

## 06.01.00 Агрономия

УДК 502/504:631.67(075.8):634

**А. И. ГОЛОВАНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

**Д. Е. КУЧЕР, А. В. ШУРАВИЛИН**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов», г. Москва

### **ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ САДА В УСЛОВИЯХ ПОДМОСКОВЬЯ**

*Математическая модель капельного орошения сада, разработанная А. И. Головановым и Ю. И. Сухаревым была скорректирована на основе многовариантного полевого опыта орошения плодового сада в разные по влагообеспеченности годы в условиях Подмоскovie. Опыты проводились в ЗАО «Совхоз им. Ленина» Московской области на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах в 2012–2014 гг. в яблоневом саду интенсивного типа с низкорослым сортом яблони Весялина. Полевой опыт организован по двухфакторной схеме: фактор А – уровень предполивной влажности почвы, фактор В – глубина увлажняемого слоя для каждого режима орошения. Для капельного орошения использована система HYDROLIT с капельницами с расходом 1,2 л/ч по три капельницы на растение, процесс полива автоматизирован. В статье изложены условия проведения полевых экспериментов, дано сравнение полевых и расчетных данных, подтверждающих применимость модели к рассматриваемым условиям, приведены расчеты оросительных норм по длинному ряду метеоданных, которые могут быть использованы для проектирования параметров оросительной сети, расчета потребности в воде, оценки влияния орошения на окружающую среду. Предложенная математическая модель позволяет оценить промываемость почвенного слоя при разных глубинах грунтовых вод и боковой отток из увлажняемой полосы, которые могут служить показателями экологичности способа полива. На ее основании выполнены прогнозные расчеты режима капельного орошения сада в разные по погодным условиям годы по материалам длительных наблюдений двух метеостанций Подмоскovie и установлены оросительные нормы для лет разной обеспеченности. Многовариантные исследования капельного орошения яблоневое сада показали, что увязка параметров техники капельного орошения со схемами посадки растений позволяет регулировать формирование корнеобитаемой зоны.*

*Капельное орошение, плодовой сад, математическое моделирование, режим орошения.*

**Цель исследований.** Природные условия Московской области достаточно благоприятны для развития садоводства, хотя наблюдаются засушливые годы и периоды, снижающие урожай. Для получения гарантированных ежегодных объемов плодовой продукции целесообразно развивать орошение садов. Приемлемыми способами орошения садов в рассматриваемой зоне являются дождевание и капельный, причем наиболее перспективным, водосберегающим и экологически

безопасным способом полива плодовых культур следует признать капельное орошение.

В Московской области практически не проводилось исследований капельного орошения плодовых садов – нет проверенных теоретических разработок, рекомендуемых параметров систем, оптимальных режимов орошения. В данной статье представлена двумерная математическая модель формирования водного режима почв при капельном орошении яблоневое

сада интенсивного типа применительно к условиям южной тайги и дается сравнение результатов расчетов по модели с экспериментальными данными.

**Объект и методика исследований.** Опыты проводились в ЗАО «Совхоз им. Ленина» Московской области на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах в 2012–2014 гг. В яблоневом саду интенсивного типа с низкорослым сортом яблони Весялина приняты расстояния между рядами 4,2 м, между деревьями в ряду – 1,5 м, количество деревьев на 1 гектаре – 1585; сад был заложен весной 2009 г., исследования проводились на 4–6-й год плодоношения.

Полевой опыт организован по двухфакторной схеме: фактор А – уровень предполивной влажности почвы 65, 75 и 85 % от наименьшей влагоемкости (НВ); фактор В – глубина увлажняемого слоя для каждого режима орошения – 0,25; 0,5 и 0,75 м. Замеры проводились по общепринятым методикам.

Для капельного орошения плодового сада использована система израильского производства HYDROLIT с капельницами высокого сопротивления к засорению и высокой надежности с расходом 1,2 л/ч по три капельницы на растение, процесс полива автоматизирован. При работе системы создавалось сплошное увлажнение полосы почвы вдоль рядков растений.

**Описание математической модели.** За основу принята модель, разработанная А. И. Головановым и Ю. И. Сухаревым на основе ландшафтного подхода [1]. В ней рассмотрены двумерные потоки влаги в ландшафтной катене, состоящей из трех фаций: увлажняемой траншеи, транзитной зоны междурядья и дренируемой окружающей области. Такой подход авторов модели позволил учесть специфику капельного орошения и особенности природных условий зоны южной тайги: естественное увлажнение, промываемость почвенного слоя, формирующих подзолистые или серые лесные почвы [2]. В этих природных условиях орошение должно быть незначительным, как дополнение к естественным осадкам, слегка увеличивающим естественную увлажненность, обязательным является естественное или искусственное дренирование. Корректировка описанной модели

для рассматриваемых условий Московской области проведена по результатам полевых экспериментов.

При описании движения почвенной влаги необходимо учитывать неполное насыщение почвы в зоне аэрации, наличие каркасно-капиллярных сил кроме гравитационных и зависимость влагопроводности от влагонасыщения (С. Ф. Аверьянов [3, 4]).

Уравнение двумерного потока влаги представлено в виде конечно-разностной численной схемы (1). Исследуемая толща разбивалась на элементарные слои  $h_j$  переменной толщины (от 0,1 м вблизи поверхности до 1 м вблизи водоупора), номер слоя  $j$  изменяется от 1 до  $N_x - 1$ ,  $h_0 = h_{N_x} = 0$ .

Площадь обслуживания одной капельницы разбивалась вертикальными плоскостями, образуя расчетные столбцы и блоки. Ширина этих блоков (по длине катены)  $b_i$  ( $1 < i < N_y - 1$ ) принималась различной в зависимости от ее длины, при этом  $b_0 = b_{N_y} = 0$ , ширина блоков перпендикулярно разрезу по катене принята  $B$ .

Уравнение передвижения почвенной влаги и подземных вод в конечно-разностной форме по неявной схеме, исходя из баланса влаги в блоке  $i, j$  имеет вид:

$$C_{wi,j}^{n+1} \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{H_{i,j-1}^{n+1} - H_{i,j}^n}{h_j R_{i,j-1}^B} - \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j+1}^n}{h_j R_{i,j}^B} + \frac{H_{i-1,j}^{n+1} - H_{i,j}^n}{b_i R_{i-1,j}^R} - \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i+1,j}^n}{b_i R_{i,j}^R} - e_{i,j}^n, \quad (1)$$

где  $H_{i,j}^{n+1}$  – напор на расчетный момент времени  $n + 1$ , м; при отсчете напоров от поверхности земли:

$$H_{i,j}^{n+1} = -x_{i,j} + \psi_{i,j}^{n+1}, \quad (2)$$

$\psi_{i,j}^{n+1}$  – напор, м, эквивалентный каркасно-капиллярному давлению в зоне неполного насыщения ( $\psi < 0$ ) и эквивалентный гидростатическому давлению в зоне полного насыщения;  $R_{i,j}^B$  – вертикальное сопротивление потоку влаги между центрами блоков  $i, j$  и  $i, j + 1$ , сут;  $R_{i,j}^R$  – горизонтальное сопротивление потоку влаги между центрами  $i, j$  и  $i + 1, j$  блоков, сут;  $C_{wi,j}^{n+1}$  – коэффициент влагоемкости,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ :

$$C_{wi,j}^{n+1} = \frac{\partial \omega}{\partial H} = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n}{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j}^n} = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n}{\psi_{i,j}^{n+1} - \psi_{i,j}^n}, \quad (3)$$

где  $\omega_{i,j}^{n+1}$  – объемная влажность почвы,  $\text{м}^3/\text{м}^3$  ( $\text{м}^3$  – кубический метр почвенной влаги).

При полном влагонасыщении  $C_w = 0$ . Связь между каркасно-капиллярным потенциалом и влажностью почвы принята в виде:

$$\bar{\omega} = \frac{\omega - \omega_M}{m - \omega_M} = \exp \left[ - \left( \frac{|\Psi|}{\mu h_k} \right)^n \right], \quad (4)$$

где  $m$  – пористость,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $\omega_M$  – максимальная гигроскопичность,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $h_k$  – максимальная высота капиллярного поднятия, м;  $\mu$  и  $n$  – коэффициенты, зависящие от механического состава и структуры почвы, для суглинистых почв принято  $\mu = 1$ , показатель степени  $n = 1$ .

Испарение влаги из почвы зависит от погодных условий и от влажности почвы. Испарение с поверхности почвы учтено в граничном условии при  $x = 0$ . Расходование влаги на транспирацию распределялось по корнеобитаемому слою пропорционально влажности почвы и плотности корней и включено в уравнение в виде интенсивности влагоотбора корнями растений из единичного объема почвы  $e_{i,j}$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3/\text{сут}$ . Для определения испарения и транспирации подсчитывалось потенциальное суммарное испарение (эвапотранспирация)  $E_{\text{pot}}$  (мм/сут) по формуле Н. Н. Иванова для каждой декады теплого периода:

$$E_{\text{pot}} = 0,0061 K_6 (25 + T)^2 (1 - 0,01a), \quad (10)$$

где  $K_6$  – биологический коэффициент, учитывающий особенности выращиваемой культуры;  $T$  – средняя температура воздуха, °С;  $a$  – относительная влажность воздуха, %.

Потенциальная эвапотранспирация разделялась на потенциальное испарение с поверхности почвы  $E_{\text{pot}}^{\Phi}$  и потенциальную транспирацию  $E_{\text{pot}}^t$  пропорционально затененности почвы растительным покровом  $f_p$ , которая изменялась по декадам:

$$E_{\text{pot}}^{\Phi} = (1 - f_p) E_{\text{pot}} \text{ и } E_{\text{pot}}^t = f_p E_{\text{pot}}.$$

Эти потенциальные величины испарения редуцировались на каждом временном шаге, в зависимости от влажности поверхностного слоя почвы  $\omega_n$ :

$$E^{\Phi} = \varepsilon E_{\text{pot}}^{\Phi}; \quad \varepsilon = 2w_0 - w_0^2;$$

$$w_0 = \frac{\omega_n - \omega_M}{0,8m - \omega_M}, \quad (11)$$

если  $\omega_n > 0,8 m$ , то  $\varepsilon = 1$  (зависимости (11) согласуются с исследованиями А. И. Будаговского).

Фактическая транспирация редуци-

руется в зависимости от неоптимальности средней влажности корнеобитаемого слоя почвы:

$$E^t = \varepsilon_w E_{\text{pot}}^t; \quad \varepsilon_w = 2w_k - w_k^2; \quad (12)$$

$$w_k = \frac{\omega_k - \text{ВЗ}}{\omega_k^{\text{opt}} - \text{ВЗ}},$$

$\varepsilon_w$  – коэффициент, учитывающий снижение транспирации при отклонении влажности почвы от оптимальной, вид этой зависимости соответствует исследованиям А. Р. Константинова (1968);  $\omega_k$  – средняя влажность корнеобитаемого слоя почвы, переменная во времени;  $\omega_k^{\text{opt}}$  – то же, оптимальная в данную декаду; ВЗ – влажность завядания.

По скорректированной величине транспирации  $E^t$ , распределенной по глубине каждого столбца пропорционально влажности почвы и массе корней, получали интенсивность влагоотбора корнями растений из единичного объема почвы  $e_{i,j}$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3/\text{сут}$ .

Численное решение уравнения (1) для определения напоров почвенной влаги  $H_{i,j}^{n+1}$  требует рассмотрения системы алгебраических уравнений и сводится к нахождению порядка 1000 неизвестных (при принятой разбивке на блоки) с шагом около 1 суток на протяжении нескольких десятков лет. Кроме того, на каждом временном шаге требуется 3...7 итераций ввиду существенной нелинейности этой системы уравнений, так как емкостной коэффициент и проводимость существенно зависят от напоров почвенной влаги. Поэтому для решения этой системы применен метод матричной прогонки.

Определение напоров и сопротивлений позволяет подсчитать потоки влаги в любых сечениях на границах области и внутри нее, например, переток влаги из одной фации в другую, или вертикальные потоки, характеризующие промываемость почвенного слоя.

При верификации модели использованы данные по метеостанции Немчиновка за три года: 2012, 2013 и 2014 (таблица 1). Этот период охватывает разные годы по естественной увлажненности: очень сухой 2014 г.; средний 2012г. и очень влажный 2013 г. Водно-физические свойства среднесуглинистых дерновоподзолистых почв опытного участка, типичных для Подмосковья, приведены в таблице 2.

Таблица 1

Наблюдения по метеостанции Немчиновка (апрель–сентябрь)

Метеоданные, мм	Годы наблюдений			
	2012	2013	2014	Среднее
Осадки	428	713	237	459
Испаряемость	463	456	662	527
Дефицит	36	-257	425	68

Свойства почв опытного участка

Горизонт	Толщина, м	Пористость, доли объема	Максимальная гигроскопичность	НВ, доли пористости	Коэффициент фильтрации, м/сут	Высота капиллярного подъема, м	Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>
А	0,4	0,5	0,057	0,7	0,3	2	1,3
В1	0,6	0,469	0,054	0,76	0,3	2	1,4
В2	0,3	0,471	0,053	0,72	0,2	2,5	1,38
С	>В2	0,472	0,055	0,7	0,4	1,8	1,4

При моделировании рассматривалась длина полосы 0,5 м, на которой функционировала одна капельница и принималось, что густота корней под всеми тремя капельницами была примерно одинакова; поливные нормы назначались, исходя из пределов увлажнения.

**Результаты моделирования.** В таблице 3 приведены результаты моде-

лирования и сравнение средних за три года оросительных норм с экспериментальными данными. Оросительные нормы пересчитаны в мм слоя воды на всю площадь сада брутто. Осреднение уменьшало изменчивость данных, делало их более репрезентативными и несколько облегчало корректировку модели при ее настройке.

Таблица 3

Оросительные нормы по вариантам опыта, осредненные за три года

Вариант предполивной влажности, доли НВ	Глубина увлажнения, м	Оросительные нормы (опыт), мм	Оросительные нормы (модель), мм	Разность, %
0,65	0,25	24,4	21,3	13
	0,50	14,3	13,3	7
	0,75	7,2	5,3	26
0,75	0,25	29,5	28,4	4
	0,50	24,4	25,8	-6
	0,75	15,7	14,2	10
0,85	0,25	32,3	28,6	11
	0,50	27,7	25,4	8
	0,75	22,0	24,0	-9
Среднее по всем вариантам		21,9	20,7	7

Сравнение экспериментальных и рассчитанных оросительных норм показало, что предлагаемая модель достаточно достоверно описывает процесс увлажнения, что позволяет использовать ее для прогнозирования капельного орошения в разные годы.

Величины оросительных норм во все годы оказались существенно меньше естественных осадков, что уменьшает негативное влияние орошения на окружающую среду.

При капельном орошении плодового сада интенсивного типа при установке трех капельниц на дерево создавалось сплошное полосовое увлажнение по длине поливного трубопровода, т.е. вдоль рядов деревьев.

В течение вегетации яблоневого сада осуществлялось оперативное управление водным и питательным режимом с поддержанием заданного порога предполивной влажности почвы при различных глубинах увлажнения. Контур увлажне-

ния заметно изменялся в зависимости от уровня предполивной влажности почвы. Он определялся как расчетным путем с использованием предложенной модели, так и в полевых условиях по раскопкам. Расчетным путем были рассчитаны контуры увлажнения при малых нормах полива и частом расположении капельниц, через 0,5 м (рис. 1). Поэтому наблюдается быстрое смыкание контуров увлажнения. Это оправдывает условия почти равномерного увлажнения траншеи шпалерного сада по ее длине. Из-за малых поливных норм глубина промачивания незначительна, около 0,2...0,25 м. С увеличением расхода капельниц контур более увлажнен и время смыкания контуров заметно уменьшается. С увеличением норм полива при прочих равных условиях контуры увлажнения увеличиваются вместе с ростом глубины увлажнения; время смыкания контуров уменьшается. Моделирование контура увлажняемой зоны выполнялось на стендовой установке с насыпной



среднесуглинистой почвой, взятой сопытного участка и уплотненной до естественного сложения в лабораторных условиях. Подача воды осуществлялась из бака со средним расходом 1,2 л/ч. Результаты опытов показали, что при расходе капельницы 1,2 л/ч и уровне увлажнения 65 % НВ диаметр увлажняемой зоны составлял 63 см, а глубина промачивания – 41 см, при уровне увлажнения 75 % НВ –

соответственно 64 и 44 см, а при уровне 85 % НВ – 65 и 46 см. При увеличении уровня влажности почвы от 65 до 85 % НВ отмечается тенденция увеличения геометрических параметров контура увлажнения вследствие более высокой исходной влажности почвы. При этом диаметр увлажняемой зоны был больше глубины промачивания в 1,45...1,54 раза.

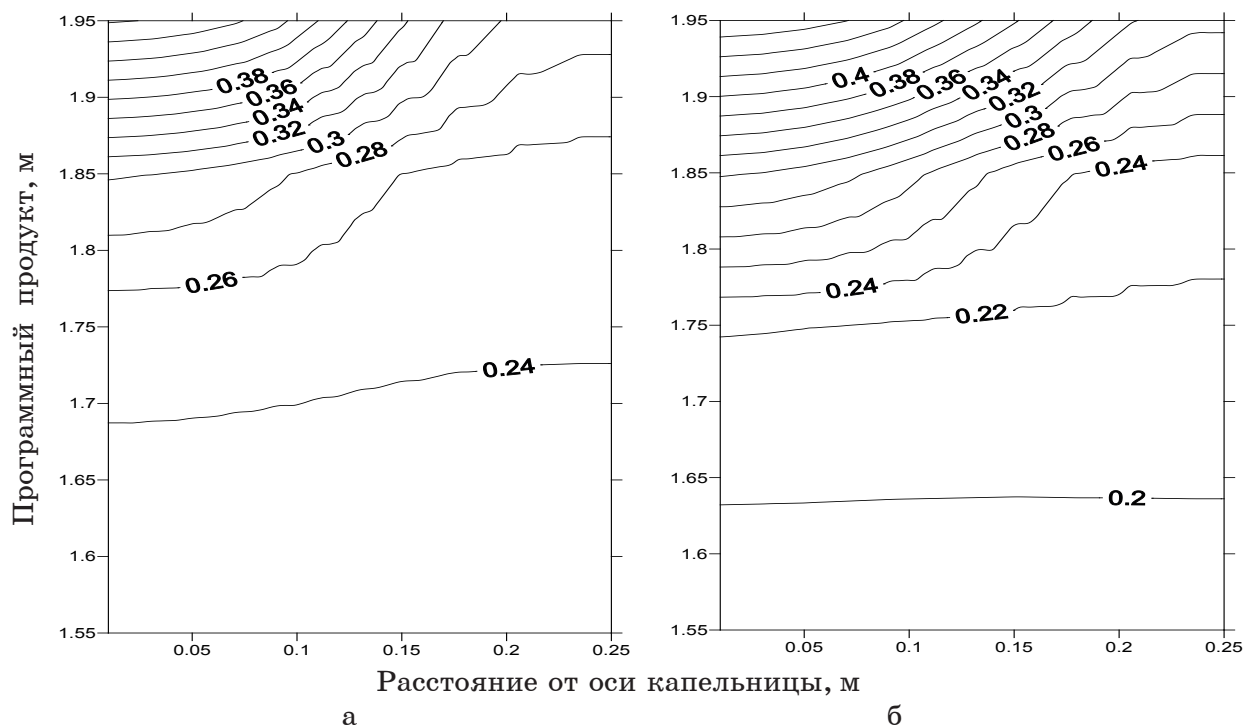


Рис. 1. Распределение изолиний объемной влажности почвы: а – пределы увлажнения 0,7...0,9 НВ, расход капельницы 1 л/ч, норма 1,1 л/кап.; б – пределы увлажнения 0,6...0,9 НВ, расход капельницы 1 л/ч, норма 1,6 л/кап.

Видимый контур увлажнения, установленный опытным путем по раскопкам, заметно увеличивался с повышением уровня предполивной влажности почвы и поливной нормы, обеспечивающей увлажнение почвенного слоя глубиной 0,25 м, 0,5 и 0,75 м при работе одиночной капельницы (табл. 4). При рассматриваемых уровнях предполивной влажности почвы и глубинах промачивания создается зона сплошного увлажнения траншеи. При этом диаметр контура увлажнения оставался больше глубины промачивания в среднем в 1,5 раза, а доля увлажняемой зоны составляла 0,12; 0,18 и 0,27 от общей площади соответственно при глубинах промачивания не менее 0,25 м; 0,5 и 0,75 м. По режимам предполивной влажности почвы доля увлажняемой зоны изменялась незначительно. Существенные различия были установлены в продолжительности полива в зависимости от уровня увлажнения и глу-

бины промачивания. Со снижением уровня предполивной влажности почвы от 85 до 65 % НВ при глубинах промачивания 0,25; 0,5 и 0,75 м продолжительность полива увеличивалась соответственно в 2,4 раза (от 5 до 12 часов), 3,1 раза (от 8 до 25 часов) и в 2,2 раза (от 16 до 35 часов). По результатам определения послеполивной влажности почвы в зоне междурядий деревьев методом интерполяции были установлены уточненные параметры контура увлажнения. При уровне предполивной влажности почвы 65 % НВ и норме полива 145 м<sup>3</sup>/га диаметр увлажняемой зоны составлял 125 см, а глубина промачивания – 68 см. Эти показатели при уровне увлажнения 75% НВ и норме полива 105 м<sup>3</sup>/га соответственно составляли 116 и 54 см, а при уровне 85 % НВ и поливной норме 50 м<sup>3</sup>/га – 96 и 51 см. При этом диаметр контура увлажнения был больше глубины промачивания в 1,9 раза.

Контуры увлажнения почвы при капельном орошении плодового сада

Уровень увлажнения	Норма полива, м <sup>3</sup> /га	Показатель промачивания, см	Продолжительность полива, часов							
			2	5	8	12	16	20	25	35
65% НВ	70	диаметр глубина	26 15	36 20	44 24	50 29				
	145	диаметр глубина	24 14	34 19	42 23	49 28	56 36	66 44	79 53	
	220	диаметр глубина	22 12	31 18	39 22	46 26	54 33	62 41	74 49	118 76
75% НВ	50	диаметр глубина	31 18	42 23	51 29					
	105	диаметр глубина	28 16	40 22	50 27	58 38	78 52			
	150	диаметр глубина	26 15	37 20	48 26	55 36	75 51	96 66	114 78	
85% НВ	30	диаметр глубина	36 20	50 28						
	50	диаметр глубина	34 18	47 26	71 50					
	95	диаметр глубина	30 15	44 24	66 46	90 64	103 76			

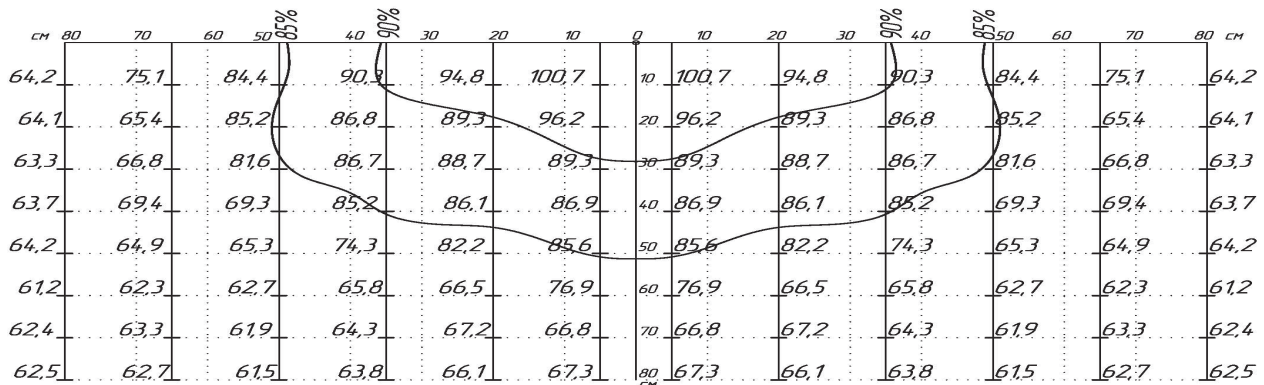


Рис. 2. Распределение влаги в контуре после полива нормой 50 м<sup>3</sup>/га, рассчитанной на увлажнение слоя почвы 0,5 м при уровне увлажнения 85 % НВ

При режиме предполивной влажности почвы 65 % НВ контур увлажнения получен более расширенным по сравнению с повышенным режимом предполивной влажности почвы 75 и 85 % НВ. Это обусловлено большим иссушением почвы перед проведением полива в увлажняемой зоне. Результаты измерения геометрических параметров контура увлажнения показали, что доля орошаемой площади при капельном поливе в среднем составляла 0,30; 0,28 и 0,23 от общей площади питания растений соответственно при режимах предполивной влажности почвы 65 % НВ, 75 и 85 % НВ и нормах полива соответственно 145, 105 и 50 м<sup>3</sup>/га, обеспечивающих промачивание почвы на глубину 50 см.

Таким образом, при капельном орошении плодового сада с расходом капельниц 1,2 л/ч, расстояниями между ними 0,5 м и уровнем увлажнения 85 % НВ создается зона полосового увлажнения на глубину 0,5 м при продолжительности полива 8 часов.

С помощью проверенной математической модели выполнен ориентировочный прогноз оросительных норм для периода 42 года наблюдений по метеостанциям юго-западного и юго-восточного Подмосковья (г. Наро-Фоминск и г. Кашира). В прогнозе рассмотрен вариант предполивной влажности 0,65 НВ и глубина увлажнения 0,5 м. Поливные нормы при прогнозе принимались равными 8 мм, поэтому оросительные получились кратными этой величине (табл. 5). Расчеты показали, что орошение не требуется в 6 годах из 42-х в Кашире и в 14 годах из 42-х в Наро-Фоминске. Различия в расчетных величинах оросительных норм для Каширы и Наро-Фоминска отражают отличия в климатических условиях, так как расстояние между метеостанциями составляет около 110 км, Кашира расположена юго-восточней, дефицит естественного увлажнения на 93 мм больше, чем у Наро-Фоминска, что соответствует общему характеру изменений погодных условий в Подмосковье с северо-запада на юго-восток.

Расчетные оросительные нормы на период 42 года

Обеспеченность, %	Характеристика года	Оросительная норма, мм для метеостанций	
		Кашира	Наро-Фоминск
10	Сухой	32	24
25	Полусухой	24	24
50	Средний	24	8
75	Полувлажный	8	0
90	Влажный	0	0
Среднее за 42 года		20	12

### Выводы

Математическая модель А. И. Голованова и Ю. И. Сухарева проверена по материалам полевых исследований в условиях юго-востока Московской области при капельном орошении яблоневого сада. Сравнение результатов полевых экспериментов и расчетов по модели показало ее применимость для практических расчетов.

Предложенная математическая модель позволяет оценить промываемость почвенного слоя при разных глубинах грунтовых вод и боковой отток из увлажняемой полосы, которые могут служить показателями экологичности способа полива. На ее основании выполнены прогнозные расчеты режима капельного орошения сада в разные по погодным условиям годы по материалам длительных наблюдений двух метеостанций Подмосковья и установлены оросительные нормы для лет разной обеспеченности.

Многовариантные исследования капельного орошения яблоневого сада показали, что увязка параметров техники капельного орошения со схемами посадки растений позволяет регулировать формирование корнеобитаемой зоны.

### Библиографический список

1. Математическая модель влагопереноса в ландшафтных катенах / Голованов А. И., Сухарев Ю. И. // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России: Материалы Межд. научно-практ. конф. – М.: МГУП, 2005.

2. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986.

3. Управление водным режимом мелиорируемых сельскохозяйственных земель / С. Ф. Аверьянов; под общ. ред. Ю. Н. Никольского. – М.: изд. РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2015. – 542 с.

4. Аверьянов С. Ф. Зависимость водопроницаемости почвогрунтов от содержания в них воздуха // Докл. АН СССР. – Т. 69. – Вып. 2. – М.: АН СССР, 1949.

Материал поступил в редакцию 18.08.2015.

### Сведения об авторах

**Голованов Александр Иванович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института природообустройства имени А. Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; тел.: +7-916-341-35-51; e-mail: a.i.golovanov@mail.ru.

**Кучер Дмитрий Евгеньевич**, аспирант; РУДН; 117198, Центральный Федеральный округ, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2; тел. +7-926-345-16-85; e-mail: dmitr004@gmail.com.

**Шуравилин Анатолий Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения, земледелия и земельного кадастра; РУДН; 117198, Центральный Федеральный округ, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2; тел.: 8 (495) 334-11-73.

**A. I. GOLOVANOV**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

**D. E. KUCHER, A. V. SHURAVILIN**

The Federal state autonomous educational institution of higher education  
«The Russian university of peoples' friendship», Moscow

## **SUBSTANTIATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE GARDEN DRIP IRRIGATION UNDER THE CONDITIONS OF THE MOSCOW REGION**

*Mathematical model of the garden drip irrigation developed by AS. I. Golovanov and Yu. I. Sukhanov was corrected on the basis of the multiple-choice field experience of the fruit garden irrigation during various on moisture provision years under the conditions of the Moscow region. The experiences were carried out in ZAO «Sovkhoz named after Lenin» of the Moscow region on sod-podzol medium-textured loam soils in the 2012-2014 years in the apple tree garden of an intensive type with a low growth type of Vesyalin apple tree. The field experience is organized on a two-factor system: factor A – level of pre-irrigation moisture of soil, factor B – depth of the moistened layer for each irrigation regime. For drip irrigation system HYDROLIT is used with droppers of 1,2 l/h consumption, three droppers per a plant, irrigation process is automated. In the article there are stated conditions of fulfillment of field experiments, there is given a comparison of field and calculated data confirming the applicability of the model to the conditions under consideration, there are given calculations of irrigation norms on the long series of weather data which could be used for designing parameters of the irrigation system, estimation of water requirements, assessment of irrigation influence on the environment. The proposed mathematical model allows assess washability of the soil layer at different depths of ground water and side outflow from the irrigated band which can be indicators of the ecological way of irrigation. Based on it there are fulfilled prognostic calculations of the garden drip irrigation in different according to weather conditions years according to the materials of long-term observations of two weather stations of Podmoscovje and established irrigation norms for the years of different provision. Multi-variant investigations of drip irrigation of the apple tree garden showed that connection of parameters of the drip irrigation technique with the schemes of plants planting makes it possible to regulate formation of root-inhabited zone.*

*Drip irrigation, fruit garden, mathematical simulation, irrigation regime.*

### **References**

1. Mathematical model of moisture transfer in landscape catenas / Golovanov A.I., Sukharev Yu.I. // Environmental engineering and rational nature management are the necessary conditions of the social and economic development of Russia: Materials of the International theoretical – practical conference. – M.: MSUEE, 2005.
2. Atlas of rated hydrological maps and nomograms. – L.: Hydrometeoizdat, 1986.
3. Management of water regime of reclamaed agricultural lands / S.F. Averjanov; edited by Yu.N. Nikoljsky. – M.: Publishing house RSAU MTAA, 2015. – 542 p.
4. Averjanov S. F. Dependence of water permeability from the air content in them // Report of the USSR AS. – V. 69. – Iss. 2. – M.: AS of the USSR, 1949.

Received on August 18, 2015.

### **Information about the authors**

**Golovanov Alexander Ivanovich**, doctor of technical sciences, chief researcher of the Institute of environmental engineering named after A.N. Kostyakov FSBEI HE RSBEI HE RSAU-MTAA; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 44; tel.: +7-916-341-35-51; e-mail: a.i.golovanov@mail.ru.

**Kucher Dmitrij Evgenjevich**, post graduate student; RUPF; 117198, The Central Federal District, Moscow, ul. Miklukho-Maklaya, 8/2; tel.: 7-926-345-16-85; e-mail: dmitr004@gmail.com.

**Shuravilin Anatolij Vasiljevich**, doctor of agricultural sciences, professor of the chair of soil science, farming and land cadastre; RUPF, 117198, The Central Federal District, Moscow, ul. Miklukho-Maklaya, 8/2; tel.: 8 (495) 334-11-73.