МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.674

doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-36-53

О влиянии почвенных и технологических условий на параметры зон увлажнения почвы, формируемых при капельном поливе древесно-плодовых культур

Андрей Александрович Куприянов^{1, 2}, Яков Евгеньевич Удовидченко³

¹Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, kurgijanov19967@gmail.com

²Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград,
Российская Федерация

³Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
Краснодар, Российская Федерация, vassari93@mail.ru

Аннотация. **Цель:** разработка графоаналитического метода оценки влияния почвенных условий на размеры формируемых при капельном поливе контуров увлажнения для выбора параметров капельных модулей для полива древесно-плодовых растений, культивируемых в садовых насаждениях. **Материалы и методы:** в качестве показателей для оценки и определения параметров поливных модулей для капельного полива рядово высаживаемых древесно-плодовых культур из вдольрядово трассируемых поливных трубопроводов приняты плановые размеры контуров увлажнения подкапельного почвенного пространства. При анализе параметров и расположения зон влажности рассмотрена схема размещения растений в садовом насаждении с расстоянием между деревьями в ряду, равным 2 м, при различном количестве капельниц на капельной линии в пределах междересного участка. **Результаты:** с использованием авторской зависимости определены диаметры и площади контуров влажности, формирующихся при капельном поливе в южных среднемощных черноземах. Для характерных схем размещения капельниц на вдольрядово протрассированных капельных линиях, обеспечивающих увлажнение почвы в подкроновом пространстве плодовых растений, построены контуры влажности, формирующиеся при капельном поливе. Полученные геометрические параметры зон влажности для различных схем поливных линий, характеризующихся разными межкапельными расстояниями и разным количеством и расположением капельниц, сопоставлены с площадью питания растений. По результатам сопоставления площадей зоны влажности и зоны распространения корневых систем растений отмечена высокая степень локальности увлажняемого пространства. **Выводы:** построенные с использованием предложенного графоаналитического метода графические образы и количественные характеристики зон капельного увлажнения в подкроновом вдольрядовом пространстве растений позволяют оценить состояние его увлажненности и принять решение о параметрах и схемах поливного модуля для определенных почвенных и технологических условий садового насаждения.

Ключевые слова: капельное орошение, древесные растения, контуры влажности, зоны увлажнения, почвенные характеристики, капельные линии, зоны питания

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

On soil and technological conditions impact on the parameters of soil moisture zones formed with drip irrigation of tree-fruit crops

Andrey A. Kupriyanov^{1,2}, Yakov E. Udovidchenko³

¹Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, kupriyanov19967@gmail.com

²Volgograd State Agricultural University, Volgograd, Russian Federation

³Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, vassari93@mail.ru

Abstract. Purpose: development of a graphic-analytical method for assessing the effect of soil conditions on moisture contours size formed during drip irrigation to select the parameters of drip modules for irrigating tree-fruit plants cultivated in garden plantations. **Materials and methods:** the planned dimensions of moisture contours of sub-drip soil space are taken as indicators for assessing and determining the parameters of irrigation modules for drip irrigation of row planted tree-fruit crops from along-row traced irrigation pipelines. When analyzing the parameters and location of moisture zones, the layout of plants in a garden with a distance between trees in a row equal to 2 m was considered, with a different number of drip emitters on the drip line within the inter-tree area. **Results:** using the author's dependence, the diameters and areas of moisture contours formed during drip irrigation in southern medium-thick chernozems were determined. For typical schemes for placing drip emitters along a row of traced drip lines that provide soil moistening in the undercrown space of fruit plants, moisture contours formed during drip irrigation are built. The obtained geometric parameters of moisture zones for different patterns of irrigation lines, characterized by different inter-emitters distances and different numbers and locations of drip emitters, are compared with the area of plant nutrition. Based on the results of comparing the areas of moisture zone and the zone of plant root systems distribution, a high degree of locality of the wetted space was noted. **Conclusions:** the graphic images and quantitative characteristics of drip moisture zones in the undercrown along the row space of plants created using the proposed graphic-analytical method allow assessing the state of its moisture content and making a decision on the parameters and schemes of the irrigation module for certain soil and technological conditions of the garden plantation.

Keywords: drip irrigation, woody plants, moisture contours, moisture zones, soil characteristics, drip lines, feed zones

Введение. Директивными актами Российской Федерации до 2030 г. предусмотрено более чем двукратное увеличение производства плодородной продукции в стране. Для достижения поставленной цели предусматривается увеличение площадей под древесно-плодовыми культурами и повышение продуктивности плодовых растений. Одним из наиболее действенных средств обеспечения высоких показателей продуктивности плодовых культур, возделываемых в южной плодородной зоне, является капельное орошение и капельная фертигация растений на сельскохозяйственных [1–3]. При этом должный эффект может быть обеспечен при соответ-

ствующем потребностям культивируемых растений устройстве и функционировании капельной оросительной сети и ее поливного модуля [4, 5].

При проектировании капельно орошаемых древесно-плодовых садов применяется модульный подход к организации их территории (с использованием в качестве первичных территориальных модулей садовых кварталов, клеток и рядов). При этом модульный принцип реализуется и при проектировании обеспечивающих орошение культивируемых в садах древесных плодовых растений капельных оросительных сетей с устройством участковых, оросительных и поливных модулей [6–9]. В капельно орошаемых садах расположение, форма и размеры «фитомодулей» (кварталов, клеток и рядов) согласуются с такими же параметрами соответствующих «капельных модулей». При взаимной увязке указанных модульных единиц обеспечиваются потребности растений в инсоляции, водном и минеральном питании, соблюдаются требования и условия для ведения уходных и уборочных работ, эффективно используются возможности капельно-фертигационного орошения и обеспечивающих его оросительных сетей.

Определяющим и первичным элементом в иерархической структуре капельных модулей является поливной модуль, обеспечивающий увлажнение и фертигацию почвы в зонах питания корней корневых систем растений, произрастающих в пределах одного ряда в садовом(й) квартале (клетке). В практике садоводства техногенная компонента поливного модуля чаще всего устраивается из одного поливного трубопровода (одной вдольрядово протрассированной капельной линии) с определенным количеством устроенных в нем (ней) капельниц. При выборе параметров поливного модуля (поливного трубопровода или капельной линии) учитываются почвенные, рельефные, климатические, растениеводческие (фитологические), агротехнические и гидромелиоративные условия и требования. В работе в качестве стабильных (фиксированных) факторов влияния рассматриваются:

климатические условия, характерные для Ростовской области; фитологические условия, характеризующие рассматриваемой схемой расположения древесных растений в насаждении ($B_{м/р} \times L_{м/р} = 4 \times 2$ м, где $B_{м/р} = 4$ м – ширина междурядового расстояния (расстояние между рядами древесно-плодовых растений в садовом насаждении, $L_{м/р} = 2$ м – расстояние между древесными растениями в ряду); рельефные условия, характеризующиеся безуклонностью земной поверхности (при уклоне менее 3°); агротехнические условия, характеризующиеся одинаковостью состояния почвенного покрова в насаждениях и ухода за ним. В качестве переменных (изменяющихся в процессе исследования в определенных диапазонах) факторов рассмотрены: почвенные условия, характеризующиеся различными значениями параметров почвенного покрова, представленного южными среднетяжелыми легко-, средне-, тяжелосуглинистыми и глинистыми черноземами; гидромелиоративные параметры поливного модуля, определяемые разным количеством и различным расположением капельниц на вдольрядово расположенной капельной линии на участке между двумя соседствующими в ряду древесными растениями (соответствующим схеме их взаимного расположения в древесно-плодовом насаждении).

В соответствии с вышеотмеченным проведен эксперимент по определению характера влияния почвенных и гидромелиоративных условий на параметры локальных контуров и (или) зон (полос) увлажнения, формирующихся в почвенном пространстве между двумя соседствующими растениями в ряду при поливе из капельниц, устроенных в одной(м) вдольрядово расположенной(м) капельной линии (капельном трубопроводе).

Материалы и методы. При разработке графоаналитического метода прогнозирования формы, параметров и расположения зон (контуров и полос) капельного увлажнения почвы использованы авторские и известные зависимости [10–12] и общепринятые методологические подходы к анализу информации и синтезу результатов аналитического исследования.

Результаты и обсуждение. В соответствии с принятой методикой и планом аналитического исследования выполнены расчеты и графические построения прогнозируемых зон (локальных контуров и вдольрядовых полос) увлажнения почвы в пределах вдольрядовой части зоны питания древесно-плодовых растений, культивируемых в садовом насаждении при схеме их размещения $B_{м/р} \times L_{м/р} = 4 \times 2$ м. Рассматриваемая схема размещения древесных растений с естественно-округлой (частично формируемой) формой их кроны проиллюстрирована рисунком 1.

● – штамп растения; ———— – граница планового очертания (горизонтальной проекции) кроны; ———— – схемы ветвей кроны; $Д_{к/р}$ и $R_{к/р}$ – диаметр и радиус крон;

$B_{т/к}$ – ширина технологического (инсоляционно-технологического) коридора;

$B_{м/р}$ – ширина междурядья; $L_{м/р}$ – расстояние между деревьями в ряду

Рисунок 1 – Схема посадки древесно-плодовых растений

В сложившейся пловодческой практике при выборе схемы расположения древесных плодовых растений преимущественно ориентируются

на обеспечение требований к инсоляции крон и на создание условий для ведения уходных и уборочных работ. При этом особое внимание уделяется созданию инсоляционно-технологического междурядового коридора (пространства) и допускается формирование сплошной ветве-листовой полосы в рядах растений. Обеспечение указанных требований и допущений осуществляется подбором растений и соответствующим формированием крон деревьев. При таком подходе к организации территории садовых насаждений условия формирования и функционирования корневых систем растений учитываются не в полной мере, а в ряде случаев площади «инсоляционного (солнечно-светового)» питания и площади водно-минерального питания растений (по форме и размерам) не согласуются. Указанное обстоятельство могло допускаться при применении полноплощадных технологий орошения садов, но трудно признать приемлемым при локальном увлажнении, реализуемом при капельном орошении [4, 7].

Аналогичная увлажнению проблема (пространственности и локальности) имеет место и при внесении удобрений в случаях макроплощадной их подачи в зоны питания и локальной капельной фертигации. При капельном орошении и капельной фертигации необходимо знание зон интенсивного потребления корнями растений почвенной влаги и элементов питания как в части их расположения и формы, так и в части соотношения площади питания и локальных площадей увлажнения почвы и ее фертигационного обогащения. В практике проектирования садов площадь водно-минерального питания определяется принятой (по инсоляционно-технологическим соображениям) схемой посадки (размещения) растений в промышленных садах. Форма и размеры зоны водно-минерального питания корневых систем древесных плодовых культур для выбранной к рассмотрению схемы их посадки (расположения) $B_{м/р} \times L_{м/р} = 4 \times 2$ м проиллюстрированы рисунком 2.

$D_{к/р}$ – диаметр кроны; $L_{м/р}$ – расстояние между растениями в ряду; $B_{м/р}$ – ширина междурядья; $B_{т/к}$ – ширина инсоляционно-технологического коридора; ● – штамп растения; ———— – плановое очертание кроны деревьев; ———— – обозначение корневых ветвей; – зона водно-минерального питания древесных культур

Рисунок 2 – Схема зон питания древесных растений в садово-рядовом насаждении

При капельном поливе в зависимости от расположения капельных линий, количества и размещения капельниц, почвенных условий и других факторов влияния в пределах площади водно-минерального питания образуются зоны (контуры) увлажнения и удобрительного обогащения почвы. Диаметры локальных контуров влажности, формирующихся в подкапельном пространстве при поливе, в зависимости от характеристик и глубины увлажняемого почвенного слоя определяются по зависимостям, м:

$$(d_{\text{кон}})_1 = 0,50h_{\text{увл}} \cdot \left[(0,52 + 0,009\overline{W}_r) + (0,14 + 0,034\overline{W}_{\text{НВ}}) \right], \quad (1)$$

$$(d_{\text{кон}})_2 = 0,50h_{\text{увл}} \cdot \left\{ (0,51 + 0,009\overline{W}_r) + 0,073 + 0,038 \cdot (0,988 + 0,01\overline{q}_{\text{гум}}) \times \right. \\ \left. \times \left[10,47 \cdot \ln(1,35\overline{W}_r \cdot \overline{\gamma}_{\text{об}}^{-0,1}) - 15,6 \cdot (0,0167 \cdot \overline{W}_r)^{0,1} \right] \right\}, \quad (2)$$

где $h_{\text{увл}}$ – глубина увлажняемого почвогрунтового слоя (контур), м;

$\overline{W}_r$ – среднее по глубине увлажняемого слоя содержание (количество частиц) физической глины в процентах от массы сухой почвы, % МСП;

$\overline{W}_{\text{нв}}$ – среднее значение наименьшей влагоемкости почвы в пределах увлажняемого слоя в процентах от массы сухой почвы, % МСП;

$\overline{q}_{\text{гум}}$ – среднее по слою ($h_{\text{увл}}$) содержание гумуса в почве, %;

$\overline{\gamma}_{\text{об}}$ – среднее по промачиваемому слою значение плотности почвы, т/м³.

Зависимости позволяют определить диаметр контура влажности ($d_{\text{кон}}$) для условий безуклонного или слабоуклонного (с уклоном земной поверхности менее 3°) участка при глубоком залегании уровня грунтовых вод (с поверхностью капиллярной каймы, не достигающей глубины капельного увлажнения почвы $h_{\text{увл}}$). Более точное значение диаметра контура увлажнения рекомендуется определять как среднее значение, рассчитанное по зависимостям (1) и (2) ($(d_{\text{кон}})_1$ и $(d_{\text{кон}})_2$), по зависимости вида, м:

$$\overline{d}_{\text{кон}} = 0,5[(d_{\text{кон}})_1 + (d_{\text{кон}})_2].$$

Принимая форму очертания контура влажности в плане близкой к окружности, площадь локального контура определяют по соотношению, м²:

$$\omega_{\text{кон}} = 0,0785(\overline{d}_{\text{кон}})^2.$$

А площадь зоны увлажнения (увлажняемого при капельном поливе пространства), формируемой несколькими капельными микроводовыпусками (несколькими локальными контурами влажности почвы), составляет, м²:

$$\omega_{\text{увл}} = \sum (\omega_{\text{кон}}).$$

При частичном перекрытии соседствующих контуров или при соприкосновении их границ для линейного расположения капельниц на поливном трубопроводе (капельной линии) образуется полоса увлажнения.

В отечественном садоводстве получила распространение наиболее простая в устройстве и эксплуатации схема размещения поливных линий

(капельных трубок), подземно или наземно (реже) и надземно (чаще) трассируемых вдоль рядов древесно-плодовых растений [5, 9, 10]. При выборе капельных линий, как правило, рассматриваются капельные трубки с одинаковым шагом расположения в них капельниц одного вида и конструктивного исполнения с одинаковыми напорно-расходными характеристиками. При таком устройстве поливных трубопроводов стремятся сформировать вдольрядово расположенную полосу увлажнения, формирующуюся при смыкании или частичном перекрытии соседствующих контуров влажности, образующихся в почвогрунтовой толще под каждой капельницей.

Вдольрядовая приштамбовая полоса увлажнения почвенного пространства может сформироваться при соответствующих условиях капельного полива количестве последовательно устроенных на капельной линии капельниц, соответствующих условиям капельного полива размерах локальных контуров влажности и соответствующем схеме посадки растений межкапельном расстоянии (шаге расположения капельниц на трубопроводе).

Отметим, что в известных разработках и на обследованных капельно орошаемых древесно-плодовых насаждениях указанные условия подбора капельных линий, обеспечивающих формирование полосы (ленты) увлажнения, не всегда соблюдаются. Указанное обстоятельство предопределяет необходимость рассмотрения различных вариантов конструкций поливных трубок с различным количеством капельниц на отрезках между двумя (а в отдельных случаях и тремя) соседствующими растениями в ряду. При этом могут рассматриваться конструкции капельных трубок с различным расстоянием между капельницами (различным межкапельным расстоянием). Вместе с тем подбор капельной линии предусматривает: выдерживание определенных соотношений между площадью увлажняемой зоны и площадью зоны питания растений, формирование локальных контуров или полос влажности при соответствующем потребностям культур их расположении.

Указанная задача решается графоаналитическим методом. Его суть заключается в последовательном выполнении нижеследующих операций.

1 Осуществляется сбор информации о планировке территории садового насаждения и схеме посадки (размещения) деревьев.

2 Устанавливаются характеристики почвы и глубина увлажнения.

3 Принимается конструкция капельной линии с учетом п. 2.

4 Определяются плановые размеры контура (зоны) увлажнения почвы.

5 На планшете поливного модуля для ряда древесных растений наносится расположение и размеры контуров увлажнения с учетом пп. 1, 3 и 4.

6 Принимается решение о приемлемости принятой к рассмотрению схемы капельной поливной линии и капельного поливного модуля.

Примеры реализации графоаналитического способа прогнозирования параметров, формы и расположения зон капельного увлажнения почвы при линейном вдольрядовом расположении поливных трубопроводов для различных почвенных условий, разного количества и расположения капельниц и разной глубины увлажняемого слоя рассмотрены ниже.

На начальном этапе выполняются расчеты диаметров локальных контуров влажности почвы, результаты которых приведены в таблице 1.

Данные таблицы 1 используются при прогнозировании геометрических параметров локальных контуров (их графическом представлении) для различных вариантов устройства поливных трубопроводов (с различным количеством и расположением капельниц на капельных линиях).

На рисунке 3 приведены прогнозируемые зоны влажности для приведенного в нашей предыдущей публикации [10] варианта устройства и использования одной капельницы на древесное растение (с площадью питания $\omega_{\text{пит}} = 4,0 \times 2,0 = 8,0 \text{ м}^2$), располагаемой в приштамбовой зоне (на расстоянии 0,05 м от корневой шейки).

Для данной схемы расположения растений и капельниц на одной вдольрядовой капельной линии при различных значениях глубин увлажнения устанавливаются параметры зон увлажнения (таблица 2).

Таблица 1 – Результаты расчетов диаметров контуров влажности

Вид черноземной почвы по гранулометрии	Почвенная характеристика				Расчетное значение диаметра контура, м					
	$(\bar{W}_r)_{1,0}$, % МСП	$(\bar{W}_{\text{нв}})_{1,0}$, % МСП	$(\bar{\gamma}_{\text{об}})_{1,0}$, т/м ³	$(\bar{q}_{\text{гум}})_{1,0}$, %	при $h_{\text{увл}} = 0,7$ м			при $h_{\text{увл}} = 1,0$ м		
					$(d_{\text{кон}})_1$	$(d_{\text{кон}})_2$	$(\bar{d}_{\text{кон}})$	$(d_{\text{кон}})_1$	$(d_{\text{кон}})_2$	$(\bar{d}_{\text{кон}})$
Легкосуглинистый	25,0	17,0	1,40	0,82	0,53	0,54	0,54	0,73	0,76	0,74
Среднесуглинистый	37,5	21,2	1,37	1,70	0,52	0,62	0,57	0,86	0,90	0,88
Тяжелосуглинистый	50,0	24,8	1,34	2,00	0,69	0,71	0,70	0,99	1,01	1,00
Легкоглинистый	75,0	30,2	1,35	2,60	0,84	0,83	0,84	1,20	1,19	1,20

Рисунок 3 – Прогнозная схема контура увлажнения, формируемого одной капельницей в тяжелосуглинистом черноземе при глубине увлажнения $h_{увл} = 1,0$ м

Таблица 2 – Данные прогнозирования параметров локальных контуров влажности, формируемых при поливе растения одной капельницей

Вид черно-земной почвы по гранулометрии	Диаметр контура влажности $d_{кон}$, м		Площадь контура влажности $\omega_{увл}$, м ²		Соотношение площади увлажнения и площади питания $\omega_{увл} / \omega_{пит}$, %	
	$h_{увл} = 0,7$ м	$h_{увл} = 1,0$ м	$h_{увл} = 0,7$ м	$h_{увл} = 1,0$ м	$h_{увл} = 0,7$ м	$h_{увл} = 1,0$ м
Легкосуглинистая	0,54	0,74	0,229	0,430	2,86	5,37
Среднесуглинистая	0,57	0,88	0,255	0,608	3,19	7,60
Тяжелосуглинистая	0,70	1,00	0,385	0,785	4,80	9,80
Легкоглинистая	0,84	1,20	0,554	1,130	6,92	14,13

По данным рисунка 3 и таблицы 2 можно заключить нижеследующее.

1 При устройстве одной капельницы, расположенной на вдольрядово проложенной капельной линии, в приштамбовой зоне каждого растения формируется один локальный контур капельного увлажнения почвы.

2 Диаметр капельного контура влажности ($d_{кон}$) зависит от почвенных характеристик (W_r , $W_{НВ}$, $\gamma_{об}$, $q_{гум}$) и увлажняемого слоя ($h_{увл}$).

3 Площадь контура ($\omega_{кон} = \omega_{увл}$) в плане (площадь зоны увлажне-

ния – $\omega_{\text{увл}}$) зависит от указанных в п. 2 факторов и оставляет от 5,37 до 14,13 % площади питания растений ($\omega_{\text{пит}} = B_{\text{м/р}} \times L_{\text{м/р}} = 4 \times 2 = 8,0 \text{ м}$), что не соответствует рекомендованным в работе О. Е. Ясониди [4] значениям указанного соотношения.

4 Рассмотренная схема одной капельной линии (с одной капельницей на одно растение) не позволяет сформировать рекомендуемую в работе О. Е. Ясониди [4] вдольрядовую полосу сплошного увлажнения («полосу влажности») почвы.

Отмеченные в пп. 3 и 4 обстоятельства определяют необходимость увеличения количества капельных микроводовыпусков, устраиваемых на капельной линии на участке между двумя соседствующими растениями, до двух-трех и более (в зависимости от принятой глубины увлажнения («промачивания») почвенного профиля и характеристик увлажняемого слоя почвы).

Пример прогнозных схем формирующихся зон увлажнения почвы при устройстве на вдольрядово проложенном капельном трубопроводе двух капельниц на одно древесное растение для глубины увлажнения $h_{\text{увл}} = 1,0 \text{ м}$ для почвенных условий полива приведен на рисунке 4.

По приведенным на рисунке 4 схемам зон увлажнения метрового слоя почвы (для рассматриваемой схемы посадки растений и вдольрядового расположения поливной линии с двумя капельницами на одно дерево и межкапельным расстоянием, равным 1,0 м) можно заключить нижеследующее.

1 На легкосуглинистых черноземах при капельном поливе образуются два локальных контура влажности диаметром 0,8 м каждый и площадью $\sum \omega_{\text{увл}} = 2 \cdot 0,785 \cdot 0,8^2 = 1,00 \text{ м}^2$ при соотношении $\sum \omega_{\text{увл}} / \omega_{\text{пит}} = 0,126$.

2 На тяжелосуглинистых черноземах в указанных условиях образуются два соприкасающихся границами контура влажности диаметром $d_{\text{кон}} = 1,0 \text{ м}$ и площадью $\omega_{\text{кон}} = 0,785 \text{ м}^2$. При этом соотношение $\sum \omega_{\text{увл}} / \omega_{\text{пит}} = 19,6 \%$, что близко к минимальным рекомендуемым значениям.

3 На почвенном покрове, представленном южным среднесиловым легкоглинистым черноземом, при частичном перекрытии двух соседствующих локальных контуров влажности формируется полоса увлажнения почвы с суммарной площадью $\sum \omega_{\text{увл}} = 2,05 \text{ м}^2$ и соотношением $\sum \omega_{\text{увл}} / \omega_{\text{пит}} = 25,6 \%$, соответствующим минимуму рекомендуемых его значений [4].

a – на легкосуглинистом черноземе; *б* – на тяжелосуглинистом черноземе; *в* – на легкоглинистом черноземе; X – капельница; $d_{\text{кон}}$ – диаметр контура; ● – проекция штамба; — — проекция кроны; — — схема ветвей кроны; – зона увлажнения

Рисунок 4 – Схемы зон увлажнения, формирующихся при капельном поливе древесных растений двумя капельницами

Для вариантов полива с возможным и реальным уменьшением глубины увлажняемого слоя почвы от 1,0 до 0,7 м прогнозные значения диаметров локальных контуров влажности, их площадей и соотношений меж-

ду площадью увлажнения и площадью питания растений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения параметров локальных зон увлажнения при глубине слоя промачивания $h_{увл} = 0,7$ м

Вид черноземной почвы по гранулометрии	Значение параметра зоны увлажнения			
	$d_{кон}$, м	$\omega_{кон}$, м ²	$\sum \omega_{увл}$, м ²	$\sum \omega_{кон} / \omega_{пит}$, %
Легкосуглинистый	0,54	0,229	0,458	5,72
Среднесуглинистый	0,57	0,255	0,510	6,38
Тяжелосуглинистый	0,70	0,385	0,770	9,62
Легкоглинистый	0,84	0,554	1,102	13,80

Данные таблицы 3 для южных среднemosных легкосуглинистых и легкоглинистых черноземных почв для рассматриваемой схемы посадки деревьев и устройства капельной линии с двумя капельницами на одно растение при $h_{увл} = 0,7$ м проиллюстрированы рисунком 5.

Рисунок 5 – Плановые параметры контуров влажности при $h_{увл} = 0,7$ м для легкоглинистых (вверху) и легкосуглинистых (внизу) черноземов

По данным таблицы 3 и рисунка 5, соотношение увлажняемой площади и площади питания изменяется от 5,72 % для легкосуглинистых черноземных почв до 13,8 % для легкоглинистых черноземов, что меньше минимума рекомендуемых значений. Указанное обстоятельство определяет необходимость разработки поливных модулей с бóльшим количеством капельниц и необходимость увлажнения почвы в междурядовом пространстве.

Выводы

1 Предложен графоаналитический метод прогнозирования геометрических параметров и расположения зон увлажнения черноземных (легко-, средне-, тяжелосуглинистых и легкоглинистых) почв при поливе из капельниц, устроенных на вдольрядово расположенной капельной линии.

2 На основе авторских эмпирических зависимостей и с использованием предложенного метода выполнены прогнозные расчеты и графические построения контуров и (или) полос влажности для различных почвенных и технологических условий капельного полива древесных растений в садовых насаждениях с подачей воды из микроводовыпусков, моношагово расположенных на вдольрядово протрассированном капельном поливном водоводе, с разной глубиной промачивания почвогрунтового профиля.

3 Для рассмотренных схем капельных линий с одним и двумя микроводовыпусками на одно древесно-плодовое растение при глубинах промачиваемого слоя от 0,7 до 1,0 м соотношение увлажняемой площади и площади питания растений меньше (чаще) минимума рекомендуемых его значений или близко (реже) к нему, что требует поиска новых (отличных от рассмотренных) схем устройства поливных модулей капельного полива почвы.

Список источников

1. Borodychev V. V., Lytov M. N. Irrigation management model based on soil moisture distribution profile // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 577, iss. 1. 2nd International Conference on Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture, MMTES 2020, 10–11 May 2020. Article number 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/577/1/012022.

2. Бородычев В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур / ФГНУ «Радуга». М., 2010. 241 с.
3. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3. С. 183–188.
4. Ясониди О. Е. Капельное орошение. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с.
5. Гегечкори Б. С., Орленко С. Ю., Задорожный А. П. Альтернативный способ в технологии закладки орошаемых плодовых насаждений // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 4. С. 14–17.
6. Система капельного орошения: учеб. пособие / М. Л. Ромащенко [и др.]; под ред. М. Л. Ромащенко. Днепропетровск: Оксамит-текст, 2007. 175 с.
7. Штанько А. С., Шкура В. Н. Компонировочно-конструктивное решение оросительной сети модульного участка капельного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 2(38). С. 71–78. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1053> (дата обращения: 26.04.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-71-87.
8. Капельное орошение: пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения»: утв. Приказом Союзводпроекта от 11 апр. 1986 г. № 113 [Электронный ресурс]. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.
9. Удовидченко Я. Е., Куприянов А. А. Зоны увлажнения садовых растений, формирующиеся при поливе из вдольрядово расположенных капельных линий // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 1(81). С. 72–78.
10. Куприянов А. А., Удовидченко Я. Е. Методика прогнозирования плановых размеров контуров влажности почвы, формирующихся при капельном поливе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 1(81). С. 67–72.
11. Штанько А. С., Шкура В. Н. Геометрические параметры локальных контуров капельного увлажнения почвы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 214–218.
12. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика определения геометрических параметров зоны увлажнения почвенного пространства при капельном поливе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 3(71). С. 196–202.

References

1. Borodychev V.V., Lytov M.N., 2020. Irrigation management model based on soil moisture distribution profile. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 577, iss. 1, 2nd International Conference on Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture, MMTES 2020, 10–11 May, article number 012022, DOI: 10.1088/1755-1315/577/1/012022.
2. Borodychev V.V., 2010. *Sovremennyye tekhnologii kapel'nogo orosheniya ovoshchnykh kul'tur* [Modern Technologies of Drip Irrigation of Vegetable Crops]. FGNU “Raduga”, Moscow, 241 p. (In Russian).
3. Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2012. *Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii* [Soil moisture contours with drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3, pp. 183-188. (In Russian).
4. Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie* [Drip Irrigation]. Novocherkassk, Lik Publ., 322 p. (In Russian).
5. Gegechkori B.S., Orlenko S.Yu., Zadorozhny A.P., 2014. *Al'ternativnyy sposob v tekhnologii zakladki oroshaemykh plodovykh nasazhdeniy* [An alternative method in the tech-

nology of laying irrigated fruit plantations]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 4, pp. 14-17. (In Russian).

6. Romashchenko M.L. [et al.], 2007. *Sistema kapel'nogo orosheniya: uchebnoe posobie* [Drip Irrigation System: textbook]. Dnepropetrovsk, Oksamit-text Publ., 175 p. (In Russian).

7. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2020. [Constructive layout arrangements of the irrigation network of a modular drip irrigation section]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(38), pp. 71-78, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1053> [accessed 26.04.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-71-87. (In Russian).

8. *Kapel'noe oroshenie: posobie k SNIIP 2.06.03-85 "Meliorativnye sistemy i sooruzheniya"* [Drip Irrigation: a guide to SNIIP 2.06.03-85 "Reclamation Systems and Structures"]. April 11, 1986, no. 113. Access from IS "Techexpert: 6th generation" Intranet. (In Russian).

9. Udovidchenko Ya.E., Kupriyanov A.A., 2021. *Zony uvlazhneniya sadovykh rasteniy, formiruyushchiesya pri polive iz vdol'ryadovo raspolozhennykh kapel'nykh liniy* [Humidification zones of garden plants, formed during irrigation from drip lines located along a row]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(81), pp. 72-78. (In Russian).

10. Kupriyanov A.A., Udovidchenko Ya.E., 2021. *Metodika prognozirovaniya planovykh razmerov konturov vlazhnosti pochvy, formiruyushchikhsya pri kapel'nom polive* [Methodology for predicting the planned dimensions of soil moisture contours formed during drip irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(81), pp. 67-72. (In Russian).

11. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2017. *Geometricheskie parametry lokal'nykh konturov kapel'nogo uvlazhneniya pochvy* [Geometric parameters of local contours of drip soil moisture]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(66), pp. 214-218. (In Russian).

12. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2018. *Metodika opredeleniya geometricheskikh parametrov zony uvlazhneniya pochvennogo prostranstva pri kapel'nom polive* [Methodology for determining the geometric parameters of the soil moisture zone during drip irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(71), pp. 196-202. (In Russian).

Информация об авторах

А. А. Куприянов – младший научный сотрудник, аспирант;

Я. Е. Удовидченко – аспирант.

Information about the authors

A. A. Kupriyanov – Junior Researcher, Postgraduate Student;

Ya. E. Udovidchenko – Postgraduate Student.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.04.2021; одобрена после рецензирования 27.05.2021; принята к публикации 04.06.2021.

The article was submitted 13.04.2021; approved after reviewing 27.05.2021; accepted for publication 04.06.2021.