

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86

О трансформации контуров капельного увлажнения почвы в постполивной период

Андрей Сергеевич Штанько¹, Виктор Николаевич Шкура²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Аннотация. Цель: установление характерных особенностей изменения геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почвы после окончания полива. **Материалы и методы.** Основу для обобщений по динамике трансформации контуров влажности составили результаты полевых исследований, проведенных на трех экспериментальных площадках, почвенный покров которых представлен черноземом южным среднemosным, характеризуемым содержанием физической глины W_f , равным 45,0; 52,5 и 70,2 % от массы сухой почвы. Измерения параметров контуров осуществлялись в постполивной период через 0, 12, 24, 36, 48, 72 и 96 ч после завершения капельного полива. **Результаты и обсуждение.** Анализ формы и геометрических размеров контуров и внутриконтурных изоплет, зафиксированных в различные по продолжительности постполивные периоды, позволил установить качественные особенности их изменения во времени. Установлено увеличение линейных, площадных и объемных размеров контуров увлажнения в течение определенного временного периода, стабилизация и последующее их уменьшение, вплоть до полной сработки контуров. Из всего многообразия факторов, влияющих на процесс трансформации контуров, в качестве основного рассмотрены почвенные условия, определяемые гранулометрией почв. Получена эмпирическая зависимость, описывающая функциональную связь между линейными параметрами контуров, содержанием в увлажняемом почвенном профиле физической глины и продолжительностью постполивного периода. **Выводы.** По материалам полевых исследований установлены типичные для черноземов южных среднemosных легкоглинистых, средне- и тяжелосуглинистых качественно-количественные характеристики трансформации контуров капельно-увлажненной почвы в постполивной период. Проведено сопоставление прогнозируемых параметров контуров капельно-увлажненной почвы с известными данными, позволяющее сделать заключение об их приемлемости для практического применения при разработке режимов капельного орошения сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: капельное орошение, контур увлажнения почвы, параметры, трансформация, почвенные условия, межполивной период

Для цитирования: Штанько А. С., Шкура В. Н. О трансформации контуров капельного увлажнения почвы в постполивной период // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 69–86. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

On transformation of drip soil moisture contour in after-irrigation period



Andrey S. Shtanko¹, Viktor N. Shkura²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Abstract. Purpose: to determine special features of changes in the geometric and moisture parameters of the soil drip moisture contours after irrigation. **Materials and methods.** The basis for generalizations on the dynamics of moisture contours transformation was the results of field studies conducted on three experimental plots, the top soil of which is represented by medium-thick southern chernozem, characterized by the content of physical clay W_r equal to 45.0; 52.5 and 70.2 % by dry soil weight. Measurements of contour parameters were carried out in 0, 12, 24, 36, 48, 72 and 96 hours after completion of drip irrigation during post-irrigation period. **Results and discussion.** An analysis of the shape and geometric dimensions of the contours and internal contour isopleths, recorded in post-irrigation periods of different duration, made it possible to determine the qualitative features of their change over time. An increase of the linear, areal and volumetric dimensions of moisture contours over a certain time period, stabilization and their subsequent decrease, up to the complete contour drawdown, has been defined. Of all the variety of factors influencing the process of contour transformation, soil conditions determined by soil granulometry are considered as the main ones. An empirical dependence that describes the functional relationship between the linear parameters of the contours, the content of physical clay in the moistened soil profile, and the duration of the post-irrigation period has been obtained. **Conclusions.** Based on the field study data, the qualitative-quantitative parameters of transformation of the drip soil moisture contours in the post-irrigation period, typical for southern chernozems of medium-thick light clay, medium and heavy loam, were determined. The predicted parameters of drip soil moisture contours were compared with the known data, allowing to make a conclusion about their acceptability for practical application in the development of drip irrigation regimes for agricultural lands.

Keywords: drip irrigation, soil moisture contour, parameters, transformation, soil conditions, irrigation interval

For citation: Shtanko A. S., Shkura V. N. On transformation of drip soil moisture contour in after-irrigation period. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3): 69–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86>.

Введение. Продуктивность капельно-орошаемых плодовых культур в значительной мере определяется режимом их орошения. Одним из определяющих компонентов режима капельного орошения сельскохозяйственных культур является продолжительность межполивного периода [1, 2]. Технология капельного полива предусматривает формирование в почвенной толще искусственной зоны увлажненного почвенного пространства – контура влажности («контура увлажнения»). В пределах контура влажности в процессе каплевания формируются зоны с разным уровнем влажности почвы – от нижнего порога (уровня доливной влажности) до верх-

него предела, равного уровню наименьшей влагоемкости и превышающего его [3–6]. При расчете поливных норм предусматривается формирование в контуре запасного объема влаги для его последующего расходования и использования растениями. При таком подходе предусматривается формирование очага контура с влажностью, превышающей уровень наименьшей влагоемкости в 1,1–1,3 раза, с последующим его срабатыванием до допустимого нижнего порога влажности почвенного пространства. Указанное обстоятельство необходимо учитывать при разработке режимов капельного орошения сельскохозяйственных культур. Точность выполнения прогнозных расчетов режима орошения сельхозкультур определяется динамикой протекающего в почвенной толще в постполивной период процесса трансформации контура капельного увлажнения почвы.

Обоснование необходимости исследования указанного процесса и определенные сведения в этой области приведены в публикациях А. Д. Ахмедова, В. С. Бочарникова, М. К. Гаджиева, Е. Ю. Галиуллиной, М. П. Мещерякова, А. С. Овчинникова, В. И. Торбовского, В. Н. Шкуры, А. С. Штанько и ряда других специалистов. Установлено, что на процесс трансформации контуров капельного увлажнения почвы оказывают влияние характеристики почв, агроклиматические условия и влагопотребление возделываемых сельскохозяйственных культур [7–10].

Сложность протекающего в почвенном пространстве процесса перемещения, испарения и потребления влаги корневой системой растений, широкий спектр изменяющихся во времени параметров и взаимодействующих факторов объясняют недостаточность его изученности и исследованности. Это же обстоятельство предопределяет необходимость использования экспериментального подхода к изучению данного явления и процесса, позволяющего накопить необходимый для проведения обобщений объем фактологического материала. В связи с этим целью исследований, результаты которых изложены в статье, являлось установление характер-

ных особенностей изменения геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почвы после окончания полива.

Материалы и методы. В качестве исходных данных были использованы материалы полевых исследований, выполненных на трех экспериментальных площадках, расположенных на территории Ростовской области. При выборе площадок и планировании эксперимента учитывалась основная задача исследования, заключающаяся в установлении закономерности влияния почвенных условий на характер трансформации контуров влажности в постполивной период. Поэтому для поливного эксперимента выбраны площадки, почвенный покров которых представлен черноземом южным среднemosщным средне-, тяжелосуглинистым и легкоглинистым с водно-физическими характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Данные о водно-физических характеристиках почв на экспериментальных площадках

Table 1 – Data on the water-physical soil properties on experimental plots

№ площадки	Местонахождение	Характеристика почвы			
		Содержание физической глины W_r , % массы сухой почвы (МСП)	Наименьшая влагоемкость $W_{нв}$, % МСП	Плотность сложения $\gamma_{об}$, т/м ³	Дополнительная влажность $\beta_{д/п}$, % МСП
1	Красносулинский район, Донлесхоз	45,0	26,9	1,36	18,8
2	Октябрьский район, п. Персиановский	52,5	27,2	1,33	19,0
3	г. Новочеркасск, мкр-н Ключевой	70,2	29,8	1,29	20,9

Приведенные в таблице 1 значения W_r , $W_{нв}$, $\gamma_{об}$ и $\beta_{д/п}$ соответствуют средним их значениям по почвенному слою мощностью 1,3 м. Наличие грунтовых вод до глубины 2,0 м на опытных площадках не зафиксировано.

Технологические условия капельного полива (формирования контуров) и постполивных отборов почвенных проб приведены в таблице 2.

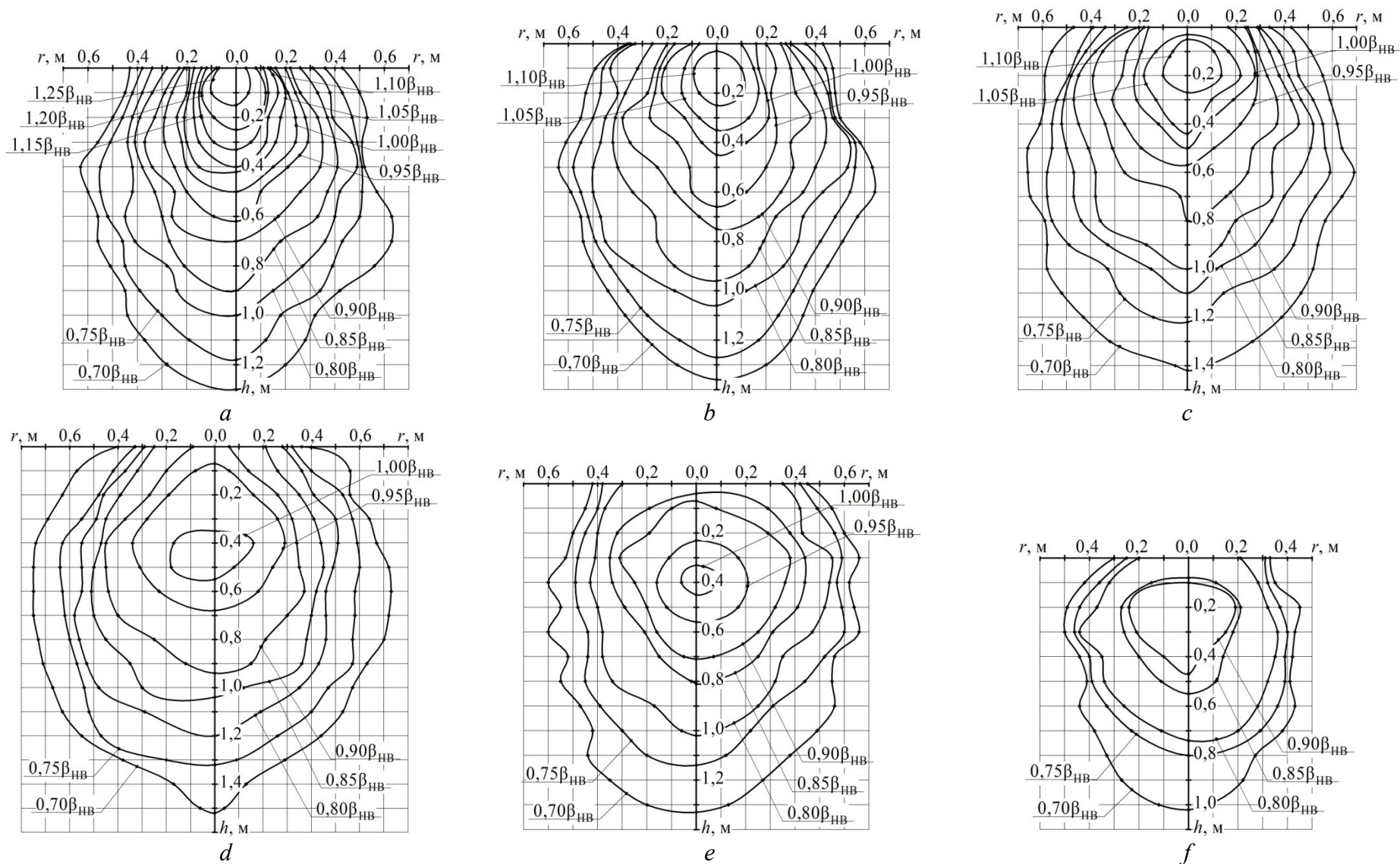
Для исключения фитологического фактора влияния опытные площадки выбирались на незатененных земельных участках, а имевшаяся

на них растительность предварительно удалялась. Уровень дополивной влажности $\beta_{дп}$, % МСП, при необходимости регулировался предварительной замочкой площадок. Почвенные характеристики на экспериментальных площадках устанавливались по общепринятым методикам [11].

Таблица 2 – Технологические параметры полевых исследований
Table 2 – Technological parameters of field research

№ площадки	Расход капельницы $q_{кап}$, л/ч	Поливная норма $N_{пол}$, л/кап.	Продолжительность постполивного периода $t_{п/п}$, ч
1	2,0	70	0,0; 12,0; 24,0; 36,0; 48,0; 72,0; 96,0
	4,0	70	0,0; 24,0; 48,0; 72,0
2	2,0	70	0,0; 24,0; 48,0; 72,0; 96,0
3	2,0	70	0,0; 24,0; 48,0; 72,0

Исследования процесса послеполивной трансформации контуров предусматривали: формирование контуров влажности в процессе полива – подачи поливной воды из надземно расположенных капельных микроводовыпусков; повременной отбор почвенных проб по двум радиалам (диаметру), проходящим через точку капания (ось контура), по сетке $0,1 \times 0,1$ м до глубины, составляющей 1,4 м на площадке № 1 и 1,3 м на площадках № 2 и 3. Влажность почвенных проб устанавливалась термостатно-весовым способом и тарированным влагомером. По полученным значениям влажности почвы составлялись матрицы увлажненного пространства, по которым строились профили контуров влажности с системой внутриконтурных изоплет с градацией через $0,05 \beta_{нв}$, являющиеся материалом для анализа и обобщений. Примеры контуров капельно-увлажненной почвы, зафиксированных на площадках № 1 и 3 при поливе капельницей с расходом $q_{кап} = 2,0$ л/ч, проиллюстрированы на рисунках 1 и 2 (на рисунках 1–4: r – радиус контура капельного увлажнения почвы, м; h – глубина контура капельного увлажнения почвы, м).

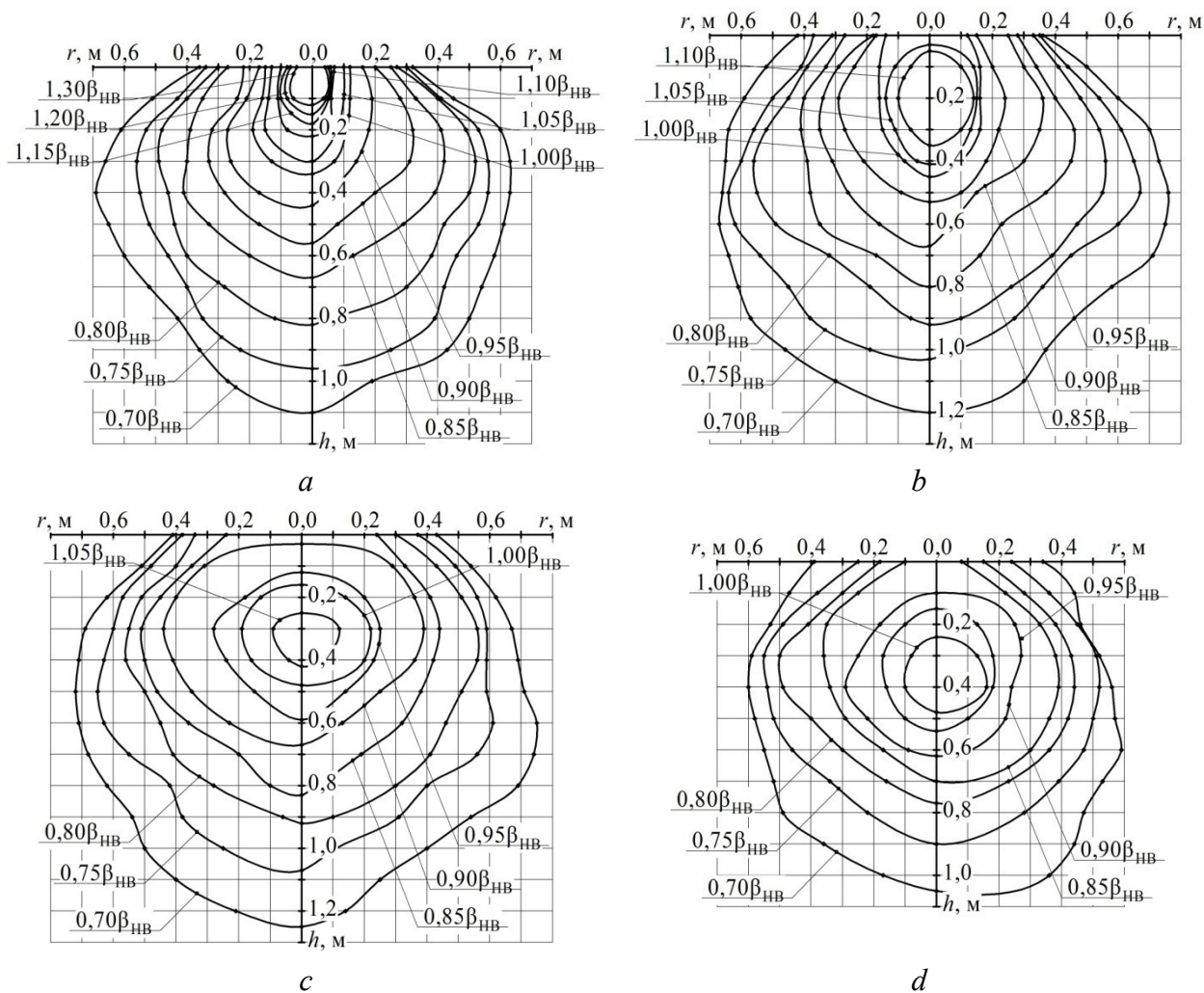


a) при $t_{\text{в/п}} = 1,0$ ч; b) при $t_{\text{в/п}} = 12,0$ ч; c) при $t_{\text{в/п}} = 24,0$ ч; d) при $t_{\text{в/п}} = 36,0$ ч; e) при $t_{\text{в/п}} = 48,0$ ч; f) при $t_{\text{в/п}} = 72,0$ ч

a) at $t_{\text{в/п}} = 1.0$ h; b) at $t_{\text{в/п}} = 12.0$ h; c) at $t_{\text{в/п}} = 24.0$ h; d) at $t_{\text{в/п}} = 36.0$ h; e) at $t_{\text{в/п}} = 48.0$ h; f) at $t_{\text{в/п}} = 72.0$ h

Рисунок 1 – Профили контуров влажности, зафиксированные в постполивной период на площадке № 1

Figure 1 – Profiles of moisture contours recorded in the after-irrigation period at plot no. 1



a) при $t_{п/п} = 1,0$ ч; б) при $t_{п/п} = 24,0$ ч; в) при $t_{п/п} = 48,0$ ч; г) при $t_{п/п} = 72,0$ ч
 а) at $t_{п/п} = 1.0$ h; б) at $t_{п/п} = 24.0$ h; в) at $t_{п/п} = 48.0$ h; г) at $t_{п/п} = 72.0$ h

Рисунок 2 – Профили контуров влажности, зафиксированные в постполивной период на площадке № 3

Figure 2 – Moisture contours profiles recorded in after-irrigation period at plot no. 3

Результаты и обсуждение. В соответствии с зафиксированными контурами влажности установлено, что в постполивной период имеет место изменение их размеров и трансформация внутриконтурного распределения уровней увлажненности почвенного пространства. Процесс протекающих в почвенной толще изменений геометрических и влажностных параметров сформировавшихся в результате капельного полива контуров увлажнения является результатом гравитационного и капиллярного пере-

носа влаги в пористой среде. Качественные особенности исследуемого процесса характеризуются нижеследующими проявлениями во времени.

На начальном этапе постполивного периода границы контуров и внутриконтурные изоплеты с уровнем влажности почвы, составляющим $\beta_{\text{из/п}} = (0,7...0,9)W_{\text{НВ}}$ ($W_{\text{НВ}}$ или $\beta_{\text{НВ}}$ – влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости), радиально перемещаются от очага контура влажности вглубь и вширь почвенного пространства. При этом линейные, площадные и объемные размеры очага контура уменьшаются, а значение влажности почвы в нем снижается (под очагом контура капельного увлажнения понимается внутриконтурное почвенное пространство, влажность почвы в котором превышает наименьшую влагоемкость почвы). Интенсивность роста размеров контуров особенно четко проявляется в первые 12–24 ч после завершения полива. При этом бóльшая интенсивность увеличения глубины ($h_{\text{кон}}$) и диаметра ($d_{\text{кон}}$) контура наблюдается в почве с меньшими значениями $W_{\text{г}}$ и $W_{\text{НВ}}$. Судя по опытным данным, размеры контуров в первые 12–24 ч, ограниченных изоплетами с влажностью 70, 80 и 90 % от уровня наименьшей влагоемкости, превышают таковые, зафиксированные после завершения капельного полива. При этом превышение внешних размеров контуров в сопоставлении с изначальными наблюдается в течение большей продолжительности постполивного периода ($t_{\text{п/п}}$) с увеличением значений $W_{\text{г}}$ и $W_{\text{НВ}}$. Так, в соответствии с авторскими опытными данными, максимальные значения глубины и диаметра контура влажности для почв с $W_{\text{г}} = 45,0$ % МСП зафиксированы при $t_{\text{п/п}} = 36,0$ ч, а в почве с содержанием глинистых частиц $W_{\text{г}} = 70,2$ % МСП – при $t_{\text{п/п}} = 48,0$ ч. При этом, вне зависимости от гранулометрии почвы, наблюдается адекватное расширение внутриконтурного почвенного пространства.

По завершении вышеописанного процесса, являющегося первым этапом периода трансформации контура, проявляется процесс уменьшения

внешних размеров контуров и интенсивной сработки геометрических и влажностных параметров очага контуров (см. рисунок 1f). Судя по опытным данным, интенсивность процесса сработки контура зависит от гранулометрии почвы. Установлено, что интенсивность и сроки уменьшения размеров контуров увлажнения в большей степени характерны для почв с относительно легким гранулометрическим составом.

Пример динамики процесса трансформации контура влажности во времени по оконтуривающей увлажненное почвенное пространство изоплете с уровнем влажности $\beta_{из/п} = 0,7W_{НВ}$ для почвенных и технологических условий капельного полива на второй экспериментальной площадке ($W_r = 52,5$ % МСП, $W_{НВ} = 27,2$ % МСП, $\gamma_{об} = 1,33$ т/м³, $\beta_{д/п} = 19,0$ % МСП, $q_{кап} = 2,0$ л/ч, $N_{пол} = 70$ л/кап.) проиллюстрирован рисунком 3.

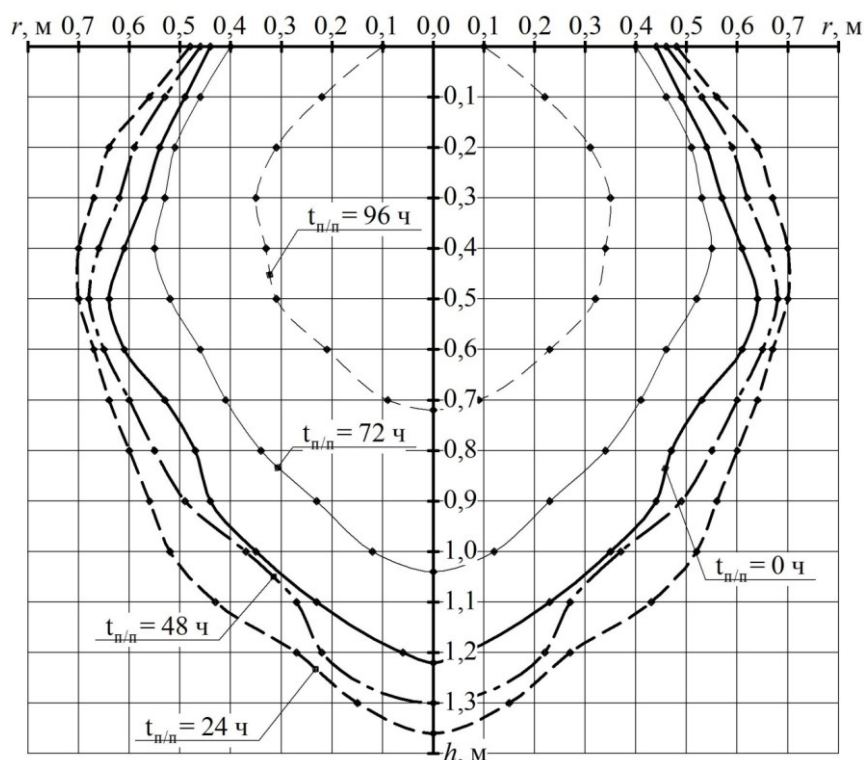


Рисунок 3 – Графическое представление трансформации положения оконтуривающих зону капельно-увлажненной почвы изоплет в условиях второй экспериментальной площадки

Figure 3 – Graphical presentation of the transformation of the position of isopleths contouring the zone of drip-moistened soil under the conditions of the second experimental plot

В соответствии с данными рисунка 3 динамика трансформации положения ограничивающей контуры влажности изоплеты во времени характеризуется относительно небольшими изменениями в течение 24 и 48 ч и прогрессирующим изменением (уменьшением) ее заглубленности в последующем временном периоде, т. е. при $t_{п/п}$ 72 и 96 ч.

Указанные качественные особенности трансформации (сработки) контуров характерны не только для почв с разной гранулометрией и влагоемкостью, но и для разных форм и размеров сформировавшихся в процессе капельного полива контуров влажности, что подтверждается контурами, зафиксированными на опытной площадке № 1 при поливе капельницами с расходом $q_{\text{кап}} = 4,0$ л/ч и приведенными на рисунке 4.

В соответствии с задачей исследований, наряду с качественной оценкой процесса (явления) постполивной трансформации контуров влажности, при анализе опытного материала установлено наличие изменяющейся во времени функциональной связи между основными линейными размерами контура влажности и гранулометрическими параметрами почвы в виде:

$$\frac{(h_{\text{из/п}})_{t_{п/п,i}}}{(h_{\text{из/п}})_{t_{п/п,0}}} = \frac{(d_{\text{из/п}})_{t_{п/п,i}}}{(d_{\text{из/п}})_{t_{п/п,0}}} = f(W_r, t_{п/п}), \quad (1)$$

где $(h_{\text{из/п}})_{t_{п/п,i}}$, $(d_{\text{из/п}})_{t_{п/п,i}}$ – глубина и диаметр контуров, очерчиваемых изоплетами определенного уровня влажности (в % от $\beta_{\text{НВ}}$), по истечении определенного временного периода $t_{п/п,i}$ после завершения полива, м;

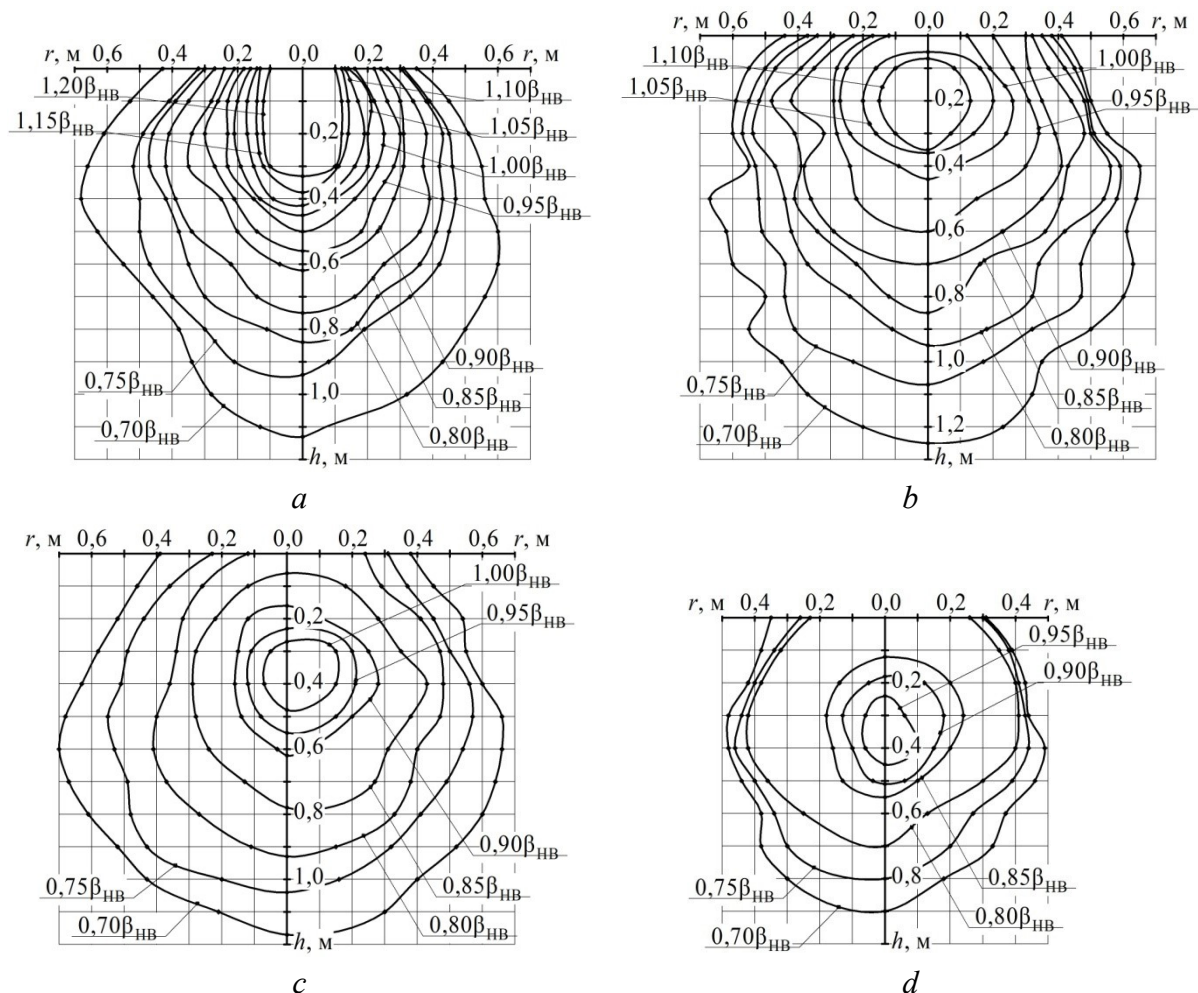
$(h_{\text{из/п}})_{t_{п/п,0}}$, $(d_{\text{из/п}})_{t_{п/п,0}}$ – глубина и диаметр контура влажности, очерченного изоплетой определенного уровня влажности, с фиксацией непосредственно после завершения процесса капельного полива, т. е. при $t_{п/п} = 0$ ч.

В результате дисперсионно-регрессионного анализа данных установлено, что указанная функциональная связь описывается зависимостью:

$$\frac{(h_{\text{кон}})_{t_{\text{п/п},i}}}{(h_{\text{кон}})_{t_{\text{п/п},0}}} = 1,0 + 0,13 \cdot \left[\frac{t_{\text{п/п}}^{0,24}}{W_{\text{г}}} + \frac{0,34 \cdot W_{\text{г}}^{1,1} - W_{\text{г}}^{0,05} - 0,33 \cdot t_{\text{п/п}}^{1,24}}{8,44 \cdot W_{\text{г}} + t_{\text{п/п}}} \right] \cdot t_{\text{п/п}}^{0,9}, \quad (2)$$

где $W_{\text{г}}$ – содержание в почве глинистых частиц, % МСП;

$t_{\text{п/п}}$ – продолжительность периода после окончания полива, ч.



a) при $t_{\text{п/п}} = 1,0$ ч; b) при $t_{\text{п/п}} = 24,0$ ч; c) при $t_{\text{п/п}} = 48,0$ ч; d) при $t_{\text{п/п}} = 72,0$ ч

a) at $t_{\text{п/п}} = 1.0$ h; b) at $t_{\text{п/п}} = 24.0$ h; c) at $t_{\text{п/п}} = 48.0$ h; d) at $t_{\text{п/п}} = 72.0$ h

Рисунок 4 – Профили контуров влажности, сформировавшиеся в условиях площадки № 1 при поливе капельницей с расходом 4 л/ч
Figure 4 – Moisture contours profiles formed under the conditions of plot no. 1 when watering with an emitter with a flow rate 4 l/h

Зависимость (2) базируется на обобщении опытных данных о динамике геометрических и влажностных параметров контуров влажности в постполивной период, сформировавшихся при капельном поливе черно-

земных почв степного и сухостепного типа почвообразования, для приведенных в таблицах 1 и 2 почвенных и технологических условий.

Графическое представление установленной функциональной связи (1) и описывающей ее зависимости (2) проиллюстрировано рисунком 5.

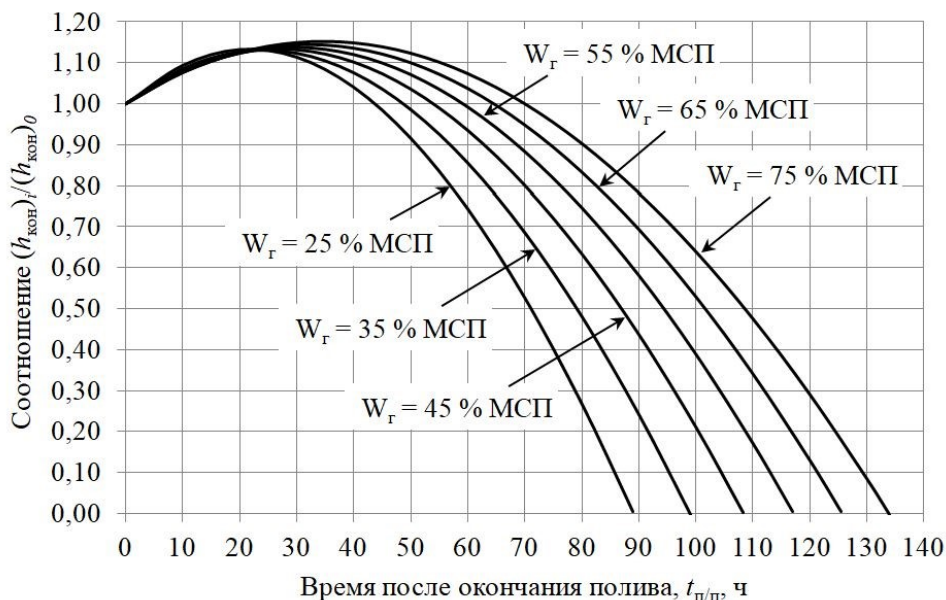


Рисунок 5 – Графическое представление функциональной связи

$$(h_{из/п})_{t_{п/п,i}} / (h_{из/п})_{t_{п/п,0}} = f(W_r, t_{п/п})$$

Figure 5 – Graphical presentation of the functional connection

$$(h_{из/п})_{t_{п/п,i}} / (h_{из/п})_{t_{п/п,0}} = f(W_r, t_{п/п})$$

Зависимость (2) с приемлемой для практических расчетов точностью описывает опытные данные, что проиллюстрировано рисунком 6.

Опытные данные и описывающая их экспериментальная зависимость (2) позволяют прогнозировать размеры контуров капельного увлажнения почвы на определенный постполивной временной период. Практический и теоретический интерес представляют значения продолжительности постполивных периодов, при которых значения соотношения $(h_{из/п})_{t_{п/п,i}} / (h_{из/п})_{t_{п/п,0}}$ и $(d_{из/п})_{t_{п/п,i}} / (d_{из/п})_{t_{п/п,0}}$ составляют: 1,0 – соответствует заданным и необходимым для растений геометрическим параметрам контура; 0,85 – соответствует допустимому уменьшению его геометрических параметров; 0,0 – соответствует состоянию полной сработки контура

влажности почвы. Продолжительность периодов, соответствующих достижению указанных условий, может быть определена по зависимостям:

$$(t_{п/п})_{1,0} = 31,0 + 0,53 \cdot W_r,$$

$$(t_{п/п})_{0,85} = 38,0 + 0,64 \cdot W_r,$$

$$(t_{п/п})_{0,0} = 68,0 + 0,88 \cdot W_r,$$

где $(t_{п/п})_{1,0}$ – продолжительность постполивного периода, в течение которого геометрические и влажностные параметры контура капельного увлажнения почвы полностью соответствуют заданным, ч;

$(t_{п/п})_{0,85}$ – продолжительность постполивного периода, в течение которого геометрические и влажностные параметры контура капельного увлажнения почвы находятся в пределах допустимого уменьшения, ч;

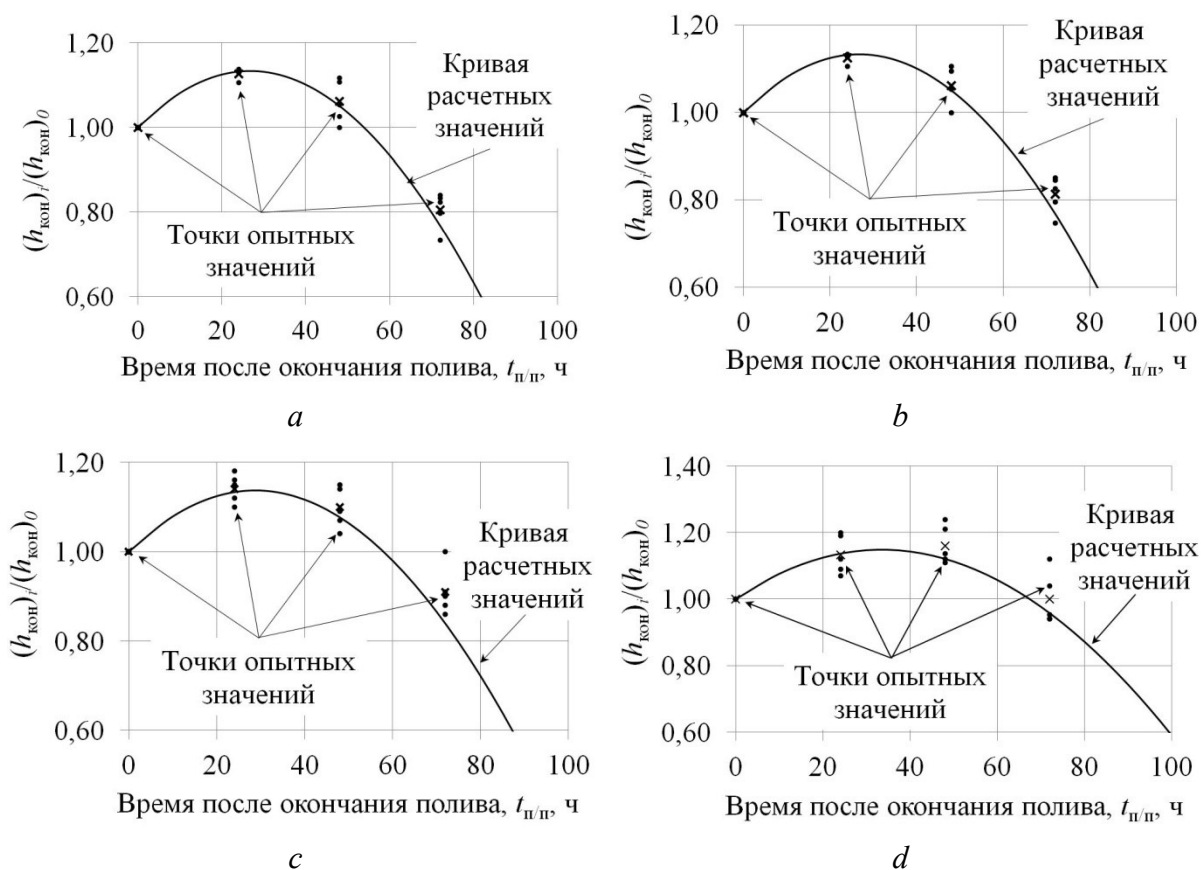
$(t_{п/п})_{0,0}$ – продолжительность постполивного периода, в течение которого контур влажности почвы полностью срабатывается, ч.

На процесс постполивной трансформации контуров капельного увлажнения почвы, кроме почвенных условий, влияют природно-климатические, эвапотранспирационные и физико-химические параметры среды. Степень их влияния подлежит установить при последующем исследовании. Отметим, что полученная расчетная зависимость может быть положена в основу многофакторной модели. О ее приемлемости для ведения предварительных расчетов можно судить по приведенным ниже (таблица 3) результатам сопоставления расчета с данными исследователей: А. С. Овчинникова и др. [6]; А. Д. Ахмедова и др. [7]; В. С. Бочарникова¹; В. И. Торбовского²; М. К. Гаджиева³.

¹Бочарников В. С. Научно-экспериментальное обоснование повышения эффективности технологических процессов и технических средств локального орошения в овощеводстве открытого и закрытого грунта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02. Волгоград, 2016. 40 с.

²Торбовский В. И. Режим и техника капельного орошения малины: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. Новочеркасск, 2012. 24 с.

³Гаджиев М. К. Особенности капельного орошения виноградников в условиях Дагестанской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. Новочеркасск, 2012. 24 с.



a) по площадке № 1 при $q_{\text{кап}} = 2,0$ л/ч; b) по площадке № 1 при $q_{\text{кап}} = 4,0$ л/ч;
 c) по площадке № 2; d) по площадке № 3
 a) at site no. 1 at $q_{\text{кап}} = 2.0$ l/h; b) at site no. 1 at $q_{\text{кап}} = 4.0$ l/h; c) site no. 2; d) on site no. 3

Рисунок 6 – Сопоставление расчетных данных с опытными
Figure 6 – Comparison of calculated data with the experimental ones

Таблица 3 – Результаты сопоставления известных опытных данных с расчетом по зависимости (2)

Table 3 – Results of comparison of known experimental data with the calculation according to the dependence (2)

Почвенные условия W_r , % МСП	Значение $(h_{\text{из/п}})_{t_{\text{п/п},i}} / (h_{\text{из/п}})_{t_{\text{п/п},0}}$ при значении $t_{\text{п/п}}$			
	12,0 ч	24,0 ч	48,0 ч	72,0 ч
1	2	3	4	5
64,0	Опытные данные по А. С. Овчинникову и др. [6]			
	1,10	1,016	1,01	0,69
	Расчетные значения по формуле (2)			
	1,09	1,14	1,11	0,92
77,5	Опытные данные по А. Д. Ахмедову и др. [7]			
	1,11	1,17	1,14	0,68
	Расчетные значения по формуле (2)			
	1,09	1,14	1,13	0,99

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4	5
48,4	Опытные данные по В. С. Бочарникову			
	1,15	1,38	1,12	0,71
	Расчетные значения по формуле (2)			
	1,09	1,13	1,06	0,80
64,8	Опытные данные по В. И. Торбовскому			
	1,15	1,17	1,13	1,04
	Расчетные значения по формуле (2)			
	1,09	1,14	1,11	0,93
46,0	Опытные данные по М. К. Гаджиеву			
	1,12	1,15	1,04	0,74
	Расчетные значения по формуле (2)			
	1,09	1,13	1,05	0,79

Судя по данным таблицы 3, характер, динамика и численные значения показателя, характеризующего трансформацию контура капельно-увлажненного почвенного пространства в постполивной период, позволяют сделать заключение о приемлемости зависимости (2) для практического применения. Предложенная модель позволяет прогнозировать качественные и количественные линейные размеры контуров и может быть принята за основу для дальнейшего ее развития и адаптации к иным, отличным от исследованных почвенным, агроклиматическим, фитологическим условиям формирования контуров капельного увлажнения почвы и их постполивной трансформации.

Выводы. На примере черноземов средне-, тяжелосуглинистых и легкоглинистых проведены анализ и обобщение опытных данных, характеризующих процесс трансформации геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почв в постполивной период, в результате которых установлены характерные особенности изменения геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почвы после окончания полива. Процесс трансформации контуров капельного увлажнения почвы можно условно разбить на два этапа. Первый характеризуется перераспределением влаги из ядра контура и увеличением

геометрических параметров увлажненного почвенного пространства. Продолжительность этого этапа в зависимости от гранулометрического состава почв варьирует от 24 до 48 ч. На втором этапе происходит сработка контура влажности, проявляющаяся в уменьшении его геометрических параметров. Установленная функциональная связь между продолжительностью постполивного периода, геометрическими параметрами контура влажности и почвенными условиями орошаемого участка описана эмпирической зависимостью, позволяющей прогнозировать изменение геометрических размеров контуров влажности в постполивной период в условиях исследованных видов почв. Проведенная апробация предложенной зависимости на данных опытных исследований, полученных рядом других авторов, показала ее приемлемость для предварительного определения межполивного периода. Отметим, что на процесс постполивной трансформации контуров капельного увлажнения почвы, кроме почвенных условий, влияют природно-климатические, эвапотранспирационные и физико-химические параметры среды. Степень их влияния подлежит установить при последующем исследовании в данном направлении.

Список источников

1. Продуктивность яблоневого сада интенсивного типа при капельном орошении / В. В. Бородычев, Н. В. Криволицкая, А. А. Криволицкий, Е. А. Стрижакова // Главный агроном. 2017. № 3. С. 8–14.
2. Лытов М. Н. Особенности применения дифференцированных режимов водобеспечения при капельном способе орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 2(78). С. 54–60.
3. Расчет поливных норм при капельном орошении в условиях сухостепного Заволжья / Н. А. Пронько, В. В. Корсак, Ю. Ю. Каднова, М. Ю. Филиппова, О. А. Баклушина // Основы рационального природопользования: материалы VI Нац. конф. с междунар. участием. Саратов, 2020. С. 55–59.
4. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches / B. Karimi, N. Karimi, J. Shiri, H. Sanikhani // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2022. 36. P. 157–172. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>.
5. Modeling moisture bulb distribution on sloping lands: Numerical and regression-based approaches / S. Solat, F. Alinazari, E. Maroufpoor, J. Shiri, B. Karimi // Journal of Hydrology. 2021. 601. 126835. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126835>.
6. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Мещеряков М. П. Методика расчета и

обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта // Природообустройство. 2012. № 4. С. 10–14.

7. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю., Темерев А. А. Динамика увлажнения почвы при капельном увлажнении садов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 2. С. 159–164.

8. Агрохимические и водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы при капельном орошении плодового питомника / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев, О. Е. Ефимов, А. А. Прохоров // Овощи России. 2021. № 3. С. 116–121. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-116-121>.

9. Properties of sod-podzolic soil in European Russia with drip irrigation of the fruit nursery / N. N. Dubenok, A. V. Gemonov, A. V. Lebedev, O. E. Efimov, A. A. Prokhorov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Dushanbe, 2022. 1010. 012108. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012108.

10. Штанько А. С., Шкура В. Н. Изменение параметров локальных контуров капельного увлажнения почв в постполивной период // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 227–233.

11. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова, Г. И. Табала; под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 137 с.

References

1. Borodychev V.V., Krivolutskaya N.V., Krivolutsky A.A., Strizhakova E.A., 2017. *Produktivnost' yablonevogo sada intensivnogo tipa na kapel'nom oroschenii* [Productivity of intensive apple orchard on drip irrigation]. *Glavnyy agronom* [Chief Agronomist], no. 3, pp. 8-14. (In Russian).

2. Lytov M.N., 2020. *Osobennosti primeneniya differentsirovannykh rezhimov vo doobespecheniya pri kapel'nom sposobe oroscheniya* [Features of differentiated water supply modes application with drip irrigation method]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(78), pp. 54-60. (In Russian).

3. Pronko N.A., Korsak V.V., Kadnova Yu.Yu., Filippova M.Yu., 2020. *Raschet polivnykh norm pri kapel'nom oroschenii v usloviyakh sukhostepnogo Zavolzh'ya* [Calculation of irrigation norms for drip irrigation under the conditions of the dry steppe Trans-Volga]. *Osnovy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy VI Nats. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Fundamentals Rational Nature Management: Proc. of the VI National Conf. with International Participation]. Saratov, pp. 55-59. (In Russian).

4. Karimi B., Karimi N., Shiri J., Sanikhani H., 2022. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, pp. 157-172, <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>.

5. Solat S., Alinazari F., Maroufpoor E., Shiri J., Karimi B., 2021. Modeling moisture bulb distribution on sloping lands: Numerical and regression-based approaches. *Journal of Hydrology*, 601, 126835, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126835>.

6. Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P., 2012. *Metodika rascheta i obosnovanie parametrov kontura uvlazhneniya v usloviyakh otkrytogo i zakrytogo grunta* [The calculation method and substantiation of moisture contour parameters under the conditions of the open and closed ground]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 10-14. (In Russian).

7. Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., Temerev A.A., 2011. *Dinamika uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom uvlazhnenii sadov* [Dynamics of soil moistening during drip irrigation

of gardens]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 2, pp. 159-164. (In Russian).

8. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Efimov O.E., Prokhorov A.A., 2021. *Agrokhimicheskie i vodno-fizicheskie svoystva dernovo-podzolistoy pochvy pri kapel'nom oroshenii plodovogo pitomnika* [Agrochemical and water-physical properties of sod-podzolic soil under drip irrigation of a fruit nursery]. *Ovoshchi Rossii* [Vegetable Crops of Russia], no. 3, pp. 116-121, <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-116-121>. (In Russian).

9. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Efimov O.E., Prokhorov A.A., 2022. Properties of sod-podzolic soil in European Russia with drip irrigation of the fruit nursery. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Dushanbe, 1010, 012108, DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012108.

10. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2017. *Izmenenie parametrov lokal'nykh konturov kapel'nogo uvlazhneniya pochv v postpolivnoy period* [Changes in the parameters of local contours of drip soil moisture in the post-irrigation period]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(66), pp. 227-233. (In Russian).

11. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Shalashova O.Yu., Tabala G.I., 2017. *Rukovodstvo po kontrolyu i regulirovaniyu pochvennogo plodorodiya oroshaemykh zemel'* [Guidelines for Control and Regulation of Soil Fertility of Irrigated Lands]. Novocherkassk, RosNIIPM, 137 p. (In Russian).

Информация об авторах

А. С. Штанько – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор.

Information about the authors

A. S. Shtanko – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 05.07.2023.

The article was submitted 02.05.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 05.07.2023.