока в год. Это примерно в 5,5 раза больше среднемирового уровня, в 2,5 раза больше, чем в США, и в 14 раз больше, чем в Китае. Несмотря на значительные запасы водных ресурсов, кото-

Abstract

The shortage of freshwater resources is a global problem, which is aggravated by the world's population growth and climate change caused by global warming. Despite the significant reserves of water resources that Russia has, a number of regions of the country are experiencing a deficit. Uneven distribution of runoff and precipitation by seasons of the year, as well as from year to year, is especially noticeable in arid regions of the country. To solve this problem, the vegetable sector of water consumption has adopted a number of measures called drip irrigation schemes. In Russia, drip irrigation equipment is mainly used for commercial crops such as fruit and vegetable crops. The main goals of drip irrigation are to reduce water deficit near the root zone, reduce evaporation and reduce water consumption. The scope of application of drip irrigation is becoming wider. The effects of drip irrigation technology on plant growth and development, quality, yield, and water use efficiency are summarized. An overview of drip irrigation technology on root development and nitrogen uptake in vegetable crops is presented. Drip irrigation technology is effective in improving vegetable crop growth, increasing water use efficiency, and reducing water stress, as well as reducing fertilizer leaching and soil salinity, making it an ideal solution to address the global shortage of freshwater. Despite the numerous advantages of drip irrigation technology, high initial installation and maintenance costs, variable water quality, limited technical knowledge and implementation support, and institutional barriers such as water management policies and regulations have limited its widespread adoption in vegetable production.

Key words: drip irrigation; vegetable crops; yield; quality; water productivity.

For citing: Drip irrigation of vegetable crops. A.Yu. Fedosov, A.M. Menshikh, A.V. Yanchenko, M.I. Ivanova, A.N. Eremenko Potato and vegetables. 2025. No4. Pp. 31-37. <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.56.30.005> (In Russ.).

рыми располагает Россия, в целом ряде регионов страны наблюдается их дефицит. При этом ограниченные водные ресурсы имеют наиболее густонаселенные округа – Приволжский, Центральный, Южный и Северо-Кавказский. К регионам, в которых проблемы с водой стоят наиболее остро, относятся Крым, Калмыкия, Краснодарский и Ставропольский края, Астраханская, Ростовская, Волгоградская, Курганская и Оренбургская области. На южные и юго-западные районы страны (бассейны Черного, Азовского и Каспийского морей), где сосредоточено 75% населения и 80% промышленности и с.-х. производства, приходится все-

го 16% стока поверхностных вод. При этом на европейскую часть страны (сток рек южного склона: Волга, Урал, Дон, Кубань, Терек и др.) приходится чуть более 12%. Другим природным фактором, вызывающим проблемы с обеспеченностью водными ресурсами, является неравномерное распределение стока по сезонам года, а также от года к году. Это особенно сильно сказывается в засушливых районах страны, где сток рек в маловодные годы может составлять всего 3-4% от стока в средний по водности год и 1% от стока в многоводный год [1].

Овощи являются важными составляющими российского сельского хозяйства и продовольственной безопасности населения. Российская Федерация, несомненно, имеет разнообразные агроклиматические условия с различными сезонами, которые благоприятствуют выращиванию широкого спектра овощей и предлагают большой потенциал для повышения их производства за счет внедрения инновационных технологий.

Несмотря на крупнейшую ирригационную сеть в России, эффективность орошения составляет всего 40%, а эффективность использования воды и питательных веществ очень низкая. Кроме того, привлечение большего количества площадей под орошение будет во многом зависеть от эффективного использования воды и других ресурсов. В этом контексте микроорошение с фертигацией, особенно овощных культур, оказалось беспроектной технологией в повышении эффективности использования воды и питательных веществ и, в свою очередь, более высокого потенциала урожайности, тем самым достигая главной цели «больше урожая на каплю». Технология обеспечивает точный контроль воды, растворенные удобрения, возможности внесения и, таким образом, более устойчива и экономически эффективна. Более того, мульчирование вместе с капельным орошением и фертигацией добавляет преимуществ этой технологии, контролируя популяцию сорняков и увеличивая общую эффективность системы. Мульчирование изолирует почву, обеспечивает буфер от холода и жары, уменьшает ухудшение и эрозию почвы, а также контролирует испарение воды. Практика капельного орошения сама по себе или в сочетании с мульчированием предлагает огромный потенциал для повышения урожайности, качества, роста, экономии воды и питательных веществ по сравнению с другими традиционными инструментами орошения и удобрения [2, 3].

Цель исследования – предоставить систематический обзор литературы по капельному орошению, проанализировав ее основные агрономические эффекты на овощные культуры и ее чувствительность к водному стрессу, не забывая при этом о существенной роли этой технологии орошения в сохранении устойчивого развития окружающей среды.

Источники для составления этого обзора были взяты из исследовательских или обзорных статей и глав книг, опубликованных в журналах (индексированных SCOPUS, Web of Science, SCIE и ESCI) или издательствами (например, Elsevier). Сначала был создан пул литературы из всех соответствующих работ, связанных с областью обзора из отечественных авторитетных источников, таких как Elibrary.ru,

КиберЛенинка, Библиотека РФФИ, Академия Google, PsyJournals и т.д.

Орошаемое земледелие потребляет 70 % водных ресурсов. Орошение — это техническая мера, используемая для пополнения воды, необходимой для роста и развития растений, и адекватное водоснабжение имеет решающее значение для нормального роста сельскохозяйственных культур и высоких и стабильных урожаев. Традиционные методы орошения не только приводят к чрезмерному поливу, но и повышают риск загрязнения грунтовых вод из-за выщелачивания химикатов и питательных веществ из корневой зоны сельскохозяйственных культур, что способствует истощению ресурсов пресной воды. В настоящее время для удовлетворения спроса на продовольствие и минимизации использования ресурсов критически важно внедрять передовые сельскохозяйственные технологии и подходы к управлению для повышения производительности на единицу площади [4].

Учитывая растущие потребности в продовольствии и питании растущего населения, значительная часть сельскохозяйственных исследований сосредоточена на повышении эффективности использования воды (WUE) и сохранении воды без потерь урожайности. Учитывая сложность увеличения WUE посредством селекции из-за компромисса между фотосинтезом и транспирацией, необходимы оптимизированные агрономические приемы.

Дефицитное орошение (DI) — это прямой подход к экономии воды, заключающийся в сокращении полива для повышения продуктивности воды (WP). Регулируемое дефицитное орошение (RDI) и частичное осушение корневой зоны (PRD) — два широко используемых метода планирования DI наряду с классическим подходом DI. В RDI орошение либо полностью прекращается, либо применяется ограниченное количество воды во время относительно менее чувствительной к воде стадии роста культуры. PRD попеременно подвергает корни растений циклам увлажнения и высыхания, в которых половина корневой зоны подвергается водному стрессу. Подход DI был широко изучен на нескольких видах культур, включая овощи, подвергая культуры различным уровням водного стресса. Из-за неглубокой корневой системы и реализации овощной продукции в свежем виде овощные культуры относительно более чувствительны к дефициту влаги, чем полевые культуры. Следовательно, для большинства овощных культур DI часто ассоциируется с потерями урожайности и качества. Тем не менее, небольшой объем доказательств указывает на то, что овощи могут адаптироваться к определенным уровням дефицита воды, производя статистически схожие урожаи, как при полном орошении (FI) [3]. Следовательно, объединение и анализ эффектов урожайности и качества из этих исследований в едином масштабе могут потенциально привести к более надежным выводам.

Капельное орошение — это точная с.-х. технология, в которой сначала рассчитывается количество удобрений и воды, необходимых для культуры на разных стадиях, на основе принципа баланса питательных веществ и воды в почве. Затем используется система точного капельного орошения для поэтапной доставки удобрений в корневую зону растений. В сочетании с мульчированием

эта технология улучшает использование удобрений и снижает потребление воды. Во время работы система под определенным давлением, после фильтрации через трубопроводную сеть и выпускную трубку (ленту), медленно и равномерно подает воду в почву около корней растений. Система капельного орошения обычно включает в себя проектирование с учетом источника воды, головной гидроузел с системой фильтрации, трубопроводы подачи и распределения воды и эмитеры. Среди всех компонентов эмитер играет важнейшую роль в системе капельного орошения. Его основная функция — рассеивать энергию давления воды через сложную внутреннюю структуру канала потока, обеспечивая стабильную и равномерную подачу воды к растениям. Однако из-за узкого размера канала рассеивания энергии (всего 0,5–1,2 мм) он подвержен закупорке примесями, присутствующими в источнике воды. Эта закупорка может негативно повлиять на равномерность полива и сократить срок службы системы капельного орошения, а иногда и потребовать ее замены. Как правило для того, чтобы гарантировать, что эмитеры не засорятся и продлить срок службы систем капельного орошения, обычно устанавливаются фильтры и устройства обратной промывки. Поэтому сетчатый или дисковый фильтры считаются обязательным элементом технологии капельного орошения. Иногда используются засыпные песчано-гравийные фильтры. Помимо фильтров, неотъемлемыми компонентами систем капельного орошения являются устройства для добавления в поливную воду удобрений и пестицидов. Эти устройства обычно включают в себя резервуары для удобрений, трубки (инжекторы) удобрений Вентури и дозирующие насосы для удобрений, которые широко используются во всем мире.

Капельное орошение в настоящее время является наиболее широко используемой технологией орошения благодаря своим многочисленным преимуществам. Основные особенности этой технологии включают в себя: (1) одновременную подачу воды и удобрений, используя синергию между ними; (2) прямое внесение удобрений в зону корневой системы, что уменьшает площадь контакта между удобрением и почвой и, таким образом, уменьшает фиксацию питательных веществ удобрения почвой, облегчая поглощение питательных веществ корнями и поддерживая более высокую концентрацию элементов в почвенном растворе по сравнению с традиционным внесением; (3) внесение воды и удобрений в течение всех этапов вегетации, поддержание относительно стабильной среды для роста корней; и (4) гибкая регулировка типа, пропорции и количества поставляемых питательных веществ в соответствии с климатом, характеристиками почвы и потребностями в питании овощных культур на разных стадиях роста и развития. Поскольку устойчивое сельское хозяйство всегда актуально, применение этой технологии становится все более распространенным.

В случае нехватки воды капельное орошение может экономить воду и обеспечивать урожайность культуры сравнимую с поливом затоплением, пограничным орошением, орошением по бороздам, дождеванием и микродождеванием. Когда водных ресурсов достаточно и объем капельного орошения больше (100–120 %), то ка-

пельное орошение значительно увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур на 28,92 %, 14,55 %, 8,03 %, 2,32 % и 5,17 % по сравнению с затоплением, пограничным орошением, орошением по бороздам, дождеванием и микродождеванием соответственно. Более того, исследователи обнаружили, что капельное орошение может снизить выщелачивание удобрений и засоление почвы [5].

Еще одной проблемой орошаемого земледелия является чрезмерное использование удобрений, что влечет за собой агрономические, экологические и рентабельные риски. Избыточное поступление питательных веществ может нанести вред посевам и вызвать деградацию почвы и загрязнение водоносного горизонта. Более того, цены на удобрения резко выросли за последние годы из-за нехватки сырья.

Для решения текущего кризиса нехватки пресной воды и удобрений крайне важно, чтобы ответственные за полив внедряли ресурсоэффективные системы. Напорные (капельные и дождевальные) системы орошения обеспечивают более высокую однородность и меньшие потери, чем традиционные (гравитационные) поверхностные методы. В частности, современные системы капельного орошения можно адаптировать для оптимизации фертигации в широком спектре климатических и почвенных условий. Их эффективность можно максимально повысить, используя высокотехнологичные оросительные устройства и капельницы нового поколения (самокомпенсирующиеся, подземные), датчики мониторинга почвы и растений, устройства контроля времени и объема полива, а также беспроводные системы связи и сбора данных.

Однако подавляющее большинство систем капельного орошения остаются в определенной степени «рудиментарными» из-за низкого уровня внедрения технологий и инструментов фермерами. Интеллектуальные системы по-прежнему должны стать более доступными и удобными для фермеров, чтобы повысить их внедрение. Расчет дозы удобрения и времени полива обычно основывается на опыте фермера и имеющейся документации. Фермеры в основном используют: (1) методы оценки эвапотранспирации культур, (2) рекомендации по потребности в питательных веществах из литературы, (3) некоторые датчики почвы и растений и (4) контроллеры pH и ЕС в оросительных головках. Мониторинг часто охватывает только основные параметры, поэтому, вероятно, будут возникать эпизоды дефицита или избытка питательных веществ, особенно при использовании оросительной воды переменного качества.

Интеграция современных интеллектуальных инструментов может помочь оптимизировать процессы фертигации и даже адаптировать дозировку в реальном времени к оросительным водам с изменяющимся составом. В литературе можно найти несколько инструментов для управления внесением удобрений (фертигацией) в почвенные и беспочвенные (защищенный грунт) культуры [6]. Многие такие инструменты рассчитывают оптимальную комбинацию удобрений для удовлетворения потребностей в питании [7], а некоторые из них также могут обеспечить наиболее экономически эффективный вариант фертигации [8] с учетом климата, почвенных условий, типа культуры.

Система фертигации с помощью капельного орошения широко признана передовой технологией производства. Эта система позволяет эффективно и часто доставлять воду и удобрения в корневую зону овощных культур через эмитеры или капельницы. Очевидно, что по сравнению с другими методами орошения капельное орошение более эффективно с точки зрения производительности единицы воды, поскольку оно снижает потери воды из-за просачивания и испарения. Кроме того, оно позволяет лучше управлять удобрениями и более эффективно распределять питательные вещества, что приводит к снижению стресса растений, более ранним урожаям, лучшему качеству урожая и повышению однородности урожая [9]. Повышение продуктивности овощных культур косвенно приводит к сохранению водных ресурсов, а повышение продуктивности воды является эффективной стратегией для предотвращения потребления невозобновляемых водных ресурсов. Внедрение капельного орошения, несомненно, привело к революционным преимуществам.

Технология капельного орошения претерпела значительные усовершенствования, что привело к развитию субмембранного капельного орошения, подповерхностного капельного орошения, аэрируемого капельного орошения и других технологий орошения. Технология субмембранного капельного орошения объединяет преимущества технологии мульчирования и капельного орошения, которая может эффективно защищать структуру почвы и улучшать физические и химические свойства почвы. Она сохраняет влажность почвы, уменьшает испарение и экономит воду и удобрения, а также увеличивает урожайность и оптимизирует качество продукции, уменьшая объемы внесения вредных для здоровья пестицидов, выщелачивание удобрений и чрезмерное использование питательных элементов [10]. Подпочвенное капельное орошение — еще одна новая технология капельного орошения, которая доставляет воду и жидкие удобрения в корневую зону овощных культур через систему трубопроводов капельного орошения, проложенную ниже поверхностного слоя. Этот метод может эффективно уменьшить глубокую инфильтрацию и испарение почвы, повысить эффективность использования воды, сэкономить трудозатраты и улучшить эффективность эксплуатации и управления [11]. Аэрированное капельное орошение основано на подпочвенном капельном орошении, при этом посредством внешних сил нагнетается воздух, который проталкивается в корневую почву овощных культур, оптимизируя аэрацию сельскохозяйственных культур и эффективность использования воды. Эта технология в основном используется для тепличных овощей, таких как томат, огурец, капуста китайская, перец и арбуз. Урожайность и эффективность использования воды овощными культурами увеличились на 3,6~66,4 и 5,9~60,0 % соответственно после аэрации подпочвенным капельным орошением [12].

Правильное сочетание систем орошения и удобрения при капельном орошении может улучшить содержание витамина С, водорастворимого сахара и растворимых сухих веществ, а также соотношение сахаров и кислоты в таких культурах, как перец, дыня, томат и огурец [13, 14] По сравнению с пограничным орошением и дождеванием,

растворимые сухие вещества в верхней и средней частях дайкона увеличились на 19,38 % и 6,70 % и на 19,13 % и 7,20 % соответственно при капельном орошении [15]. По сравнению с поверхностным капельным орошением, подземное капельное орошение снизило содержание растворимого сахара в зеленом перце на 3,22–7,36 % [16]. На основе регулирования воды и удобрений аэрированное орошение может дополнительно улучшить качество овощей, например, увеличить соотношение кислоты и сахара в арбузе на 11,2-54,4 % и содержание витамина С и растворимого сухого вещества в томате на 10,4-44,0 и 1,0–3,9 % соответственно [12, 17].

При тех же условиях удобрения и орошения капельное орошение может эффективно повышать урожайность. Системы обеспечивают эффективность орошения до 90%.

В равнинной орошаемой зоне Дагестана переход на капельное орошение позволяет повысить урожайность томата на 10,1 т/га при высоком качестве плодов. Комплексное сочетание отвальной обработки почвы на 0,25-0,27 м, капельного орошения и поддержания предполивного порога не ниже 80% НВ в активном слое 0,5 м в течение всей вегетации томата позволяет получить до 86 т/га плодов [18].

В условиях Волгоградской области в Волго-Донском междуречье на светло-каштановых тяжелосуглинистых почвах проводили опыты по оптимизации минерального питания гибридов лука репчатого. Полив проводили системой капельного орошения системы Нетафим. Водный режим заключался в поддержании в слое 0,5 м дифференцированного предполивного порога влажности почвы 80 % НВ – от посева до начала созревания луковиц и 70 % НВ – в период созревания – технической спелости луковицы. Максимальная число листьев (13,5 шт.), масса луковицы (136,5 г), урожайность (116,2 т/га) гибрида F₁ Сабросо получена при фертигации аммиачной селитрой до фазы начала образования луковицы (от 1 до 4 удобрительных полива), далее нитратом кальция и нитратом калия, начиная с фазы начала образования луковицы + одна листовая подкормка N₂₀P₂₀K₂₀ + микроэлементы (0,3 % раствор, 300 л/га) в фазу образования 3-5 листьев + одна листовая подкормка N₁₂P₆K₃₆ + Mg + S + микроэлементы в фазу начала образования луковицы [19].

На черноземах обыкновенных Ростовской области урожайность лука репчатого в варианте фертигации N₁₀₀P₉₀ составила 32,4 т/га, при N₁₂₀P₁₂₀ - 43,9 т/га, при N₁₄₀P₁₅₀ - 51,5 т/га против 25,0 т/га без применения удобрений [20].

На аллювиальных луговых почвах Нечерноземной зоны на луке репчатом распределённое внесение азота (N₁₁₀P₁₁₀K₁₁₀) предпосевное + (Ca₄₀N₂₀ + K₄₀N₄₀ + K₄₀N₄₀) в процессе вегетации с капельной фертигацией достоверно оказалось более эффективным, чем предпосевное (N₁₆₀P₁₆₀K₁₆₀) + (Ca₄₀N₂₀ + K₄₀N₂₀ + K₄₀N₂₀) с капельной фертигацией в процессе вегетации [21].

По сравнению с дождеванием и пограничным орошением объем поливной воды был уменьшен на 39,49 % и 61,89 % при капельном орошении дайкона (с экономией воды до 580,5 м³ ч/м² и 1444,5 м³ ч/м² соответственно), а продуктивность

поливной воды была повышена на 25,37 % и 77,16 % соответственно [15].

Капельное орошение обеспечивает небольшие объемы полива и удобрения в соответствии с потребностями урожая, тем самым максимизируя эффективность использования азота и способствуя развитию корней. Содержание влаги в почве в слое 15–30 см при капельном орошении было существенно выше по сравнению с орошением по бороздам, что эффективно снижало выщелачивание нитратного азота и способствовало росту корней томата [22]. Капельное орошение также изменяет характеристики распределения воды и удобрений в корневой зоне, влияя на распределение корней и функцию поглощения по сравнению с традиционными методами удобрения при орошении [23]. Внедрение технологии аэрационного подповерхностного капельного орошения привело к значительному увеличению общей длины корней, общей площади поверхности корней, общего объема корней и активности корней тыквы. Растения томата, обработанные с помощью этой технологии, показали увеличение длины корней на 5,6–7,5% и увеличение активности корней на 7,6–17,5% [24].

Азот является основным ограничивающим фактором роста растений. Кроме того, методы орошения и удобрения оказывают значительное влияние на поглощение и использование азота культурами. Капельное орошение увеличило годовое поглощение азота и эффективность использования азота на 21,4% и 47,5% по сравнению с поливом затоплением у томата [12]. Капельное орошение значительно улучшило поглощение азота и скорость использования удобрений луком-батунном по сравнению с орошением по бороздам [25].

Помимо экономии воды и удобрений, капельное орошение также снижает утечку удобрений и превосходит традиционное внесение удобрений в обычных ирригационных установках. Это особенно важно в районах, где природная среда чувствительна, поскольку экологические проблемы, такие как изменение климата и загрязнение водоемов, часто связаны с остаточными эффектами использования химических удобрений и стоком удобрений.

Капельное орошение с большим расходом воды способствовало горизонтальному росту корней, что делает его подходящим для культур с сильным горизонтальным удлинением корней. С другой стороны, капельное орошение с низким расходом способствовало вертикальному росту корней, что подходит для культур с сильным вертикальным удлинением корней, чтобы избежать глубокой потери экзогенного селена путем контроля частоты и нормы полива [23].

По сравнению с пограничным орошением капельное орошение улучшило среду для роста корней, ускорило деградацию пестицидов и уменьшило остатки пестицидов в почве, тем самым снизив риск выщелачивания пестицидов [26].

Применение капельного орошения и увеличение содержания органического углерода в почве на 20 % значительно сократили выщелачивание нитратного азота на 69,04% по сравнению с поливом затоплением в севооборотах с огурцом и томатом [27].

Снижение норм полива и внесения удобрений при одновременном повышении урожайности мо-

жет улучшить содержание нитратного азота и доступного фосфора в почве толщиной 0–20 см, тем самым снижая выщелачивание удобрений у огурца, выращиваемого в теплицах. Кумулятивное выщелачивание азота снижалось с увеличением частоты полива при той же норме внесения азота [29].

Рейтинг факторов, увеличивающих выщелачивание нитратов, следующее: азотное удобрение, глубокая фильтрация, азот в орошении и начальный азот почвы. Правильное снижение норм внесения азота при капельном орошении и орошении регенерированной водой может значительно снизить риск выщелачивания нитратного азота.

Передавая небольшое количество соответствующего удобрения в корневой слой овощных культур, капельное орошение может увеличить поглощение и использование удобрения растениями в условиях меньшего количества поливной воды, тем самым уменьшая засоление почвы. В засушливых и ползасушливых регионах капельное орошение с высокой эффективностью использования воды широко использовалось для смягчения водного стресса. Однако накопление соли в корневой зоне по-прежнему распространено при капельном орошении на полях с засолением, унаследованным от исходных почвенных условий.

В целом, технологии капельного орошения сыграли существенную роль в повышении урожайности и качества овощных культур и содействии эффективному управлению водными ресурсами.

Одна из основных проблем в развитии капельного орошения – качество оборудования. Несмотря на годы внедрения, усвоения и поглощения технологий, России необходимо развить способность производить полные комплекты оборудования для капельного орошения самостоятельно. Более того, хотя производительность некоторого оборудования для капельного орошения приблизилась к зарубежным аналогам, все еще существует значительный разрыв между некоторым ключевым оборудованием, включая узлы насосов и фильтрации, оборудование автоматического управления и передовые зарубежные новинки технологий. Качество элементов капельного орошения и других связанных с ним продуктов, произведенных в России, нестабильное, когда речь идет о компенсации давления, антиблокировке, равномерности орошения и антистарении материалов.

Уровень управления новыми технологиями и оборудованием для капельного орошения у многих фермеров часто недостаточен, что приводит к задержке технического обслуживания этих устройств. В свою очередь, это приводит к засорению и поломкам, а далее прекращению использования оборудования для капельного орошения. Для эффективного обслуживания капельного орошения фермерам необходимо использовать высококачественные фильтры, а также регулярно промывать сетку фильтра и ленту капельного орошения. Ненадлежащее управление оборудованием для капельного орошения и пренебрежение регулярным техническим обслуживанием может привести к засорению лент капельного орошения, что приведет к полному выходу из строя системы капельного орошения и финансовым потерям.

Теоретический уровень проектировщика, отвечающего за проектирование систем капельного орошения, часто недостаточен для выполне-

ния нормативного проекта. Это приводит к выбору некачественного оборудования и материалов для капельного орошения в процессе проектирования, что приводит к плохой совместимости системы. Кроме того, некоторые проекты предполагают размещение только одного пояса капельного орошения на обширной поверхности поля, что приводит к чрезмерно длительному времени орошения и неравномерному распределению воды.

Для мелких фермеров стоимость установки водосберегающего оборудования для капельного орошения относительно высока. Более того, доход фермеров от водосбережения низок, поскольку налог на водные ресурсы не был полностью реализован в сельскохозяйственном секторе. Это приводит к низкой мотивации фермеров содействовать водосбережению, что еще больше усугубляет проблему высоких затрат на установку водосберегающего оборудования для капельного орошения. Сейчас на рынке количество производителей, и, как следствие, создавшаяся конкуренция привела к неминусовому повышению качества выпускаемой в нашей стране продукции и снижению цен, что, несомненно, только на руку нашим сельхозпроизводителям [30]. Поэтому в России оборудование для капельного орошения в основном используется для товарных культур, таких как плодовые и овощные культуры.

Выводы

Капельное орошение может значительно улучшить рост и развитие овощных культур и поднять общее качество продукции производимых культур. Капельное орошение полезно для развития корней. Внедрение капельного орошения может од-

новременно решать вопросы внесения удобрений и воды, что приводит к повышению урожайности овощных культур и повышению эффективности использования воды и питательных веществ. Такие результаты подчеркивают важность внедрения методов капельного орошения и фертигации в современном сельском хозяйстве. Капельное орошение может уменьшить выщелачивание азота, что еще больше подчеркивает экологические преимущества внедрения технологии в сельском хозяйстве. По сравнению с другими методами орошения, капельное орошение может снизить засоление почвы за счет уменьшения вносимых доз удобрений при сохранении урожайности и качества урожая, что делает его ценным инструментом для продвижения устойчивых методов ведения сельского хозяйства. Несмотря на многочисленные преимущества технологии капельного орошения, несколько факторов ограничивают ее широкое распространение в сельском хозяйстве. К этим факторам могут относиться высокие первоначальные затраты на установку и обслуживание, переменное качество воды, ограниченные технические знания и поддержка внедрения, а также институциональные барьеры, такие как политика и правила управления водными ресурсами. В заключение следует отметить, что капельное орошение в основном используется в регионах с низкой доступностью воды, таких как засушливые и полусушливые районы, а также для культур, выращиваемых в теплицах, высокоценных культур и интенсивного земледелия. Благодаря своим многочисленным преимуществам капельное орошение стало популярным методом орошения в современном овощеводстве.

Библиографический список

1. «Полюс»: водный отчет. Использование водных ресурсов и водохозяйственная деятельность [Электронный ресурс]. URL: https://sustainability.polyus.com/upload/files/sustainability-approach/POLYUS_WATER_REPORT_RUS.pdf Дата обращения: 20.06.2025.
2. Инновационные технологии орошения овощных культур / А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, М.И. Иванова, А.А. Рубцов. М. Изд-во Ким Л.А. 2021. 306 с.
3. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Дефицитное орошение овощных культур // Овощи России. 2022. № 3. С. 44–49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-49>
4. Принципы управления орошением овощных культур. В.А. Фартуков, М.И. Зборовская, А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, Д.М. Васильев. Инновации и инвестиции. 2022. №11. С. 262–268.
5. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. P. Yang, L. Wu, M. Cheng, J. Fan, S. Li, H. Wang, L. Qian. Water. 2023. № 15. P. 1733.
6. Интеллектуальная система полива: цифровые решения в овощеводстве / А.М. Меньших, А.Ю. Федосов, В.А. Янченко, В.А. Фартуков, М.И. Иванова // Рисоводство. 2024. Т. 23. № 2 (63). С. 76–84.
7. Star ruby" grapefruit and "Clemenules" mandarin trees show different physiological and agronomic responses to irrigation with saline water / J.G. Pérez-Pérez, F. García-Sánchez, J. M. Robles, P. Botía. Irrig. Sci. 2015. № 33. Pp. 191–204.
8. Ecofert: An android application for the optimization of fertilizer cost in fertigation. M.V. Bueno-Delgado, J.M. Molina-Martínez, R. Correoso-Campillo, P. Pavón-Mariño. Comput. Electron. Agric. 2016. № 121. Pp. 32–42.
9. Assessment of field water budget components for increasing water productivity under drip irrigation in arid and semi-arid areas, Syria. B.A. Zakhem, F. Al Ain, R. Hafez. Irrig. Drain. 2019 № 68. Pp. 452–463.
10. Jia B., Fu J. Critical nitrogen dilution curve of drip-irrigated maize at vegetative growth stage based on leaf area index. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 2020. № 36. Pp. 66–73.
11. Ayars J., Fulton A., Taylor B. Subsurface drip irrigation in California: Here to Stay? Agric. Water Manag. 2015. № 157. Pp. 39–47.
12. Effects of nitrogen application and aerated irrigation on soil

environment and yield in cucumber root area. B. Cui; W. Niu; Y. Du; Q. Zhang. Water Sav Irrig. 2020. №4. Pp. 27–32.

13. Effects of different water and fertilization on nutrient uptake, yield and quality of greenhouse muskmelon under drip irrigation condition. W. Yue; W. He; C. Ding; Y. Bai; Y. Zhou; H. Xi. Acta Agric. Zhejiangensis. 2021. №33. Pp. 2370–2380.
14. Luo, H.; Li, F. Water and nitrogen coupling effects and model under tomato drip irrigation. Chin. Agric. Sci. Bull. 2022. № 38. Pp. 30–36.
15. Lian, X.; Wang, Y.; Liang, X.; Li, H.; Wang, Z. Effects of irrigation methods on yield, quality and economic benefit of green radish by sowing seed tape. Tianjin Agric. Sci. 2021. № 27. Pp. 53–56.
16. Effects of drip irrigation patterns and biochar amendment on green pepper yield, quality and soil nitrogen transformational enzyme activities in greenhouse. H. Qiu; W. Zhang; J. Liu, M. Lv; Y. Wang. China Soils Fert. 2022. No9. Pp. 67–74.
17. Impacts of oxygation on plant growth, yield and fruit quality of tomato. Y. Zhu; H. Cai; L. Song; H. Chen. Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 2017. №48. Pp. 199–211.
18. Магомедова Д.С., Курбанов С.А. Сравнительная эффективность возделывания томатов при капельном орошении и поливе по бороздам // Орошаемое земледелие. 2022. № 1 (36). С. 40–43.
19. Павленко В.Н. Зайцев В.А. Применение удобрений при выращивании лука на капельном орошении // Орошаемое земледелие. 2024. № 1(44). С. 21–25.
20. Бабичев А.Н., Рубцов А.А., Бабенко А.А. Влияние минерального питания на урожайность лука репчатого // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия (Материалы конференции). 2020. № 4(80). С. 141–144.
21. Иркв И.И., Успенская О.Н., Берназ Н.И. Эффективность распределенного внесения азота на луке репчатом (Allium sera L.) в однолетней культуре // Овощи России. 2023. № 3. С. 88–92. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-88-92>
22. Mahajan G.; Singh K. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. Agric. Water Manag. 2006. №84. Pp. 202–206.
23. Spatial distribution of added selenium in soil as affected by different irrigations using reclaimed water. T. Ma; F. Gao; C. Liu; C. Hu; B. Cui; E. Cui; Y. Hao. J. Irrig. Drain. 2022. №41. Pp. 58–64.
24. Effects of different fertilization levels on greenhouse tomato

under aerated irrigation. W. Yang, F. Liu; T. Liu; D. Wang, Q. Zhang. *Water Sav Irrig.* 2019. №7. Pp. 49–55.

25. Effect of airjection irrigation on growth and yield of mini-watermelon in greenhouse. J. Liu, H. Cai, M. Zhang; X. Chen; J. Wang. *Water Sav. Irrig.* 2010. №24. Pp. 24–27.

26. Effects of different irrigation methods and fertilizer amount on wheat yield and utilization of water, fertilizer and medicine. D. Tian; C. Hou; J. Ren; L. Hao; Z. Li. *Water Sav. Irrig.* 2022. №10. Pp. 100–104.

27. Modeling nitrogen transport and leaching process in a greenhouse vegetable field. H. Lei; G. Li; W. Ding, C. Xu, H. Wang; H. Li. *Chin. J. Eco Agric.* 2021. №29. Pp. 38–52.

28. Effects of irrigation and fertilization on nutrient absorption and yield of cucumber and soil quality in greenhouse. Y. Tang, L. Li, P. Liu; G. Bai. *China Soils Fert.* 2018. №1. Pp. 77–82.

29. Zhang Z.; Zhao W.; Li J. Effects of drip irrigation frequency and nitrogen fertilizer on nitrate leaching and tomato growth. *J. China Inst. Water Res. Hydropower Res.* 2015. №13. Pp. 81–90.

30. Дорджиев С.А. Автоматизация систем капельного полива // Картофель и овощи. 2022. №6. С. 3–4.

References

1. Polyus: a water report. Use of water resources and water management activities [Web resource]. URL: https://sustainability.polyus.com/upload/files/sustainability-approach/POLYUS_WATER_REPORT_RUS.pdf Access date: 20.06.2025. (In Russ.).

2. Innovative technologies of irrigation of vegetable crops. A.Y. Fedosov, A.M. Menshikh, M.I. Ivanova, A.A. Rubtsov. Moscow. Publishing house of Kim L.A. 2021. 306 p. (In Russ.).

3. Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.A. Deficient irrigation of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia.* 2022. No3. С. 44–49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-49> (In Russ.).

4. Principles of irrigation management for vegetable crops. V.A. Fartukov, M.I. Zborovskaya, A.Yu. Fedosov, A.M. Menshikh, D.M. Vasiliev. *Innovations and investments.* 2022. No11. Pp. 262–268 (In Russ.).

5. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. P. Yang, L. Wu, M. Cheng, J. Fan, S. Li, H. Wang, L. Qian. *Water.* 2023. No 15. P. 1733.

6. Intelligent irrigation system: digital solutions in vegetable growing. A.M. Menshikh, A.Y. Fedosov, V.A. Yanchenko, V.A. Fartukov, M.I. Ivanova. *Rice growing.* 2024. Vol. 23. No. 2 (63). Pp. 76–84 (In Russ.).

7. Star ruby” grapefruit and “Clemenules” mandarin trees show different physiological and agronomic responses to irrigation with saline water / J.G. Pérez-Pérez, F. García-Sánchez, J. M. Robles, P. Botía. *Irrig. Sci.* 2015. № 33. Pp. 191–204.

8. Ecofert: An android application for the optimization of fertilizer cost in fertigation. M.V. Bueno-Delgado, J.M. Molina-Martínez, R. Correoso-Campillo, P. Pavón-Mariño. *Comput. Electron. Agric.* 2016. No 121. Pp. 32–42.

9. Assessment of field water budget components for increasing water productivity under drip irrigation in arid and semi-arid areas, Syria. B.A. Zakhem, F. Al Ain, R. Hafez. *Irrig. Drain.* 2019 No 68. Pp. 452–463.

10. Jia B., Fu J. Critical nitrogen dilution curve of drip-irrigated maize at vegetative growth stage based on leaf area index. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2020. No 36. Pp. 66–73.

11. Ayars J., Fulton A., Taylor B. Subsurface drip irrigation in California- Here to Stay? *Agric. Water Manag.* 2015. No 157. Pp. 39–47.

12. Effects of nitrogen application and aerated irrigation on soil environment and yield in cucumber root area. B. Cui; W. Niu; Y. Du; Q. Zhang. *Water Sav Irrig.* 2020. №4. Pp. 27–32.

13. Effects of different water and fertilization on nutrient uptake, yield and quality of greenhouse muskmelon under drip irrigation condition. W. Yue; W. He; C. Ding; Y. Bai, Y. Zhou; H. Xi. *Acta Agric. Zhejiangensis.* 2021. No33. Pp. 2370–2380.

14. Luo, H.; Li, F. Water and nitrogen coupling effects and model under tomato drip irrigation. *Chin. Agric. Sci. Bull.* 2022. No 38. Pp. 30–36.

15. Lian, X.; Wang, Y.; Liang, X.; Li, H.; Wang, Z. Effects of irrigation methods on yield, quality and economic benefit of green radish by sowing seed tape. *Tianjin Agric. Sci.* 2021. No27. Pp. 53–56.

16. Effects of drip irrigation patterns and biochar amendment on green pepper yield, quality and soil nitrogen transformational enzyme activities in greenhouse. H. Qiu; W. Zhang; J. Liu, M. Lv; Y. Wang. *China Soils Fert.* 2022. No9. Pp. 67–74.

17. Impacts of oxygation on plant growth, yield and fruit quality of tomato. Y. Zhu; H. Cai; L. Song; H. Chen. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2017. No48. Pp. 199–211.

18. Magomedova D.S., Kurbanov S.A. Comparative efficiency of tomato cultivation when using drip irrigation and furrow irrigation. *Irrigated agriculture.* 2022. No1 (36). Pp. 40–43 (In Russ.).

19. Pavlenko V.N., Zaitsev V.A. The use of fertilizers in the cultivation of onions on drip irrigation. *Irrigated agriculture.* 2024. No1(44). Pp. 21–25 (In Russ.).

20. Babichev A.N., Rubtsov A.A., Babenko A.A. The influence of mineral nutrition on onion yield. Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture (Proceedings of the conference). 2020. No4(80). Pp. 141–144 (In Russ.).

21. Irkov I.I., Uspenskaya O.N., Bernaz N.I. Efficiency of distributed application of nitrogen on onion (*Allium cepa* L.) cultivated as an annual crop. *Vegetable crops of Russia.* 2023. No3. Pp. 88–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-88-92>

22. Mahajan G.; Singh K. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. *Agric. Water Manag.* 2006. No84. Pp. 202–206.

23. Spatial distribution of added selenium in soil as affected by different irrigations using reclaimed water. T. Ma; F. Gao; C. Liu; C. Hu; B. Cui; E. Cui; Y. Hao. *J. Irrig. Drain.* 2022. No41. Pp. 58–64.

24. Effects of different fertilization levels on greenhouse tomato under aerated irrigation. W. Yang, F. Liu; T. Liu; D. Wang, Q. Zhang. *Water Sav Irrig.* 2019. No7. Pp. 49–55.

25. Effect of airjection irrigation on growth and yield of mini-watermelon in greenhouse. J. Liu, H. Cai, M. Zhang; X. Chen; J. Wang. *Water Sav. Irrig.* 2010. No24. Pp. 24–27.

26. Effects of different irrigation methods and fertilizer amount on wheat yield and utilization of water, fertilizer and medicine. D. Tian; C. Hou; J. Ren; L. Hao; Z. Li. *Water Sav. Irrig.* 2022. No10. Pp. 100–104.

27. Modeling nitrogen transport and leaching process in a greenhouse vegetable field. H. Lei; G. Li; W. Ding, C. Xu, H. Wang; H. Li. *Chin. J. Eco Agric.* 2021. №29. Pp. 38–52.

28. Effects of irrigation and fertilization on nutrient absorption and yield of cucumber and soil quality in greenhouse. Y. Tang, L. Li, P. Liu; G. Bai. *China Soils Fert.* 2018. №1. Pp. 77–82.

29. Zhang Z.; Zhao W.; Li J. Effects of drip irrigation frequency and nitrogen fertilizer on nitrate leaching and tomato growth. *J. China Inst. Water Res. Hydropower Res.* 2015. No13. Pp. 81–90.

30. Dordzhiev S.A. Automation of drip irrigation systems. *Potato and vegetables.* 2022. No6. Pp. 3–4.

Об авторах

Федосов Александр Юрьевич, м.н.с. E-mail: ffed@rambler.ru

Меньших Александр Михайлович, канд. с.-х. наук, в.н.с. E-mail: soulsunnet@yandex.ru

Янченко Алексей Владимирович, канд. с.-х. наук, в.н.с. E-mail: laboratoria2008@yandex.ru

Иванова Мария Ивановна, доктор с.-х. наук, проф. РАН, г.н.с. E-mail: ivanova_170@mail.ru

Всероссийский НИИ овощеводства – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр овощеводства (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО).

Еременко Алина Николаевна, сотрудник ЗАО «Новый век агротехнологий». E-mail: ea@neoagri.ru

Author details

Fedosov A.Yu., junior research fellow. E-mail: ffed@rambler.ru

Menshikh A.M., Cand. Sci. (Agr.), leading research fellow. E-mail: soulsunnet@yandex.ru

Yanchenko A.V., Cand. Sci. (Agr.), senior research fellow. E-mail: laboratoria2008@yandex.ru

Ivanova M.I., Dr. Sci. (Agr.), prof. of RAS, senior research fellow. E-mail: ivanova_170@mail.ru

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – a branch of the FSBSI Federal Scientific Center of Vegetables (ARRIVG – a branch of FSCV)

Eremenko A.N., employee of New Century Agritechnology Co Ltd.