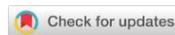


УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-130-162



### Ссылки для цитирования:

Романовская А.Ю., Шумакова К.Б. Регулирование водного режима дерново-подзолистой почвы в условиях плодового питомника и характер распределения влаги в почвенном профиле при различных режимах увлажнения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 130-162. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-130-162

### Cite this article as:

Romanovskaya A.Yu., Shumakova K.B., Regulation of water regime of sod-podzolic soil in fruit tree nursery and water distribution pattern in the soil profile under different irrigation regimes, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 130-162, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-130-162

## Регулирование водного режима дерново-подзолистой почвы в условиях плодового питомника и характер распределения влаги в почвенном профиле при различных режимах увлажнения

© 2020 г. А. Ю. Романовская<sup>1\*</sup>, К. Б. Шумакова<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,  
119017, Москва, Пыжжевский пер., 7, стр. 2,  
\* e-mail: [burmistrovaann13@mail.ru](mailto:burmistrovaann13@mail.ru).

<sup>2</sup>РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия,  
127550, Москва, Тимирязевская ул., 49,  
\*\* e-mail: [kshum@bk.ru](mailto:kshum@bk.ru).

Поступила в редакцию 16.02.2020, после доработки 05.03.2021,  
принята к публикации 15.03.2021

**Резюме:** По результатам полевого опыта, проведенного в питомнике Мичуринского сада РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, разработаны и обоснованы рациональные режимы орошения саженцев яблони разного возраста (одно-, двух- и трехлетних). Избыточные воды отводились с опытного участка закрытой дренажной системой, а для полива использовалась система капельного орошения, позволяющая поддерживать влажность в узком диапазоне за счет регулярных поливов небольшими нормами. Режимы орошения оценивались по отзывчивости

саженцев, а именно: измерялись биометрические параметры, впоследствии определяющие урожайность яблони во взрослом саду (средние высота растений, диаметр штамба на высоте 20 см, площадь листовой поверхности), а также рассчитывался выход стандартных саженцев. Для выращивания однолетних саженцев яблони рекомендовано поддерживать влажность почвы в интервале 70–90% НВ. При таком режиме орошения обеспечивается максимальный выход стандартных саженцев (1-ой и 2-ой категории) – 25.9 тыс. штук га<sup>-1</sup>, средняя площадь листовой поверхности составляет 1 468 см<sup>2</sup>, диаметр штамба – 1.8 см, высота – 140 см. Для двух- и трехлетних саженцев разработан дифференцированный режим орошения, при котором влажность и глубина увлажняемого слоя изменяются по мере развития корневой системы. В первый год при слабо развитой корневой системе влажность почвы следует поддерживать в диапазоне 70–90% НВ в слое 0–30 см, для саженцев второго и третьего года – 60–80% НВ в слое 0–40 см и 0–50 см соответственно. Высота двухлетних саженцев составила в среднем 174 см, площадь листовой поверхности – 3 715 см<sup>2</sup>, диаметр штамба на высоте 20 см – 2.3 см, выход стандартных саженцев – 25 тыс. штук с 1 га. Трехлетние саженцы в высоту достигали 214 см, характеризовались площадью листовой поверхности 5 973 см<sup>2</sup>, диаметром штамба на высоте 20 см – 2.8 см, выход стандартных саженцев – также 25 тыс. штук с 1 га. Кроме того, для двух вариантов орошения (60–80% НВ и 70–90% НВ) получены контуры увлажнения почвы сразу после полива, через сутки и перед началом следующего полива, рассчитаны площади сегментов в вертикальном сечении контура, позволяющие определить характер распределения влаги по профилю и дать сравнительную характеристику орошаемым вариантам. Полученные контуры увлажнения свидетельствуют об отсутствии непроизводительных потерь оросительной воды на инфильтрацию в нижележащие горизонты при рассмотренных режимах капельного орошения.

**Ключевые слова:** капельное орошение, дифференцированный режим орошения, контур увлажнения, саженцы яблони, посадочный материал.

## **Regulation of water regime of sod-podzolic soil in fruit tree nursery and water distribution pattern in the soil profile under different irrigation regimes**

**A. Yu. Romanovskaya<sup>1\*</sup>, K. B. Shumakova<sup>2\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,  
\*e-mail: [burmistrovaann13@mail.ru](mailto:burmistrovaann13@mail.ru).*

<sup>2</sup>*Russian State Agrarian University –  
Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,  
49 Timiryazevskaya Str., Moscow 127550, Russian Federation,  
\*\*e-mail: [kshum@bk.ru](mailto:kshum@bk.ru).*

*Received 16.02.2020, Revised 05.03.2021, Accepted 15.03.2021*

**Abstract:** Based on the results of field experiments carried out in the nursery of Michurin garden of Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, rational irrigation schedules for apple-tree seedlings of different age (1-, 2- and 3-year-old) were developed and scientifically substantiated. Excess water was diverted from the experimental plot by underground drainage system, and the drip irrigation system was used for watering plants. With its characteristic low rate of water usage and highly frequent irrigation applications it allows the moisture content to be maintained within a narrow range. The effectiveness of irrigation schedules was evaluated by the response of seedling – their biometric characteristics, determining the productivity of apple trees in orchard in future, such as average plant height, stem diameter at 20 cm height, leaf surface area, which were measured. The amount of high-quality planting stock was recorded in each variant as well. In order to obtain 1-year-old apple seedlings it is recommended to maintain soil moisture within the range of 70–90% of field capacity (FC). This irrigation schedule results in the maximum amount of standard planting stock (1-st and 2-nd category) – 25.9 thousand seedlings per ha, with the average leaf surface area of 1 468 cm<sup>2</sup>, trunk diameter – 1.8 cm, plant height – 140 cm. For 2- and 3-year-old seedlings the differentiated irrigation schedule was developed, whereby the moisture content and depth of the wetted layer varies as the root system grows. In the first year of growth soil moisture should be maintained within the range of 70–90% FC in 0–30 cm layer because of the poorly developed root system; for 2- and 3-year-old nurslings soil moisture can be reduced to 60–80% FC in 0–40 cm and 0–50 cm layer respectively. The height of 2-year-old seedlings was on average 174 cm, leaf surface area – 3 715 cm<sup>2</sup>, stem diameter at 20 cm height was 2.3 cm, the amount of standard planting stock was 25 thousand seedlings per ha. The 3-year-old seedlings reached the height of 214 cm, were characterized by leaf surface area of 5 973 cm<sup>2</sup>, stem diameter at 20 cm of 2.8 cm, the yield of standard seedlings was also 25 thousand seedlings per ha. Moreover, for two variants of irrigation (60–80% FC and 70–90% FC) moisture distribution contours immediately after irrigation, 24 hours after irrigation and before the next irrigation application were designed. The areas of segments with different moisture content in

vertical section of contours were calculated, thus, revealing the character of moisture distribution down the soil profile and allowing performance of comparative characteristic of irrigation schedules. The obtained wetting contours indicate the absence of unproductive losses of irrigation water for infiltration into the underlying horizons when the considered drip irrigation schedules were applied.

**Keywords:** drip irrigation, differentiated irrigation schedule, vertical moisture distribution contour lines, apple tree seedlings, planting stock.

## ВВЕДЕНИЕ

В Центральном районе и непосредственно в Подмоскowie реализуются главным образом саженцы яблони, доля которых составляет 67.5% ([Иволгин, 2002](#)), чем и объясняется необходимость интенсивного развития плодовых питомников с целью обеспечения садоводов посадочным материалом высокого качества.

Влагообеспеченность плодовых растений в период вегетации – один из важнейших факторов, обеспечивающих их нормальное развитие и высокую продуктивность ([Шугай, 2005](#)). Несмотря на избыточное увлажнение, Московская область характеризуется крайне неравномерным распределением осадков в течение вегетационного периода, что негативно сказывается на качестве посадочного материала ([Иволгин, 2002](#); [Рожнов, 2004](#); [Сергиенко, 2008](#)). Все это указывает на необходимость грамотного подбора способов и режимов орошения, разработанных и адаптированных на основании результатов научных исследований, проведенных с саженцами различных видов плодовых культур в конкретной природно-климатической зоне.

Орошение способствует увеличению выхода стандартных саженцев в питомниках, находящихся в зонах неустойчивого, неравномерного и недостаточного увлажнения. Прежде всего, это объясняется поверхностной корневой системой большинства саженцев.

Непрерывное влагообеспечение саженцев в течение вегетационного периода – основное условие функционирования любого из подразделений питомника, вне зависимости от конечной задачи, стоящей перед каждым из них. Дефицит влаги на любой стадии выращивания посадочного материала негативно сказывается

на его качестве.

Правильно проводимые осушительно-оросительные мелиорации способствуют созданию оптимального водного режима и связанных с ним воздушного, питательного, микробиологического, температурного режимов почвы для полноценного роста и развития растений. Рациональные научно обоснованные режимы орошения, разработанные для почвенно-климатических условий конкретных территорий, должны обеспечивать повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при сохранении почвенного плодородия или его улучшении за счет оптимизации различных процессов, протекающих в почве.

Капельный полив является перспективным не только в южных регионах страны, но и в Нечерноземной зоне, поскольку, несмотря на избыточное увлажнение, распределение осадков здесь крайне неравномерно, особенно в летние месяцы. При этом в рамках концепции устойчивого развития следует внедрять в практику научно-технические достижения, осваивать технологии, отвечающие принципам ресурсосбережения, и в целом модернизировать производство.

Отмечаемая в последнее время в Московской области флуктуация погодных условий подтверждает в принципе необходимость проведения оросительных мероприятий в данном регионе и актуальность капельного полива как наиболее технологичного способа. Более того, по литературным данным, даже в условиях влажного климата Нидерландов капельное орошение улучшило приживаемость саженцев и на 30–40% ускорило рост побегов ([Сабиров, Раззаков, 1990](#)).

Исходя из приведенных данных, можно утверждать, что даже в зоне избыточного увлажнения в течение вегетации наблюдаются декады с неравномерной и недостаточной влагообеспеченностью, которые могут совпадать с критическими фазами развития саженцев, когда растения особенно сильно нуждаются в оптимальном увлажнении корнеобитаемого слоя для нормального роста и развития. А избыточное увлажнение должно регулироваться осушительной сетью. Таким образом, для условий Московской области наиболее актуальными становятся системы двустороннего регулирования.

Необходимо отметить, что для почвенно-климатических условий Московской области на данный момент отсутствуют научно обоснованные рекомендации по режиму орошения саженцев яблони при капельном поливе.

Цель работы состоит в обосновании рационального режима орошения при капельном поливе питомника для получения высококачественного посадочного материала яблони на дерново-подзолистых почвах Московской области, при условии отведения избыточных поверхностных вод посредством закрытой дренажной системы.

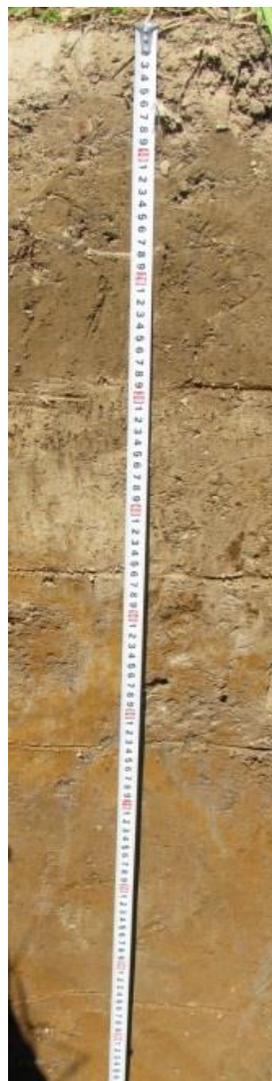
## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования стала почва опытного участка Мичуринского сада РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. Почвенный покров опытного орошаемого участка представлен дерново-среднеподзолистой, среднесуглинистой, глубокопахотной, глееватой, окультуренной почвой на моренном суглинке, который на глубине 140–160 см подстилается подморенными песками. Рисунок 1 представляет собой морфологическое описание почвенного разреза, заложенного на участке постановки опыта.

Почва опытного участка хорошо окультурена и характеризуется мощным пахотным горизонтом (30 см), при этом содержание гумуса достигает в среднем 2.7%. В результате регулярного внесения больших доз органических удобрений и систематического известкования почва имеет слабокислую реакцию в пахотном горизонте ( $pH_{\text{сол}} 5.7$ ) с дальнейшим ее снижением вниз по профилю. Почва хорошо обеспечена подвижным фосфором и обменным калием и средне обеспечена азотом. Содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое составляет 76 мг/100 г почвы и резко снижается в нижних горизонтах.

Причиной повышенного плодородия почвы в Мичуринском саду является то, что начиная с 1971 г. ежегодно вносятся в большом количестве органические удобрения в виде полуперепревшего двухлетнего компоста из конского навоза, опилок, древесной золы и нитроаммофоски.

$A_{\text{пах}}$	$\frac{0 - 30}{30}$	Серый, среднесуглинистый, комковатый, рыхлый, включения корней травянистых растений, железа и марганца, четкий переход по цвету.
$A_2$	$\frac{30 - 46}{16}$	Белесовато-серый, комковато-пылеватый, легкосуглинистый, плотный, включения железа (железистые пятна), постепенный переход по цвету.
$A_{2B}$	$\frac{46 - 62}{16}$	Окрашен неоднородно, бурый с серыми белесыми пятнами языковидной формы, легкосуглинистый, плотный, комковато-призматический, марганцевые включения, переход постепенный по цвету и плотности.
$B$	$\frac{62 - 97}{24}$	Рыжевато-бурый, ореховато-призматический, опесчаненный средний суглинок, плотный, марганцевые включения, сизые глееватые затеки, переход постепенный.
$BC$	$\frac{97 - 124}{27}$	Рыжевато-бурый, призматический, опесчаненный средний суглинок, плотный, глинистые включения, переход постепенный
$C$	$\frac{124 \text{ и}}{\text{глубже}}$	Рыжевато-бурый, бесструктурный, опесчаненный средний суглинок, плотный с включениями песчаных линз.



**Рис. 1.** Описание разреза, заложенного на участке постановки опыта.  
**Fig. 1.** Description of the soil profile laid at the experimental site.

Поскольку оросительные мероприятия планируются и рассчитываются исходя из физических свойств почвы, Н.А Качинский выделил целый ряд параметров, изучение которых необходимо для ирригационной характеристики орошаемой территории: механический состав почвы, плотность почвы, плотность твердой фазы, водопроницаемость и наименьшая влагоемкость почвы, максимальная гигроскопичность и влажность завядания растений, скважность почвы. В связи с этим основные показатели водно-физических свойств почвы исследуемого участка приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы опытного участка

**Table 1.** Water-physical properties of sod-podzolic soil of the experimental plot

Почвенный горизонт, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>	Общая пористость, %	НВ	МГ	ВЗ
				% от массы почвы		
A <sub>пах</sub> (0–30)	1.19	2.47	51.82	31.9	8.7	13.1
A <sub>2</sub> (30–46)	1.45	2.61	44.44	26.4	3.7	5.6
A <sub>2</sub> B (46–62)	1.51	2.68	43.66	21.3	4.2	6.3
B (62–97)	1.53	2.72	43.75	20.8	3.9	5.9
BC (97–124)	1.56	2.70	42.22	19.8	4.1	6.2
C (124 и ниже)	1.61	2.72	40.81	18.6	3.8	5.7

Исследовались четыре варианта (табл. 2):

I вариант – влажность почвы поддерживалась в диапазоне 70–90% НВ;

II – влажность почвы поддерживалась в диапазоне 60–80% НВ;

III вариант – дифференцированный (по годам) режим орошения, а именно: в первый год (2011 г.) влажность почвы поддерживалась в интервале 70–90% НВ, а на второй (2012 г.) и третий (2013 г.) годы исследований уровень увлажнения снижался до 60–80% НВ;

IV вариант – контроль, без орошения.

Кроме того, орошаемый слой с каждым годом увеличивается на 10 см по мере развития корневой системы, таким образом, в 2011 г. расчет поливных норм осуществлялся для горизонта 0–30 см, в 2012 г. – 0–40 см, в 2013 г. – 0–50 см.

Таким образом, ни в одном из вариантов влажность почвы не доводилась поливными нормами до 100% НВ, поскольку в результате рекогносцировочных исследований предыдущих лет при насыщении почвы влагой до 100% НВ капельным способом наблюдалась фильтрация поливной воды в нижележащие горизонты, вероятно, ввиду относительно легкого гранулометрического состава почвы опытного участка.

**Таблица 2.** Схема опыта

**Table 2.** Scheme of the experiment

Вариант опыта	Диапазон увлажнения почвы и мощность орошаемого слоя		
	2011 г.	2012 г.	2013 г.
I	70–90% НВ; 0–30 см	70–90% НВ; 0–40 см	70–90% НВ; 0–50 см
II	60–80% НВ; 0–30 см	60–80% НВ; 0–40 см	60–80% НВ; 0–50 см
III (дифференцированный)	70–90% НВ; 0–30 см	60–80% НВ; 0–40 см	60–80% НВ; 0–50 см
Контроль	без орошения	без орошения	без орошения

Поскольку увлажнение в регионе очень неравномерное, то в одни периоды требуется отвод избыточных вод с территории, а в другие – орошение, чтобы компенсировать недостаток влаги и обеспечить оптимальные условия для развития растений. В связи с этим на опытном участке функционирует оросительно-осушительная сеть. Осушительная сеть представлена закрытой дренажной системой, пластиковые дрены уложены на глубине 1–1.5 м. Для полива использовалась многолетняя капельная линия

MULTIBAR, оснащенная системой автокомпенсации, которая при изменении рабочего давления за счет силиконовой мембраны обеспечивает постоянный расход 3.8 л/час.

Кроме того, эффективность изучаемых режимов орошения определяли по отзывчивости саженцев яблони, для чего определяли их биометрические показатели, поскольку одно- и двухлетние саженцы еще не способны к плодоношению и невозможно оценить их продуктивность через урожайность. Следовательно, еще одним объектом исследования были саженцы яблони в питомнике (в статье приводятся данные по одному из сортов – Белый налив), где изучались особенности их формирования в зависимости от разных условий влагообеспеченности.

Методика проведения исследований составлена с учетом “Программно-методических указаний по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами” под редакцией Н.Д. Спиваковского ([Спиваковский, 1956](#)), “Программой и методикой исследований по орошению плодовых и ягодных культур” С.Н. Маркова ([Марков, 1985](#)), “Методикой полевого опыта в условиях орошения” В.Н. Плешакова ([Плешаков, 1983](#)), “Методикой постановки опытов с плодовыми, ягодными и цветочно-декоративными растениями” под ред. В.А. Комиссарова ([Комиссаров, 1982](#)), “Методикой полевого опыта” Б.А. Доспехова ([Доспехов, 2011](#)).

Для установления оптимального режима орошения в опыте измерялись биологические параметры, характеризующие развитие надземной части растений (высота, площадь листовой поверхности, диаметр штамба, прирост однолетних побегов), которые оказывают влияние на развитие плодовых деревьев и на урожайность садов в дальнейшем, а также оценивалось развитие корневой системы. Площадь листовой поверхности определялась в соответствии с “Программой и методикой исследований по вопросам почвенной агротехники в интенсивном садоводстве” под редакцией В.А. Потапова ([Каширская, 2011](#); [Потапов, 1976](#)), которая позволяет проследить развитие листовой поверхности саженцев в динамике. Корневая система исследовалась по методике В.А. Колесникова, описанной в работе “Корневая система плодовых и ягодных культур и методы ее изучения” ([Колесников, 1962](#); [Рожков и др., 2004](#)).

Определение физико-химических и водно-физических свойств почвы в Мичуринском саду проводилось по общепринятым методикам.

Влажность почвы контролировалась ежедневно, а также до и после поливов, с помощью тензиометров и почвенного влагомера-термометра TR 46908 di Turoni & c. Snc (Италия) с различными щупами для проведения измерений на разной глубине, оттарированных на основании результатов более точного, но более трудоемкого термостатно-весового метода. Более того, ежедекадно и после выпадения обильных осадков отбирались образцы почвы во всех вариантах на определение влажности термостатно-весовым методом.

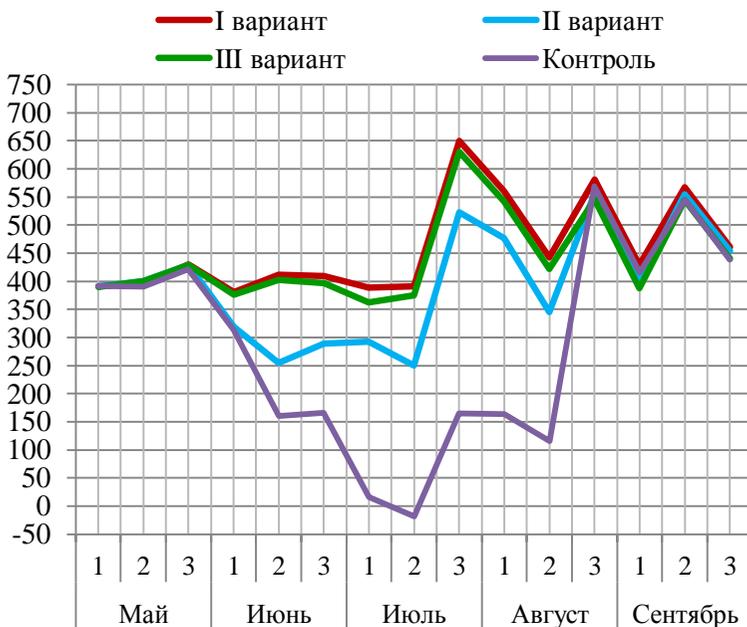
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольший контраст между орошаемыми вариантами и контрольным неорошаемым вариантом отмечен в 2011 г., где в силу засушливых метеорологических условий года в течение всего периода вегетации наблюдается острый дефицит запасов продуктивной влаги в почве. Влажность почвы орошаемых вариантов колеблется в узких пределах и относительно постоянна, что же касается контрольного варианта, то в начале вегетации влажность почвы во всех вариантах поддерживалась на уровне 75% НВ и выше благодаря приживочным поливам. В дальнейшем в контрольном варианте после прекращения приживочных поливов содержание влаги в почве неукоснительно падало, опускаясь ниже значения 40% НВ (рис. 1). Резкие скачки влажности в этом варианте приурочены к выпадению продуктивных осадков, которых в 2011 г. было немного, особенно в период вегетации. Увеличению этих запасов способствовали осадки, выпавшие во второй декаде августа и в сентябре.

В целом за три года исследований орошаемые варианты отмечены как наиболее благоприятные для развития растений ввиду отсутствия циклов сильного иссушения с последующим перувлажнением почвы, что характерно для контрольного варианта (рис. 1).

Подпитывание грунтовыми водами было незначительным предположительно в силу относительного легкого гранулометри-

ческого состава почвы и глубокого залегания грунтовых вод. В 2011 г. при залегании грунтовых вод на уровне около 3 м практически в течение всей вегетации приход влаги либо отсутствовал, либо в среднем за декаду составлял  $0.7\text{--}3\text{ м}^3/\text{га}$ , в 2012 г. –  $1.3\text{--}6\text{ м}^3/\text{га}$ , в 2013 г. –  $2.7\text{--}11\text{ м}^3/\text{га}$ . Объем дренажного стока за период с конца августа по сентябрь включительно был минимальным в 2011 г. –  $492\text{ м}^3/\text{га}$ , в 2012 г. –  $640\text{ м}^3/\text{га}$ , максимальных значений дренажный сток достиг в 2013 г. –  $1\,886\text{ м}^3/\text{га}$ , причем основной сток отмечен в 3-й декаде августа – сентябре, когда выпало  $244.7\text{ мм}$  осадков.



**Рис. 1.** Динамика запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы (0–30 см) в 2011 г.,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

**Fig. 1.** Dynamics of productive moisture reserves in the arable horizon of sod-podzolic soil (0–30 cm) in 2011,  $\text{m}^3/\text{ha}$ .

Поступление воды в почву, ее передвижение по профилю и распределение имеют большое значение для жизни растений. При

капельном орошении вода поступает в почву небольшими дозами, впитываясь в почву, она становится ее частью и перемещается по законам, общим для всех способов полива ([Ахмедов и др., 2010](#)). Вода из капельницы проходит определенное расстояние в почве, при этом формируется постоянная зона увлажнения, величина и конфигурация которой зависят от свойств почвы, поливной нормы, конструкции и расходных характеристик капельниц. Остается не выясненным, как сильно изменяется контур увлажнения в дерново-подзолистых почвах при различных поливных нормах, как распределяется влага в почве после полива. Эти вопросы непосредственно связаны с оптимизацией капельного способа полива для условий Московской области, поскольку элементы технологии капельного орошения в первую очередь включают параметры контура увлажнения: его наибольшую глубину, ширину, горизонтальную и вертикальную площадь, а также влагонасыщенность.

Поскольку вопрос о распределении влаги в почве имеет большое значение для роста и развития растений, а подвижность и доступность влаги тесно связаны с уровнем увлажнения почвы, в настоящем исследовании были изучены контуры увлажнения дерново-подзолистой почвы при капельном орошении и характер распределения почвенной влаги после поливов в зависимости от поливных норм и мощности орошаемого горизонта.

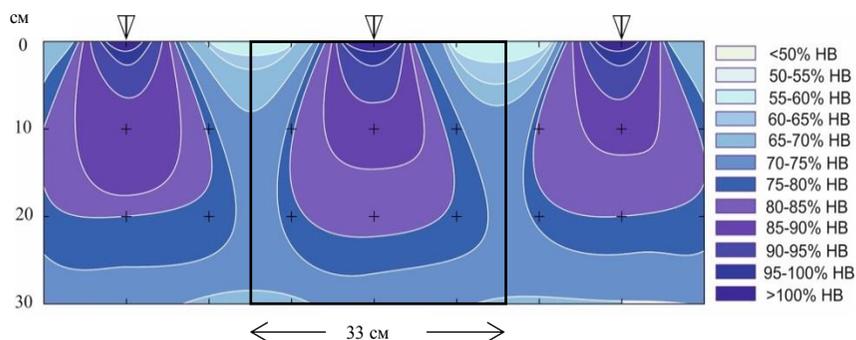
Для оценки соответствия водного режима почвы биологическим требованиям культуры некоторые исследователи ([Бородычев и др., 2009, 2012](#)) предложили сопоставить долю оптимального увлажнения до и после полива. В результате ими было установлено, что при частых поливах небольшими нормами доля площади зон с биологически оптимальным влагосодержанием до и после орошения практически одинакова. Повышение поливной нормы приводит к перераспределению зон с различной степенью увлажнения, значительным изменением их площади и места расположения. Это вызвано ростом числа элементарных участков, которые расположены на периферии контура увлажнения и характеризуются содержанием влаги, близким к нижнему порогу биологически оптимального уровня. В результате испарения и транспирации они переходят в состояние с неблагоприятным для растения водным режимом почвы. Таким образом, доля площади контура

увлажнения с оптимальным водно-воздушным режимом переходит в состояние, когда влага становится труднодоступной растениям, увеличивается пропорционально возрастанию поливной нормы ([Бородычев и др., 2009, 2012](#)). Однако следует отметить, что эти выводы сделаны для почв южных регионов (преимущественно для Нижнего Поволжья), что же касается Московской области, то попытки изучить контуры увлажнения были предприняты профессором А.В. Шуравилиным и его учениками, что нашло отражение в работе А.М. Елсайеда ([2011](#)) по обоснованию режима капельного орошения земляники.

На основании результатов полевых и лабораторных изысканий были получены следующие контуры увлажнения при капельном поливе для каждого варианта орошения по трем годам исследований. Сетка точек отбора проб на влажность размечена с интервалом в 10 см, эти точки на рисунках отмечены крестиками.

На рисунках 2, 3 приведены контуры увлажнения для вариантов орошения 70–90% НВ и 60–80% НВ соответственно, сформировавшиеся сразу после полива. В 2011 г. поливная норма в среднем составила 41 м<sup>3</sup>/га для обоих вариантов, поскольку интервал увлажнения составлял 20% НВ, а варианты отличались нижним и верхним пределом влажности почвы. Мощность орошаемого слоя составила 0–30 см. Нижняя граница контуров имеет выположенный характер, вероятно, ввиду резкого увеличения плотности подпахотного горизонта (1.45 г/см<sup>3</sup>), который начинается с глубины около 30 см. Непосредственно под капельницами сразу после полива образуются небольшие “лужицы” – зоны с избыточной влажностью 100–105% НВ ([Бурмистрова, 2013](#)). Подобные контуры увлажнения были получены в 2012 и 2013 гг. для слоя почвы 0–40 см и 0–50 см соответственно, подробно они описаны в работе А.Ю. Бурмистровой ([2013](#)). В данной статье приводятся результаты за 2011 г.

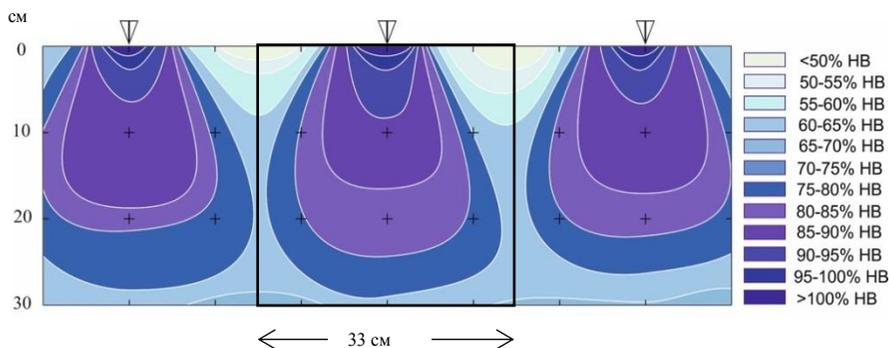
Изолинии, отделяющие сегменты с разной влажностью, проведены методом интерполяции на основе точек с известной влажностью. Безусловно, эти контуры не являются абсолютно точной характеристикой распределения влаги в почве, тем не менее, они весьма наглядны и позволяют сравнить рассматриваемые режимы орошения.



Влажность, % НВ	>100	95–100	90–95	85–90	80–85	75–80	70–75	55–70
Площадь доли, см <sup>2</sup>	9	19	44	127	233	202	252	104

**Рис. 2.** Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) сразу после полива в I варианте (70–90% НВ) в 2011 г. (Бурмистрова, 2013).

**Fig. 2.** Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) immediately after irrigation in variant I (70–90% of field capacity) in 2011 (Burmistrova, 2013).



Влажность, % НВ	>100	95–100	90–95	85–90	80–85	75–80	60–65	<60
Площадь доли, см <sup>2</sup>	11	15	54	161	228	237	172	112

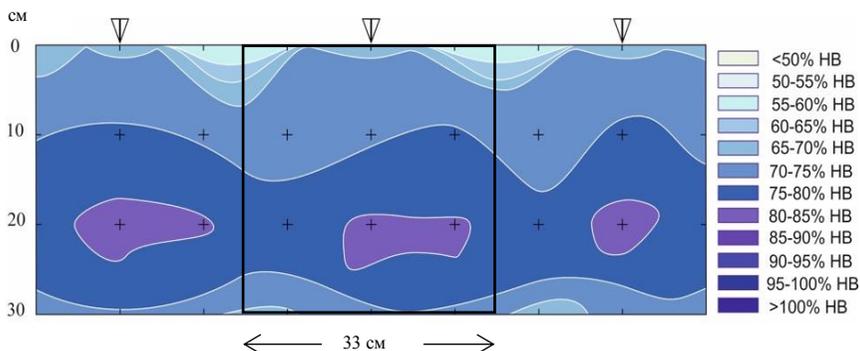
**Рис. 3.** Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) сразу после полива во II варианте (60–80% НВ) в 2011 г. (Бурмистрова, 2013).

**Fig. 3.** Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) immediately after irrigation in variant II (60–80% of field capacity) in 2011 (Burmistrova, 2013).

Например, непосредственно после орошения контуры весьма схожи во всех орошаемых вариантах с той лишь разницей, что во II варианте (60–80% НВ) почва более иссушена между капельницами и влага распространяется преимущественно вниз по профилю, а не в боковом направлении, формируя таким образом более четкий контур. В этом контуре отсутствует доля с влажностью 65–75% НВ, зато между капельницами встречаются зоны с влажностью менее 60% НВ и их площадь в вертикальном сечении составляет 112 см<sup>2</sup>. В более увлажненных I и III вариантах (70–90% НВ), наоборот, сегмент с влажностью 70–75% НВ имеет достаточно большую площадь – 252 см<sup>2</sup>, и именно при этом уровне влажности наблюдается слияние контуров между капельницами. Площади сегментов вертикального сечения рассчитывались в программе AutoCAD.

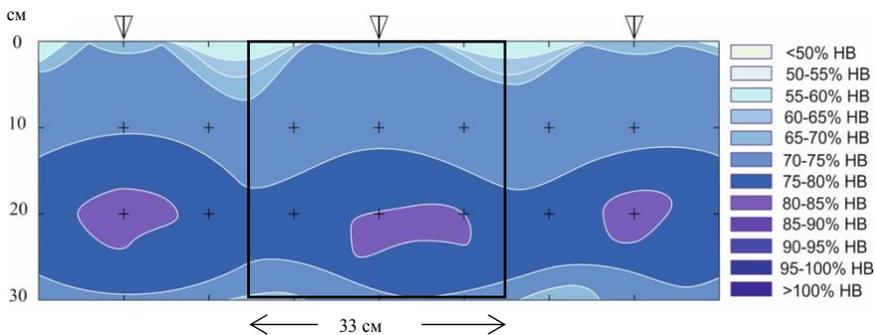
По результатам исследований Д.А. Ахмедова и Е.Ю. Галиуллиной ([Ахмедов и др., 2010](#)) наибольшая площадь контура увлажнения для всех поливных норм наблюдается через сутки после окончания полива, поэтому ниже приведены рисунки (рис. 4 и 5), отражающие распределение влажности через 24 часа после полива. В данном исследовании капельницы располагались близко друг к другу (33 см), поэтому через сутки после полива наблюдалось слияние большинства сегментов соседних контуров увлажнения ([Ахмедов и др., 2010](#)).

Рисунки 4 и 5 характеризуют распределение влаги в почве для тех же вариантов через сутки после полива, на которых в вертикальном сечении отчетливо видно окончательное смыкание контуров увлажнения, а также послойное распределение влаги, а под капельницами наблюдаются очаги с несколько бóльшим увлажнением. Так, для I варианта в верхнем слое почвы на глубине 5–15 см влажность колеблется в пределах 70–75% НВ (общей площадью сечения 349 см<sup>2</sup>), под ним полоса с влажностью 75–80% НВ (425 см<sup>2</sup>), ширина которой увеличивается под капельницами и уменьшается между капельницами. Внутри данной полосы наблюдаются очаги с влажностью 80–85% НВ (93 см<sup>2</sup>). Таким образом, основная масса корней сосредоточена в зоне с влажностью более 75% НВ.



**Рис. 4.** Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) через 24 часа после полива в I варианте (70–90% НВ) в 2011 г. (Бурмистрова, 2013).

**Fig. 4.** Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) in 24 hours after irrigation in variant I (70–90% of field capacity) in 2011 (Burmistrova, 2013).



**Рис. 5.** Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) через 24 часа после полива во II варианте (60–80% НВ) в 2011 г. (Бурмистрова, 2013).

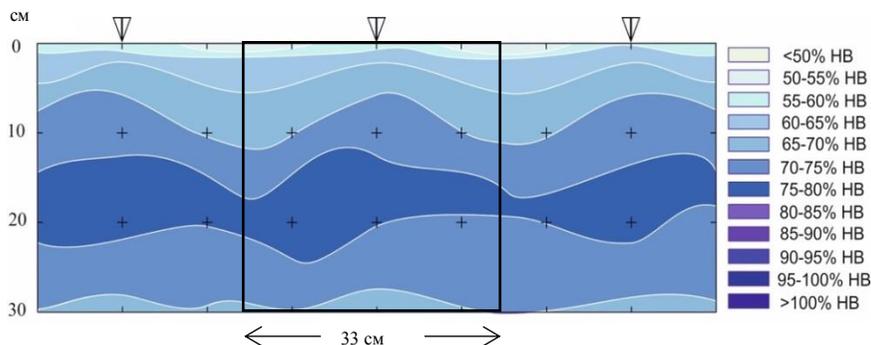
**Fig. 5.** Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) in 24 hours after irrigation in variant II (60–80% of field capacity) in 2011 (Burmistrova, 2013).

Похожая ситуация складывается и в варианте II, однако полоса с влажностью 75–80% НВ несколько уже и глубже и ее площадь в поперечном сечении меньше – 356 см<sup>2</sup>, и очаги с влажностью 80–85% НВ также по площади меньше – 74 см<sup>2</sup>. Основной сегмент в данном случае характеризуется влажностью 70–75% НВ и площадью 438 см<sup>2</sup>.

Перед началом очередного полива влага в почве также распределяется слоями с тенденцией к увеличению вниз по профилю (рис. 6). Подпахотный горизонт во всех вариантах отличается относительной стабильностью по содержанию влаги (на уровне 65–70% НВ). В I варианте межполивной период составил в среднем 2 дня, в целом в слое 5–25 см наблюдается оптимальный уровень увлажнения выше 70% – доля с влажностью 70–75% НВ составила 428 см<sup>2</sup>, с максимум на глубине 15–25 см (75–80% НВ, площадь сегмента 235 см<sup>2</sup>).

Кроме того, в это же время проводились работы по изучению развития корневой системы однолетних саженцев. Средняя длина корней диаметром 1–2 мм составляет 13–17 см, эти корни и расположенные на них корневые волоски выполняют основную всасывающую функцию и главным образом сосредоточены в зоне оптимального увлажнения (>70% НВ) в I варианте даже в предполивной период. Необходимо отметить, что время перед поливом – период наибольшего иссушения почвы в орошаемых вариантах. Более мощные корни диаметром 3–4 мм имеют длину 23–31 см, количество их существенно меньше (от 4 до 15 шт на одно растение), они выполняют преимущественно проводящую функцию, позволяют растению закрепляться в почве и также расположены в зоне увлажнения >70% НВ. Минимальная влагоопесоченность отмечается в поверхностных слоях и особенно выражена между капельницами и в междурядьях (рис. 6).

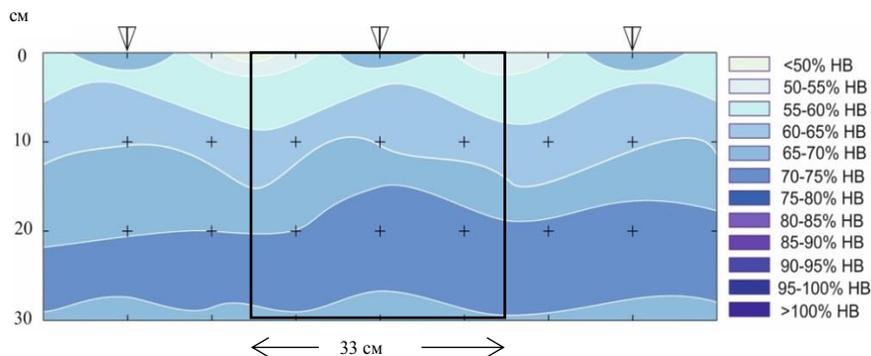
Во II варианте (рис. 7) влага распределяется аналогичным образом, только максимальная влажность наблюдается уже на глубине 20–27 см и составляет 70–75% НВ, что меньше по сравнению с вариантом I, поскольку предполивной порог влажности в данном варианте ниже и поливы проводились реже (межполивной период варьировал от 3 до 7 дней).



Влажность, % НВ	75-80	70-75	65-70	60-65	55-60	50-55
Площадь доли, см <sup>2</sup>	235	428	197	87	27	16

**Рис. 6.** Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) перед началом следующего полива в I варианте (70–90% НВ) в 2011 г. ([Бурмистрова, 2013](#)).

**Fig. 6.** Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) before the next irrigation in variant I (70–90% of field capacity) in 2011 ([Burmistrova, 2013](#)).



Влажность, % НВ	70-75	65-70	60-65	55-60	50-55	<50
Площадь доли, см <sup>2</sup>	332	235	190	156	50	27

**Рис. 7.** Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) перед началом следующего полива во II варианте (60–80% НВ) в 2011 г. ([Бурмистрова, 2013](#)).

**Fig. 7.** Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) before the next irrigation in variant II (60–80% of field capacity) in 2011 ([Burmistrova, 2013](#)).

При этом в зоне наибольшего распространения тонких корней влажность держится на уровне 55–65% НВ, эта зона включает два сегмента (55–60% и 60–65% НВ) суммарной площадью 206 см<sup>2</sup>, что уже не так благоприятно сказывается на развитии надземной массы однолетних саженцев (табл. 3). Хотя корни большего диаметра концентрируются ниже в сегментах 65–70% НВ (235 см<sup>2</sup>) и 70–75% НВ (площадь сегмента – 332 см<sup>2</sup>).

Биометрические показатели свидетельствуют о том, что однолетние растения, у которых еще только формируется корневая система, даже при таком увлажнении начинают страдать от недостатка воды в поверхностных слоях.

Полученные контуры увлажнения свидетельствуют о том, что “поливная вода концентрируется в пределах орошаемого слоя в каждый год исследований, тем самым исключаются потери поливной воды на фильтрацию в нижележащие горизонты” ([Бурмистрова, 2013](#)). Такого эффекта удалось достигнуть более частыми поливами небольшими нормами.

По данным Поспишиловой Л. ([1989](#)), при капельном орошении на формирование контура увлажнения и на глубинный отток влияют не только значения давления в глубине почвы под капельницей, но и давление влаги в междурядье и в межкапельной зоне ([Поспишилова, 1989](#)). Чем ниже будет это давление, тем слабее будет выражен поток влаги в стороны от оси капельницы и значительнее направлен в глубинные слои почвы. Распространение влаги в горизонтальном направлении затруднено иссушенными зонами междурядий, глубинные слои почвы более влажные, распределение давления в них более равномерное, что определяет лучшее распространение в них влаги в стороны и по вертикальной оси капельницы. Сильное иссушение междурядий обычно имеет место при низких предполивных порогах. Контур увлажнения, сформировавшийся в таких условиях, является предпосылкой к появлению глубинного оттока влаги ([Assouline, 2002](#); [Поспишилова, 1989](#); [Бурмистрова, 2013](#)). Приведенные контуры увлажнения подтверждают эти данные, и влага весьма интенсивно распространяется в горизонтальном направлении вдоль капельной линии (особенно в варианте I), поскольку расстояние между капельницами небольшое (33 см) и иссушение пространств между растениями

(капельницами) происходит только с поверхности. Вероятно, этим объясняются некоторые закономерности развития корневой системы.

В данном случае необходимо отметить общую тенденцию для всех орошаемых вариантов – это специфическое расположение корневой системы, когда основная масса корней сконцентрирована ближе к поверхности почвы (по сравнению с неорошаемым вариантом) и вытягивается вдоль капельной линии, где создаются наиболее благоприятные водно-воздушные почвенные условия. Такое поверхностное расположение корней существенно облегчает работу по выкапыванию саженцев, при этом снижая вероятность механического повреждения и обрыва корней при подготовке к продаже или пересадке. В контрольном варианте, напротив, большинство корней устремляется вниз к более влажным глубоким горизонтам, тем самым затрудняя извлечение саженцев из почвы и увеличивая риск их повреждения.

Биометрические показатели однолетних саженцев яблони свидетельствуют о наиболее благоприятном режиме увлажнения в интервале 70–90% НВ (табл. 3). Для двух- и трехлетних саженцев наиболее рационален выбор дифференцированного режима орошения, поскольку снижение уровня увлажнения на 2-ой и 3-ий год до 60–80% НВ не оказывает отрицательного воздействия на качество и выход саженцев, при этом экономия поливной воды, по сравнению с вариантом I, составила 777 и 1 500 м<sup>3</sup>/га соответственно в 2012 и 2013 гг. Из таблицы 3 следует, что в вариантах I и III формируются высокие, хорошо облиственные саженцы с площадью ассимилирующей поверхности 1 433–1 448 см<sup>2</sup>, 3 715–3 997 см<sup>2</sup> и 5 973–6 033 см<sup>2</sup> в 2011, 2012 и 2013 гг. соответственно, а также с обильным приростом однолетних побегов.

Во II варианте, где в 1-ый и последующие годы влажность поддерживалась на заданном уровне (60–80% НВ), биометрические параметры оказались несколько ниже (табл. 3) по причине того, что перед проведением следующего полива активная зона (где сконцентрирована основная масса корней) подвергалась иссушению до 55–60% НВ, что, по нашему мнению, и оказало негативное воздействие на формирование надземной части саженцев.

**Таблица 3.** Формирование надземной части растений и суммарный выход стандартных саженцев яблони (1-ого и 2-ого сорта) в питомнике  
**Table 3.** Formation of above-ground plant part and the total output of standard apple-tree seedlings (of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> quality categories) in the nursery garden

Вариант орошения	Средние значения по вариантам			
	Высота растений, см	Прирост однолетних побегов, см	Площадь листовой поверхности одного саженца, см <sup>2</sup>	Выход стандартных саженцев, тыс. шт./га
2011 год				
I вариант (70–90% НВ)	135.8	86.4	1 448	25.9
II вариант (60–80% НВ)	115.7	61.7	1 181	22.9
III вариант (дифф., 70–90% НВ)	139.9	84.1	1 433	25.8
Контроль (без орошения)	100.3	45.7	892	13.1
НСР <sub>0.5</sub> для фактора режим орошения	6.6	8.1	166.1	-
2012 год				
I вариант (70–90% НВ)	181.3	295.1	3 997	25.3
II вариант (60–80% НВ)	156.6	253.2	3 145	21.9
III вариант (дифф., 60–80% НВ)	173.8	301.1	3 715	25.0
Контроль (без орошения)	146.3	193.9	2 899	12.1
НСР <sub>0.5</sub> для фактора режим орошения	11.7	20.5	308.8	-
2013 год				
I вариант (70–90% НВ)	215.3	406.6	6 033	25.3
II вариант (60–80% НВ)	181.8	272.3	5 199	21.9
III вариант (дифф., 60–80% НВ)	213.7	371.5	5 973	24.9
Контроль (без орошения)	169.3	224.7	4 182	12.5
НСР <sub>0.5</sub> для фактора режим орошения	21.1	33.8	472.1	-

У растений, произрастающих в условиях недостаточного и неравномерного увлажнения (контрольный вариант), уменьшается листовая поверхность, уменьшается размер отдельного листа и число листьев на дереве, а также наблюдаются волны роста. Волны роста в неорошаемом варианте приурочены к выпадению осадков, которые, как правило, выпадают в конце вегетационного периода. Таким образом, нарушается процесс подготовки растения к перезимовке, поскольку при повышении влажности почвы начинается активный компенсаторный вегетативный прирост, хотя в этот период ростовые процессы должны замедляться, а механизмы перераспределения ассимилированного органического вещества должны инициироваться, обеспечивая готовность растения пережить зимние холода. Наименьшие значения площади листовой поверхности характерны для контрольного варианта – 892, 2 899 и 4 182 см<sup>2</sup> в 2011, 2012 и 2013 гг.

Наиболее отрицательное влияние ограниченной влажности почвы проявляется в период интенсивного роста растений (май-июнь).

Еще одним важным показателем является выход стандартных саженцев в пересчете на 1 га, максимальный выход саженцев 1-ой и 2-ой категории (по качеству) отмечен в вариантах I и III – около 25 тыс. штук на 1 га, чуть ниже значения во II варианте – около 22 тыс. штук на 1 га, а в контрольном варианте без орошения этот показатель в два раза меньше – около 13 тыс. штук на 1 га. Безусловно, это не означает, что в контрольном варианте половина растений засохла и погибла, однако их качество не соответствовало требованиям, предъявляемым к посадочному материалу для ведения интенсивного садоводства. Кроме того, часть растений, не попавших в 1-ую и 2-ую категории по качеству, не смогли возобновить свое развитие на второй год после зимовки.

В опытах М.Т. Тарасенко (1978 г.) яблони, выращенные из саженцев с диаметром 15–16 мм, были слабее яблонь, выращенных из саженцев с диаметром 19–20 мм, и за 19 лет дали более низкую урожайность ([Мережко, 1991](#)). В другом опыте увеличение диаметра штамба на 1мм повышало урожайность в первые два года плодоношения в среднем на 16 ц/га ([Мережко, 1991](#)).

Максимальные величины диаметра штамба характерны для I и III вариантов: 1.78 и 1.72 см в 2011 г., 2.38 и 2.30 см в 2012 г., 2.91 и 2.84 см в 2013 г. Во II варианте значения диаметра штамба оказались несколько ниже: 1.63, 1.91 и 2.49 см в 2011, 2012 и 2013 гг. соответственно. Минимальный диаметр штамба зарегистрирован в контрольном варианте: 1.30, 1.55 и 2.23 см.

Также необходимо отметить, что в 2013 г. некоторые саженцы уже вступили в фазу плодоношения, в вариантах I и III их доля составила 17–18%, во II варианте – 12%, в контроле – 6%. В общей сложности урожай достиг в I варианте 4.6 кг, в III – 4.4 кг, во II – 3.1 кг, в контроле – 2 кг. Эти показатели конечно же очень невелики, чтобы на их основе доказательно говорить о продуктивности саженцев из различных вариантов, однако по факту такая тенденция намечена.

Усиленный рост и ранняя продуктивность саженцев яблони при рассмотренных режимах капельного орошения обусловлены постоянным обеспечением их достаточным количеством доступной влаги и питательными веществами в корнеобитаемой зоне благодаря частым поливам небольшими нормами. При традиционных способах полива запас легкодоступной почвенной влаги быстро истощается, что является причиной замедленного роста и низкой урожайности молодых деревьев. Например, в соответствии с существующими рекомендациями по орошению питомников дождеванием, поливные нормы составляют 300–350 м<sup>3</sup>/га, число поливов – 5–6, а межполивной период – 20–25 дней, при таком режиме орошения растения испытывают стресс от цикличности избыточного увлажнения такими большими нормами непосредственно при поливе и после него, а затем – от недостаточного увлажнения к концу межполивного периода. Капельный полив при рассмотренных режимах позволяет постоянно поддерживать влажность в оптимальных пределах, таким образом обеспечивая баланс воздушного, питательного и других связанных с ней режимов.

С 1940 г. роль дополнительного увлажнения плодовых садов и ягодников даже в зоне так называемого избыточного увлажнения начинает осознаваться благодаря работе Шитта П.Г., в которой кратко отмечается влияние орошения на главные факторы

роста. Шитт П.Г. указывал, что полив молодых насаждений должен производиться более осторожно и заканчиваться раньше, чем полив взрослых деревьев. Он также подчеркивал необходимость более частых поливов при мелком залегании корневой системы и утверждал, что наиболее простым и единственно правильным способом конкретного определения в практических условиях сроков полива является наблюдение за влажностью почвы.

В соответствии с литературными данными ([Сабиров, Раззаков, 1990](#); [Трунов, 2004, 2010](#)) степень увлажнения почвы для питомников может варьировать в широких пределах – от 80% НВ и почти до уровня влажности завядания (Шитт, 1940), безусловно, такой низкий предел влажности целесообразен только в конце вегетационного периода. Основной период роста саженцев должен проходить при более высоком увлажнении почвы. Учитывая многолетний опыт по орошению с.-х. культур, можно полагать, что влажность почвы в большинстве случаев не должна быть ниже 60% НВ. Для выращивания саженцев в питомниках многие исследователи рекомендуют поддерживать влажность почвы в пределах 70–80% или 75–80% НВ ([Борисова, 1983](#); [Технология орошения ... , 1987](#); [Грязев, 1999](#); [Рожков и др., 2002](#); [Трунов, 2004, 2010](#); [Шугай, 2005](#)). В зависимости от гранулометрического состава почвы допускается снижение влажности до 80–75% НВ на тяжелых, 75–70% НВ – на средних и 60–65% НВ – на легких почвах. ([Трунов, 2004, 2010](#)). В течение всего периода вегетации плодовые культуры используют значительное количество воды, в южных регионах при падении влажности ниже 70% НВ начинается угнетение роста ([Шугай, 2005](#)). Однако и тут следует упомянуть, что все эти рекомендации относятся преимущественно к более засушливым регионам, где распространены другие типы почв. Тем более долгое время было распространено негласное мнение, что в Московской области в условиях избыточного увлажнения орошение как таковое в принципе нецелесообразно. Проведенные исследования доказали, что увлажнение в этой зоне крайне неравномерно в течение вегетации и проведение поливов просто необходимо, особенно в критические ювенильные фазы развития саженцев. Кроме того, полученные результаты позволили выбрать, уточнить и обосновать наиболее благоприятные уровни увлажне-

ния почвы из выше перечисленных применительно к конкретным почвенным и природно-климатическим условиям Москвы и Подмосковья. При этом отличительной особенностью изученных режимов орошения было то, что влажность не доводилась до 100% НВ ни в одном из вариантов. А также было доказано, что саженцы разного возраста (одно-, двух- и трехлетки) отличаются по требовательности к содержанию доступной влаги в почве.

## ВЫВОДЫ

1. Существующие рекомендации по орошению питомников носят несколько неопределенный характер, рекомендуемая влажность почвы варьирует в широких пределах и требует уточнения, кроме того эти рекомендации неактуальны для зоны избыточного увлажнения и дерново-подзолистых почв.
2. На основании выполненных исследований для условий Московской области разработаны и обоснованы рациональные режимы орошения одно-, двух- и трехлетних саженцев яблони при капельном поливе.
3. Биометрические показатели однолетних саженцев яблони свидетельствуют о наиболее благоприятном режиме увлажнения в интервале 70–90% НВ, где отмечена максимальная сила роста саженцев: средняя площадь листовой поверхности составляет 1 433–1 468 см<sup>2</sup>, диаметр штамба – 1.72–1.78 см, высота – 136–140 см. Выход стандартных саженцев 25.9 тыс. штук с 1 га.
4. Для двух- и трехлетних саженцев разработан дифференцированный режим орошения, при котором влажность и глубина увлажняемого слоя изменяется по мере развития корневой системы. В первый год при слабо развитой корневой системе влажность почвы следует поддерживать в диапазоне 70–90% НВ в слое 0–30 см, для саженцев второго и третьего года – 60–80% НВ в слое 0–40 см и 0–50 см соответственно. Такой режим обеспечил максимальный выход стандартного посадочного материала и экономию воды за вегетационный период от 777 (для двухлеток.) до 1500 м<sup>3</sup>/га (для трехлеток). Высота двухлетних саженцев составила 174 см, площадь листовой поверхности – 3 715 см<sup>2</sup>, диаметр штамба на высоте 20 см – 2.3 см, выход стандартных саженцев – 25 тыс. штук с 1 га. Трехлетние саженцы в высоту достигали 214 см, ха-

рактизовались площадью листовой поверхности  $5\,973\text{ см}^2$ , диаметром штамба на высоте 20 см – 2.84 см, выход стандартных саженцев – также 25 тыс. штук с 1 га.

5. Полученные контуры увлажнения свидетельствуют об отсутствии непроезжих потерь оросительной воды на инфильтрацию в нижележащие горизонты.

6. Контуры увлажнения, полученные сразу после полива, в обоих вариантах 60–80% и 70–90% НВ очень похожи, однако при меньшем пороге увлажнения контур более четкий. В этом контуре отсутствует доля с влажностью 65–75% НВ, зато между капельницами встречаются зоны с влажностью менее 60% НВ и их площадь в вертикальном сечении составляет  $112\text{ см}^2$ . В более увлажненных вариантах (70–90% НВ), наоборот, присутствует сегмент с влажностью 70–75% НВ и имеет достаточно большую площадь –  $252\text{ см}^2$ , и именно при этом уровне влажности наблюдается слияние контуров между соседними капельницами. Остальные сегменты в обоих контурах имеют схожую площадь вертикального сечения.

7. Через сутки после полива в вертикальном сечении отчетливо видно окончательное смыкание контуров увлажнения, а также послойное распределение влаги. Для I (70–90% НВ) варианта в верхнем слое почвы на глубине 5–15 см влажность колеблется в пределах 70–75% НВ (общей площадью сечения  $349\text{ см}^2$ ), под ним полоса с влажностью 75–80% НВ ( $425\text{ см}^2$ ), ширина которой увеличивается под капельницами и уменьшается между капельницами. Внутри данной полосы наблюдаются очаги с влажностью 80–85% НВ ( $93\text{ см}^2$ ). Таким образом, основная масса корней сосредоточена в зоне с влажностью более 75% НВ. Во II варианте влага перераспределяется несколько иначе: полоса с влажностью 75–80% НВ становится уже и залегает глубже, и ее площадь в поперечном сечении меньше –  $356\text{ см}^2$ , очаги с влажностью 80–85% НВ также по площади меньше –  $74\text{ см}^2$ . Основной сегмент в данном случае характеризуется влажностью 70–75% НВ и площадью  $438\text{ см}^2$ .

8. Наибольшая разница между вариантами заметна перед началом очередного полива. В I варианте в целом в слое 5–25 см наблюдается оптимальный уровень увлажнения выше 70% – доля с влажностью 70–75% НВ составила  $428\text{ см}^2$ , с максимум на глу-

бине 15–25 см (75–80% НВ, площадь сегмента 235 см<sup>2</sup>). Во II варианте максимальная влажность наблюдается уже на глубине 20–27 см и составляет 70–75% НВ. При этом в зоне наибольшего распространения тонких корней влажность держится на уровне 55–65% НВ, эта зона включает два сегмента (55–60% и 60–65% НВ) суммарной площадью 206 см<sup>2</sup>. Хотя корни большего диаметра концентрируются ниже в сегментах 65–70% НВ (235 см<sup>2</sup>) и 70–75% НВ (332 см<sup>2</sup>).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахмедов А.Д., Темерев А.А., Галиуллина Е.Ю.* Надежность систем капельного орошения // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2010. № 3 (19). С. 84–89.
2. *Борисова А.А.* Вопросы ускоренного производства и повышения выхода привитых саженцев яблони в питомниках средней зоны РСФСР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1981. 25 с.
3. *Бородычев В.В.* Современные технологии капельного орошения овощных культур. Коломна: ФГНУ ВНИИ “Радуга”, 2010. 241 с.
4. *Бородычев В.В., Дубенок Н.Н., Лытов М.Н., Белик О.А.* Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 4. С. 22–25.
5. *Бородычев В.В., Кривоуцкая Н.В., Кривоуцкий А.А., Стрижакова Е.А.* Продуктивность яблоневого сада интенсивного типа на капельном орошении // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2012. № 3 (27). С. 8–14.
6. *Бурмистрова А.Ю.* Регулирование водного режима почвы при капельном орошении плодовых питомников в Нечерноземной зоне: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2013. 229 с.
7. *Григоров М.С., Овчинников А.С., Боровой Е.П., Ахмедов А.Д.* Современные перспективные водосберегающие способы полива в Нижнем Поволжье. Волгоград: “Нива”, 2010. 244 с.
8. *Грязев В.А.* Выращивание саженцев для высокопродуктивных садов. Ставрополь, 1999. 208 с.
9. *Дашков В.Н., Радюк И.И., Дегтеров Д.В., Снежко Э.К.* Анализ способов орошения садовых культур в условиях республики Беларусь // Агропанорама. 2010. № 1. С. 11–16.
10. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.

11. *Елсайед А.М.* Обоснование режимов капельного орошения земляники на дерново-подзолистых почвах: Дис. ... к. с.-х. н. М., 2011. 192 с.
12. *Иволгин В.С.* Оптимизация по критериям ресурсосбережения производственных процессов в плодово-ягодных питомниках: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2002. 19 с.
13. *Каширская О.В.* Совершенствование технологии выращивания посадочного материала для интенсивных садов яблони в ЦЧР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2011. 22 с.
14. *Колесников В.А.* Корневая система плодовых и ягодных культур и методы ее изучения. М., 1962. 191 с.
15. *Марков Ю.А.* Программа и методика исследований по орошению плодовых и ягодных культур. Мичуринск: ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1985. 117 с.
16. *Мережко И.М.* Качество посадочного материала и продуктивность плодовых насаждений. Киев: “Урожай”, 1991. 152 с.
17. Программно-методические указания по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами / под ред. *Н.Д. Спиваковского*. Мичуринск, 1956. 184 с.
18. Методика постановки опытов с плодовыми, ягодными и цветочно-декоративными растениями / под ред. *В.А. Комиссарова*. М.: Просвещение, 1982. 240 с.
19. *Плешиков В.Н.* Методика полевого опыта в условиях орошения. Волгоград: ВНИИОЗ, 1983. 148 с.
20. *Постишилова Л.* Передвижение воды в почве при дождевании и капельном способе полива: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1989. 25 с.
21. *Потапов В.А.* Программа и методика исследований по вопросам почвенной агротехники в интенсивном садоводстве (методические рекомендации). Мичуринск: ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1976. 100 с.
22. *Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р.* Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, Моск. гос. ун-т леса, 2004. 40 с.
23. *Рожков В.А., Бондарев А.Г., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р.* Физические и водно-физические свойства почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, Моск. гос. ун-т леса, 2002. 73 с.
24. *Рожнов С.И.* Разработка технологии капельного орошения саженцев яблони в условиях Нижнего Поволжья: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2004. 204 с.
25. *Сабиров М.К., Раззаков М.Д.* Влияние капельного орошения на рост и урожайность садов (обзор). Ташкент, 1990. 24 с.

26. Сергиенко А.В. Капельное орошение молодого яблоневого сада на слаборослых подвоях: Дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2008. 226 с.
27. Сычев В.Г., Кузнецова Е.И. и др. Орошение и применение удобрений в Нечерноземной зоне РФ. Монография. М.: ЦИНАО, 2004. 276 с.
28. Технология орошения садов, ягодников и питомников (рекомендации). М.: Агропромиздат, 1987. 61 с.
29. Трунов Ю.В. Минеральное питание клоновых подвоев и саженцев яблони: научное издание. Мичуринск: Изд. Мич. ГАУ, 2004. 175 с.
30. Трунов Ю.В. Минеральное питание и удобрение яблони. Воронеж, Квартг, 2010. 400 с.
31. Шугай П.Ю. Режим капельного орошения школки плодовых культур при повышенных температурах окружающей среды: Дисс. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2005. 173 с.
32. Assaf R., Levin I., Bravdo B. The effect of soil water distribution in drip irrigation of apple trees on their growth and yield // Proc. International Roundtable Conference on microirrigation. Budapest, 1986. Vol. 1, pp. 19–25.
33. Assouline S. The Effects of Microdrip and Conventional Drip Irrigation on Water Distribution and Uptake // Soil Science Society of America Journal. 2002. Vol. 66. No. 5. pp. 1630–1636.
34. Zebe J.A., Serna-Perez A. Partial rootzone drying to save water while growing apples in a semi-arid region // Irrigation and Drainage. Managing water for sustainable agriculture. 2012. Vol. 61. No. 2. pp. 251–259.

## REFERENCES

1. Akhmedov A.D., Temerev A.A., Galiullina E.Yu., Nadezhnost' sistem kapel'nogo orosheniya (Reliability of drip irrigation systems), *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i professional'noe obrazovanie*, 2010, No. 3 (19), pp. 84–89.
2. Borisova A.A., *Voprosy uskorennoogo proizvodstva i povysheniya vykhoda privitykh sazhentsev yabloni v pitomnikakh srednei zony RSFSR: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Issues of accelerated production and increase in the yield of grafted apple seedlings in nurseries of the middle zone of RSFSR, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Moscow, 1981, 25 p.
3. Borodychev V.V., *Sovremennye tekhnologii kapel'nogo orosheniya ovoshchnykh kul'tur* (Modern technology of drip irrigation of vegetable crops), Kolomna: FGNU VNII "Raduga", 2010, 241 p.
4. Borodychev V.V., Dubenok N.N., Lytov M.N., Belik O.A., Osobennosti vodnogo rezhima pochvy pri kapel'nom oroshenii sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Features of soil water regime at drip irrigation of agricultural crops), *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2009, No. 4, pp. 22–25.

5. Borodychev V.V., Krivolutskaya N.V., Krivolutskii A.A., Strizhakova E.A., Produktivnost' yablonevogo sada intensivnogo tipa na kapel'nom oroshenii (Productivity of intensive apple orchard on drip irrigation), *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i professional'noe obrazovanie*, 2012, No. 3 (27), pp. 8–14.
6. Burmitsrova A.Yu., *Regulirovanie vodnogo rezhima pochvy pri kapel'nom oroshenii plodovykh pitomnikov v Nechernozemnoi zone: Diss. ... kand. s.-kh. Nauk* (Regulation of soil water regime under drip irrigation of fruit nurseries in Non-Chernozem zone, Cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2013, 229 p.
7. Grigorov M.S., Ovchinnikov A.S., Borovoi E.P., Akhmedov A.D., *Sovremennye perspektivnye vodoberegayushchie sposoby poliva v Nizhnem Povolzh'e* (Modern perspective water-saving methods of irrigation in Lower Volga region), Volgograd: "Niva", 2010, 244 p.
8. Gryazev V.A., *Vyrashchivanie sazhentsev dlya vysokoproduktivnykh sadov* (Cultivation of seedlings for highly productive gardens), Stavropol', 1999, 208 p.
9. Dashkov V.N., Radyuk. I.I., Degterov D.V., Snezhko E.K., *Analiz sposobov orosheniya sadovykh kul'tur v usloviyakh respubliky Belarus'* (Analysis of irrigation methods of garden crops in conditions of Republic of Belarus), *Agropanorama*, 2010, No. 1, pp. 11–16.
10. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: ID Al'yans, 2011, 352 p.
11. Elsaied A.M., *Obosnovanie rezhimov kapel'nogo orosheniya zemlyaniki na dernovo-podzolistykh pochvakh: Diss. ... k. s.-kh. Nauk* (Justification of drip irrigation regimes of strawberry on sod-podzolic soils, Cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2011, 192 p.
12. Ivolgin V.S., *Optimizatsiya po kriteriyam resursosberezheniya proizvodstvennykh protsessov v plodovo-yagodnykh pitomnikakh: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* (Optimization by criteria of resource-saving production processes in fruit and berry nurseries, Extended abstract of cand. techn. sci. thesis), Moscow, 2002, 19 p.
13. Kashirskaya O.V., *Sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala dlya intensivnykh sadov yabloni v TsChR: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Improvement of cultivation technology of planting material for intensive apple orchards in CCR, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2011, 22 p.
14. Kolesnikov V.A., *Kornevaya sistema plodovykh i yagodnykh kul'tur i metody ee izucheniya* (Root system of fruit and berry crops and methods of its study), Moscow, 1962, 191 p.

15. Markov Yu.A., *Programma i metodika issledovaniy po orosheniyu plodovykh i yagodnykh kul'tur* (Program and methods of research on irrigation of fruit and berry crops), Michurinsk: VNIIS im. I.V. Michurina, 1985, 117 p.
16. Merezko I.M., *Kachestvo posadochnogo materiala i produktivnost' plodovykh nasazhdenii* (Quality of planting material and productivity of fruit plantations), Kiev: "Urozhai", 1991, 152 p.
17. Spivakovskiy N.D., *Programmno-metodicheskie ukazaniya po agrotekhnicheskim opytam s plodovymi i yagodnymi kul'turami* (Program-methodical instructions on agrotechnical experiments with fruit and berry crops), Michurinsk, 1956, 184 p.
18. Komissarov V.A., *Metodika postanovki opytov s plodovymi, yagodnymi i tsvetochno-dekorativnymi rasteniyami* (Methodology of experiments with fruit, berry and floral and ornamental plants), Moscow: Prosveshchenie, 1982, 240 p.
19. Pleshakov V.N., *Metodika polevogo opyta v usloviyakh orosheniya* (Methodology of field experiments under irrigation conditions), Volgograd: VNIIOZ, 1983, 148 p.
20. Pospishilova L., *Peredvizhenie vody v pochve pri dozhdevanii i kapel'nom sposobe poliva: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* (Water movement in soil under sprinkling and drip irrigation method, Extended abstract of cand. biol. sci. thesis), Moscow, 1989, 25 p.
21. Potapov V.A., *Programma i metodika issledovaniy po voprosam pochvennoi agrotekhniki v intensivnom sadovodstve (metodicheskie rekomendatsii)* (Program and methodology of research on soil agrotechnics in intensive horticulture (methodical recommendations)), Michurinsk: VNIIS im I.V. Michurina, 1976, 100 p.
22. Rozhkov V.A., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R., *Metody izucheniya kornevykh sistem rastenii v pole i laboratorii* (Methods of studying root systems of plants in field and laboratory), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, Mosk. gos. un-t lesa, 2004, 40 p.
23. Rozhkov V.A., Bondarev A.G., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R., *Fizicheskie i vodno-fizicheskie svoystva pochv* (Physical and water-physical properties of soils), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, Mosk. gos. un-t lesa, 2002, 73 p.
24. Rozhnov S.I., *Razrabotka tekhnologii kapel'nogo orosheniya sazhentsev yabloni v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya: Diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Development of drip irrigation technology for apple-tree seedlings in the Lower Volga region, Cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2004, 204 p.
25. Sabirov M.K., Razzakov M.D., *Vliyanie kapel'nogo orosheniya na rost i urozhainost' sadov (obzor)* (Influence of drop irrigation on growth and yield of orchards (review)), Tashkent, 1990, 24 p.

26. Sergienko A.V., *Kapel'noe oroshenie mladogo yablonevogo sada na slaboroslykh podvoyakh: Diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Drip irrigation of young apple orchards on low-growing tree stocks, Cand. agric. sci. thesis), Volgograd, 2008, 226 p.
27. Sychev V.G., Kuznetsova E.I. et al., *Oroshenie i primeneniye udobrenii v Nechernozemnoi zone RF* (Irrigation and fertilizer application in Non-Chernozem zone of the Russian Federation), Moscow: TsINAO, 2004, 276 p.
28. *Tekhnologiya orosheniya sadov, yagodnikov i pitomnikov (rekomentatsii)* (Technology of irrigation of gardens, berries and nurseries (recommendations)), Moscow: Agropromizdat, 1987, 61 p.
29. Trunov Yu.V., *Mineral'noe pitaniye klonovykh podvoev i sazhenitsev yabloni* (Mineral nutrition of clonal rootstock and apple-tree seedlings), Michurinsk: Izd. Mich. GAU, 2004, 175 p.
30. Trunov Yu.V., *Mineral'noe pitaniye i udobreniye yabloni* (Mineral nutrition and fertilization of apple trees), Voronezh, Kvarta, 2010, 400 p.
31. Shugai P.Yu., *Rezhim kapel'nogo orosheniya shkolki plodovykh kul'tur pri povyshennykh temperaturakh okruzhayushchei sredy: Diss. ... kand. tekhn. nauk* (Mode of drip irrigation of fruit crops school at increased ambient temperatures, Cand. techn. sci. thesis), Krasnodar, 2005, 173 p.
32. Assaf R., Levin I., Bravdo B., The effect of soil water distribution in drip irrigation of apple trees on their growth and yield, *Proc. International Round-table Conference on microirrigation*, Budapest, 1986, Vol. 1, pp. 19–25.
33. Assouline S., The Effects of Microdrip and Conventional Drip Irrigation on Water Distribution and Uptake, *Soil Science Society of America Journal*, 2002, Vol. 66, No. 5, pp. 1630–1636.
34. Zebe J.A., Serna-Perez A., Partial rootzone drying to save water while growing apples in a semi-arid region, *Irrigation and Drainage. Managing water for sustainable agriculture*, 2012, Vol. 61, No. 2, pp. 251–259.