

В. А. ЖАРКОВ, Е. В. АНГОЛЬД, Б. М. КУРТЕБАЕВ

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства», Тараз, Казахстан

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИВОВ В УСЛОВИЯХ ЮГА КАЗАХСТАНА

Құрамдастырылған тамшылата-жаңбырлатып сугару әдісі тамшылатып сугару мен жаңбырлату технологияларының жағымды сапаларын біріктіреді. Негізгі тамшылатып сугару әдісінде, өсімдіктің дамуының вегетациялық кезеңіндегі су тапшылығы жағдайында, бұл технология судың үнемделуін қамтамасыз етеді, ауаның температурасы 25 °C асқан кезде жаңбырлату есебінен микро мен фито-климат параметрлерін жақсартады, өсімдіктің өсу процестерін ынталандырады және дақыл өнімділігінің артуын қамтамасыз етеді.

Комбинированный капельно-дождевальный полив объединяет положительные качества технологий капельного полива и дождевания. Эта технология при основном капельном способе полива в вегетационный период развития растений в условиях дефицита воды обеспечивает ее экономию, а за счет дождевания при температуре воздуха более 25 °C улучшает параметры микро- и фито-климата, стимулирует ростовые процессы растений и обеспечивает повышение их урожайности.

Combination of drip irrigation and sprinkling unites advantages of drip and sprinkling irrigation technologies. This technology at the main drip method of irrigation during the vegetation period of plants development in the conditions of water deficiency provides her economy, and due to sprinkling irrigation at air temperature more than 25 °C improves parameters micro- and phytoclimate, stimulates growth processes of plants and provides increase of their productivity.

Увеличивающийся дефицит воды воздействует на сельскохозяйственный сектор во всем мире. Повышение продуктивности использования воды является актуальным направлением для увеличения производства пищевых продуктов [1].

В ирригационном земледелии технологии полива должны обеспечивать оптимальное снабжение сельскохозяйственных культур водой с учетом биологических особенностей каждой культуры. При этом учитываются особенности существующих способов и технологий полива, оказывающих влияние на прилегающую к растению среду.

В сложившихся условиях развития экономики Казахстана эффективность использования водных ресурсов в сельском хозяйстве крайне низка из-за применения устаревших методов и технологий орошения, а также значительных затрат воды при ее транспортировке. Для достижения экономии воды в сельском хозяйстве необходимо внедрение современных методов орошения и водосберегающих технологий, снижение потерь воды при транспортировке и выполнение ряда других мероприятий, направленных на повышение продуктивности использования воды, что особенно актуально в условиях возрастающего ее дефицита.

В науке и практике наиболее распространены техника и технологии полива, основанные на принципе периодической аккумуляции влаги в активном слое почвы (поверхностный полив, обычное периодическое дождевание).

Более прогрессивным является принцип непрерывного водоснабжения растений и почвы водой в соответствии с их водопотреблением. Этому принципу соответствуют капельное орошение и импульсное дождевание.

Об эффективности технологий капельного орошения и дождевания свидетельствуют данные по их применимости в странах мира [1, 2]. В Австралии приоритет капельного орошения в сравнении со старыми энергоемкими системами дождевания выявлен с точки зрения эффективности использования водных ресурсов и потребления энергии на системах производства салата [3]. На юго-западе Ирана параметрический подход к оценке типов орошения с учетом особенностей почв, засоления и уклонов местности с целью экономии водных ресурсов из общей площади 60 000 га дождевание рекомендовано на площади 23 790 га, а капельное орошение – на площади 33 261 га [4]. Высокая оценка микродождевания при ирригации деревьев и виноградников дана в США [5]. Такая технология в сравнении с капельным поливом обеспе-

чивает и защиту растений от заморозков. Применение систем капельного полива, дождевальных машин кругового действия и стационарных систем дождевания в Португалии с учетом сравнимости экономии воды и экономических результатов указывает на необходимость их выбора на основе обеспечения высокой производительности оросительной техники и повышения урожая сельскохозяйственных культур, а не только экономии воды [6].

Капельное орошение – один из видов локального микроорошения, при котором требуемое количество воды и растворенных в ней питательных веществ подается непосредственно в зону корневой системы каждого растения. Дозированная, направленная подача воды в течение вегетационного периода создает оптимальный режим влажности почвы в зоне корневой системы.

Основное достоинство капельного орошения – создание оптимального водного и питательного режима непосредственно в корневой системе растений и тем самым сокращение расхода воды и удобрений до 40–50%.

В сравнении с другими ирригационными системами у капельного орошения имеются и недостатки, которые необходимо учитывать при использовании такой технологии. Это возможность засорения капельниц, механические повреждения и недолговечность капельных лент, вероятность неравномерности полива. Типовые системы требуют применения предохранительных клапанов, манометров и расходомеров для контроля, имеют ограничения по применимости [7]. Для устранения засорения капельниц используются фильтры очистки воды. Не решается при капельном поливе проблема микроклимата, от которого зависит повышение урожайности сельскохозяйственных культур [8, 9].

Такой полив недостаточно эффективен в условиях высоких температур воздуха (более 25–35 °С) и низкой его влажности. Известно, что при температуре воздуха 30–35 °С ростовые процессы ряда сельскохозяйственных культур замедляются, а процесс фотосинтеза прекращается, что сказывается на урожайности. Одновременно с фотосинтезом у растений происходит процесс дыхания. При этом накопленные углеводы, окисляясь, выделяют энергию, за счет которой синтезируются белковые и другие соединения, обуславливающие жизнедеятельность растений. С повышением температуры равновесие между синтезом углеводов и их расходованием нарушается. Например, у картофеля депрессия фотосинтеза начинается при температуре свыше 18 °С, а при +25 °С фотосинтез прекращается. Энергия на дыхание возрастает, что предопределяет резкое снижение продуктивности растений в этот период. Продуктивность фотосинтеза снижается для пшеницы при температуре 20 °С, для капусты при 21 °С, кукурузы при 24–25 °С, хлопка при свыше 28 °С [10].

Влажность воздуха обуславливает интенсивность транспирации растений и испарений с почвы, оказывает влияние на биохимические процессы, происходящие в растениях. При низкой влажности воздуха может произойти преждевременное увядание растений [11].

Оптимальные условия для развития сельскохозяйственных культур в районах засушливого климата создаются мероприятиями, направленными на поддержание оптимального водного режима. Такой водный режим растений можно создать лишь при достаточной влажности почвы и окружающей среды (воздуха), так как даже при высокой влажности только почвы растения могут испытывать водный дефицит. Эти условия можно создать импульсным дождеванием. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при таком поливе происходит за счет интенсификации ряда физиологических процессов, в частности фотосинтеза. Технология импульсного дождевания обеспечивается выдачей растениям ежесуточной поливной нормы в импульсном режиме, обеспечивающем частые поливы с малыми поливными нормами в определенные часы суток при оптимальной влажности почвы. Особенностью такого дождевания является обеспечение длительного направленного воздействия искусственного дождя на условия роста и развития растений и внешнюю среду. Влажность активного слоя почвы и приземного воздуха поддерживается на оптимальном уровне без резких колебаний, свойственных обычным периодическим поливам.

В жаркий период суток проведение такого дождевания позволяет снизить температуру приземного слоя воздуха и температуру верхних горизонтов почвы, повысить влажность воздуха и создать более благоприятные условия для роста и развития растений. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при поливе дождеванием происходит за счет

интенсификации ряда физиологических процессов, в частности фотосинтеза. Оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур создаются импульсным ежедневным дождеванием. Процесс импульсного дождевания заключается в наполнении необходимого объема воды в гидроаккумуляторах при повышении давления и выбросе воды в виде дождя под действием сжатого воздуха или упругих материалов при его снижении. При этом за счет изменения давления в трубопроводной сети с помощью генератора импульсов устраняется возможность отложения каких-либо наносов в гидроаккумуляторах и разводящей поливной сети.

Применение технологии импульсной подачи воды к растениям при капельном орошении при изменении давления воды от максимального до минимального также позволит устранить засорения выходных отверстий технических устройств полива и тем самым снизить требования к оросительной воде.

Данное направление подтверждено изобретениями ученых КНР, которые разработали систему капельного орошения импульсного типа, где за счет широкого диапазона изменения частоты импульсов осуществляется изменение интенсивности ирригации и устранение фильтров очистки воды [12].

Исходя из особенностей технологий капельного орошения, дождевания и факторов влияния температуры и влажности воздуха на развитие растений в регионах с высокими температурами и низкой влажностью воздуха следует применять технологию комбинированного полива.

Сочетание дождевания и капельного полива позволяет объединить положительные качества, присущие каждой технологии в отдельности и устранить ряд недостатков, свойственных им при раздельном применении.

Капельно-дождевальное орошение достигается выдачей растениям ежесуточной поливной нормы в импульсном режиме, обеспечивающем частые поливы с малыми поливными нормами в определенные часы суток. При температуре воздуха до 25 °С 100% поливной нормы расходуется на локальное увлажнение почвы (капельным орошением), а при температуре воздуха выше 25 °С до 10% поливной нормы расходуется на локальное увлажнение и до 90% – на увлажнение дождеванием приземного слоя воздуха и листовой поверхности растений.

В жаркий период суток проведение дождевания дополнительно к капельному поливу позволяет снизить температуру приземного слоя воздуха и температуру верхних горизонтов почвы, повысить влажность воздуха и создать более благоприятные условия для роста и развития растений.

Такая технология при основном капельном способе полива в вегетационный период развития растений в условиях дефицита воды обеспечивает ее экономию, а за счет дождевания при температуре воздуха более 25°С (особенно в районах с высокими температурами) улучшает параметры микро- и фитолимата.

Технология капельно-дождевального орошения выполняется оросительной системой [13, 14], имеющей водозаборный узел с напорообразующим устройством, генератор командных импульсов, распределительный трубопровод, поливные трубопроводы с водовыпусками и дополнительное напорообразующее устройство с датчиком температуры воздуха (рисунок 1, а).

Водовыпуск, примененный в оросительной системе, имеет выходное отверстие для капельного полива при работе основного напорообразующего устройства и насадку для дождевания, работающую при подключении дополнительного напорообразующего устройства. Для обеспечения фиксированного объема водоподдачи к растениям водовыпуск снабжен водонепроницаемым эластичным шаром, при сжатии которого происходит накопление воды в его корпусе (см. рисунок 1, б).

Оросительная система (см. рисунок 1, а) работает следующим образом. При подаче воды от водозаборного узла 1 напорообразующим устройством 2 через генератор командных импульсов 5 происходит заполнение водой распределительного 6, поливных трубопроводов 7 и водовыпусков 8. Заполнение корпуса 13 водовыпуска (см. рисунок 1, б) осуществляется через входное отверстие крышки 10 при перемещении манжеты одностороннего действия 11 в сторону переходника 12. Вода, обгибая края манжеты 11, поступает в корпус 13, сжимая водонепроницаемый эластичный шар 15. Происходит заполнение корпуса 13 до заданных параметров

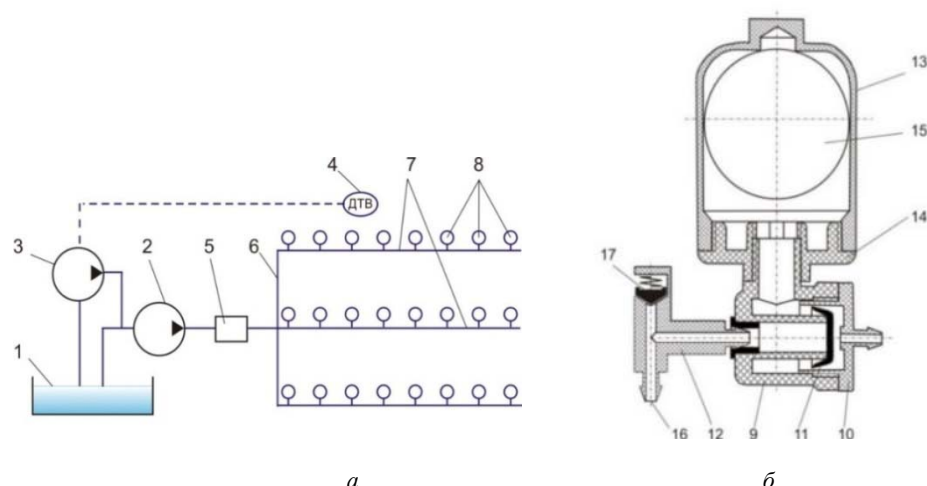


Рисунок 1 – Оросительная система капельно-дождевального полива

(а – схема оросительной системы; б – водовыпуск):

- 1 – водозаборный узел; 2 – напорообразующее устройство; 3 – дополнительное напорообразующее устройство;
4 – датчик температуры воздуха; 5 – генератор командных импульсов; 6 – распределительный трубопровод;
7 – поливные трубопроводы; 8 – водовыпуски; 9 – корпус; 10 – крышка; 11 – манжета одностороннего действия;
12 – переходник; 13 – гидроаккумулятор; 14 – крышка; 15 – водонепроницаемый эластичный шар;
16 – капельница; 17 – насадка дождевальная подпружиненная

при перекрытии выхода воды в атмосферу через переходник 12. Переходник 12 имеет подпружиненную дождевальную насадку 17 и капельницу 16, которая может соединяться с поливной трубкой, имеющей ряд дополнительных капельниц.

При заполнении корпуса 13 водовыпуска в сеть трубопроводов подается импульс понижения давления генератором командных импульсов 5. За счет разности давлений в корпусе 13 водовыпуска и в сети трубопроводов манжета 11 перемещается в сторону крышки 10. Вода из корпуса 13 поступает в переходник 12 и далее через капельницу – в атмосферу. Осуществляется капельный полив.

При температуре воздуха более 25°C датчик температуры воздуха 4 (см. рисунок 1, а) подключает дополнительное напорообразующее устройство 3 системы орошения. В сеть поливных трубопроводов и водовыпуски подается вода с давлением напорообразующих узлов 2 и 3. В корпусе 13 водовыпуска создается повышенное давление. По завершению наполнения корпуса 13 водовыпуска (см. рисунок 1, б) в сеть трубопроводов поступает импульс пониженного давления. Вода из корпуса 13 водовыпуска при возврате манжеты 11 в исходное положение подается в переходник 12 и далее за счет отжатия пружины дождевальной насадки 17 в атмосферу. Осуществляется дождевание. При дальнейшем снижении давления дождевальная насадка возвращается в исходное положение, а остаток воды через капельницу 16 поступает к растениям. Дальнейший процесс полива аналогичен.

Осуществление технологии капельно-дождевального полива рассматриваемой оросительной системы позволяет автоматизировать процесс полива в режимах капельного орошения и дождевания, обеспечить строго фиксированный объем водоподачи к растениям независимо от рельефа местности. В условиях высоких температур воздуха в летний период вегетации растений за счет дождевания снижается температура и повышается влажность воздуха, что создает благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, способствуя тем самым повышению их урожайности.

Исследования технологии капельно-дождевального орошения проводились в сравнении с технологией капельного орошения. Опыты закладывались в яблоневом саду, представленном яблонями «Голден Делишес» на низкорослом подвое на опытно-производственном участке Казахского НИИ водного хозяйства (г. Тараз, Казахстан) в 2009–2011 годах. Климатическая характеристика района исследований (среднегодовые значения) по данным метеостанции "Джамбул" показана в таблице 1.

Таблица 1 – Климатическая характеристика района по данным метеостанции "Джамбул"

Характеристики		Месяцы												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Температура, t °C	средняя	-5,1	-3,2	3,2	11,3	17,2	21,7	23,4	21,2	15,7	9,1	2,4	-2,6	9,5
	абсолютный максимум	20	21	33	34	42	42	43	41	40	35	27	25	43
	абсолютный минимум	-41	-40	-26	-10	-3	1	5	1	-5	-15	-37	-41	-41
Осадки, мм	среднее	21	22	37	44	36	21	9	6	8	30	30	23	287
	наибольшее													86
	наименьшее													522
Относительная влажность воздуха, %	средняя	68	67	60	49	41	35	31	30,7	32	43,7	59	67,7	48,7
	>80%, дни				1	1	0,3	0,2	0,2	0,3	3			
	<30%, дни				6	9	14	18	18	15	10			
Числе дней	с пыльной бурей			0	0	0,2	0,3	0,6	0,7	0,7	0,9			
	с ветром >15 м/с	3	5	6	6	6	5	4	3	2	4	3	4	51

По данным климатической характеристики в районе исследований в течение вегетационного периода развития растений наблюдаются высокие температуры воздуха (до 43 °C) при средней относительной влажности воздуха до 30,7–49%. Такие условия приводят к уменьшению урожая растений [10], и проблема улучшения микроклимата здесь является одной из главных [9].

Технология капельно-дождевального орошения обеспечивалась техническими средствами (водовыпусками) импульсного принципа работы. При температурах воздуха до 25 °C водовыпусками осуществлялся капельный полив, а в период с высокими температурами воздуха (более 25 °C) – дождевание. Полив дождеванием проводился преимущественно в дневные часы с 12.00 до 18.00 ч. Продолжительность рабочего цикла водовыпусков, состоящая из времени накопления расчетного объема воды в гидроаккумуляторах и времени его выброса, изменялась от 10 до 120 с. На участке капельного орошения (контроль) полив растений проводился капельницами в течение всего их вегетационного периода.

С учетом принятых технологий полива изучались основные факторы, оказывающие влияние на условия роста и развития яблонь. Определялись показатели температур и влажности воздуха, влагосодержание, водоотдача, водопоглощение и интенсивность транспирации листьями яблонь.

Температура и влажность воздуха регистрировались на площадках, расположенных в контурах увлажнения почвы техническими средствами полива.

Наблюдения позволили установить изменения основных факторов, оказывающих влияние на условия роста и развития растений в период с температурами воздуха более 25 °C и влажностью воздуха ниже 30–40%. При капельно-дождевальном орошении в сравнении с капельным поливом разность температур воздуха достигала 2,7 °C в приземном слое. Разность между значениями влажности воздуха достигала 23%.

Дополнительное дождевание в напряженный период вегетации яблонь, осуществляемое на участке капельно-дождевального орошения, положительно влияло на водный режим, рост и развитие растений.

Влагосодержание в листьях яблонь при капельно-дождевальном орошении превышало на 5,8–15% содержание воды в листьях на участке капельного полива (таблица 2).

Интенсивность транспирации листьев яблонь в 13 ч при капельно-дождевальном орошении повышалась на 6–12%. Водопоглощающая способность листьями яблонь в 13 ч в условиях дополнительного дождевания снижалась на 0,05–0,13 г/г сухого веса. Дефицит относительной тургесцентности листьев снижался на 2,0–3,3%.

Таблица 2 – Влагосодержание в листьях яблонь в 13 ч, % от массы

Орошение	Дата проведения опыта, 2011 год									
	12.06	13.06	14.06	15.06	16.06	12.07	13.07	14.07	15.07	16.07
Капельно-дождевальное	69,8	68,3	71,2	68,9	70,0	66,1	75,9	72,1	71,1	69,1
Капельное	63,3	62,1	63,7	62,2	63,1	60,3	60,9	60,3	62,3	60,5

Продолжение таблицы 2

Орошение	Дата проведения опыта, 2011 год				
	12.08	13.08	14.08	15.08	16.08
Капельно-дождевальное	71,0	73,0	69,0	70,0	77,0
Капельное	65,0	66,0	60,0	61,0	67,0

Интенсивность транспирации листьев яблонь в 13 ч при капельно-дождевальном орошении повышалась на 6–12%. Водопоглощающая способность листьями яблонь в 13 ч в условиях дополнительного дождевания снижалась на 0,05–0,13 г/г сухого веса (рисунок 2). Дефицит относительной тургесцентности листьев снижался на 2,0–3,3%.

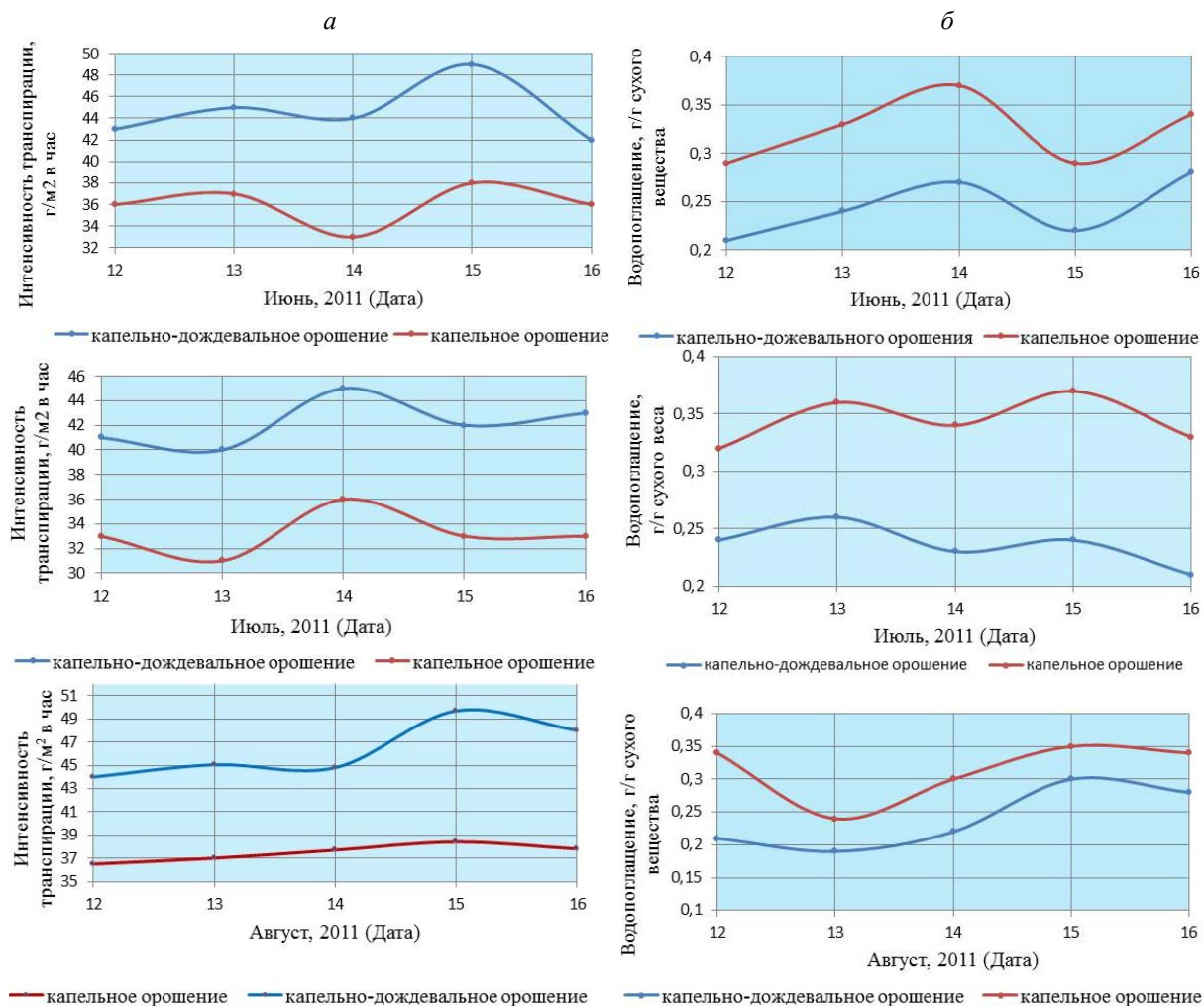


Рисунок 2 – Характер изменения интенсивности транспирации и водопоглощающей способности листьев яблонь при капельно-дождевальном орошении в сравнении с капельным поливом в яблоневом саду на высоте 0,5 м в дневные часы.

а – интенсивность транспирации; б – водопоглощающая способность листьями яблонь в 13 ч

Водный режим растений закономерно изменяется в течение дня, следуя за напряженностью погодных условий, и достигает максимума в 13–14 ч.

Улучшенные показатели микроклимата и водного режима растений обеспечили дополнительный прирост однолетних побегов на 9,0–12,8%, окружности штамба яблонь – на 9,6–10,8% и высоты деревьев – на 6,8–9,8%.

Технология капельно-дождевального орошения за счет дополнительного дождевания в жаркие часы суток позволила стимулировать ростовые процессы яблонь за счет улучшения микроклиматических показателей в среде развития растений и водного режима яблонь и обеспечила повышение урожайности на 5,6–9,9%.

Полученные результаты исследования этой технологии позволяют отнести ее к водоресурсосберегающим технологиям полива в сельскохозяйственном производстве [15].

Выводы. Сочетание капельного полива и дождевания объединяет положительные качества, присущие каждой технологии в отдельности.

Технология капельно-дождевального орошения обеспечивает условия для экономии оросительной воды за счет полива растений капельным орошением в основной период вегетации и за счет улучшения микроклимата и водного режима сельскохозяйственных культур при дополнительном дождевании в период с высокими температурами и низкой влажностью воздуха стимулирует ростовые процессы выращиваемой культуры.

Технология капельно-дождевального орошения в период с температурами воздуха более 25 °С в яблоне саду позволила снизить температуру воздуха в среде роста растений на 1,5–2,7 °С и повысить его относительную влажность на 5–23%.

При капельно-дождевальном орошении влагосодержание листьев повышается на 5,8–15%, водопоглощение листьев снижается на 0,05–0,13 г/г сухого веса, дефицит относительной тургесцентности листьев уменьшается на 2,0–3,3%, интенсивность транспирации листьями повышается на 6–12%.

Эта технология обеспечивает прирост однолетних побегов яблонь на 9–12,8%, окружности штамба на 9,6–10,8% и высоты деревьев на 6,8–9,8%. За счет улучшения микроклиматических показателей в среде развития яблонь и их водного режима урожайность яблонь повышается на 5,6–9,9%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Annual Report 2011-12 ICID. – New Delhi (INDIA): International Commission on Irrigation and Drainage, 2012. – P. 61-66 (Appendix-1 - World Irrigated Area; Appendix-2 – Sprinkler and Micro Irrigated Area; Appendix-3 – World Drained Area).
- [2] Sezen S.M., Yazar A., Kapur B., Tekin S. (2011) Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*, vol. 98, issue 7, 1153-1161.
- [3] Maraseni T.N., Mushtaq S., Reardon-Smith K. (2012) Integrated analysis for a carbon- and water-constrained future: An assessment of drip irrigation in a lettuce production system in eastern Australia. *Journal of Environmental Management*, volume 111, 220-226.
- [4] Albaji M., Shahnazari A., Behzad M., Naseri A., Boroomand Nasab S., Golabi M. (2010) Comparison of different irrigation methods based on the parametric evaluation approach in Dosalegh plain: Iran. *Agricultural Water Management*, vol. 97, issue 7, 1093-1098.
- [5] Boman B., Sanden B., Peters T., Parsons L. (2012) Current status of microsprinkler irrigation in the United States. *Applied Engineering in Agricultural*, vol. 28, issue 3, 359-366.
- [6] Rodrigues G.C., Paredes P., Goncalves J.M., Alves I., Pereira L.S. (2013) Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modelling: Ranking for water saving vs. farm economic returns. *Agricultural Water Management*, vol. 126, 85-96.
- [7] Штепа Б.Г., Носенко В.Ф., Винникова Н.В. и др. Механизация полива: Справочник. М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
- [8] Орошение и использование водных ресурсов // Доклад генерального секретаря конференции / Конференция ООН по вопросу о применении научно-технических знаний для удовлетворения потребностей менее развитых стран. – Женева, 1962.

- [9] Баданова К.А. Влияние суховея на растения в условиях оптимального водоснабжения // Водный режим растений и их продуктивность. – М.: Наука, 1968. – С. 256-268.
- [10] Александров А.Д., Рассолов Б.К., Чичасов В.Я., Горшков В.В. Мелкодисперсное дождевание сельскохозяйственных культур // Прогрессивные способы орошения, включая машинное орошение. Международный конгресс по ирригации и дренажу. – Вопрос 32. Сборник статей советских специалистов. – М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975. – С. 58-78.
- [11] Павлова Д.П. Практикум по агрометеорологии. – Л.: Гидрометеониздат, 1984. – 184 с.
- [12] CN102172197 (A). Impulse type drip irrigation system // Shengguo G, Xiuqiao H. Application number CN2011174154 20110328, 07.09.2011.
- [13] Инновационный патент РК № 26144. Оросительная система // Жарков В.А., Калашников А.А., Джумабеков А.А., Гричаная Т.С., Ангольд Е.В. // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. Изобретения. Полезные модели. – 2012. – № 9.
- [14] Инновационный патент РК № 22850. Импульсный капельно-дождевальным водовыпуск // Жарков В.А., Гричаная Т.С., Ангольд Е.В. и др. // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. Изобретения. Полезные модели. – 2010. – № 9.
- [15] Жарков В.А., Калашникова Л.П., Ангольд Е.В., Цхай М.Б. Водоресурсосберегающие технологии полива в сельскохозяйственном производстве // Материали за IX международна научна практична конференция «Бъдещите изследвания - 2013». – Т. 25. Селскостопанство. Ветеринарна наука. – София, 2013. – С. 3-7.