

ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

Научная статья
УДК 631.674

Динамика объемных и влажностных характеристик зоны капельного увлажнения почвы в межполивной период

Андрей Сергеевич Штанько¹, Сергей Артурович Селицкий²

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

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

²ssilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

Аннотация. Цель: изучение процессов трансформации зон капельного увлажнения почвы и установление динамики объемных и влажностных характеристик зоны капельного увлажнения почвы в межполивной период. **Материалы и методы.** Сбор опытных данных проводился на трех опытных площадках в Красносулинском и Октябрьском районах, а также г. Новочеркасск Ростовской области. В результате полевых исследований зафиксированы через 0; 12; 24; 36; 48; 72; 96 ч после окончания полива геометрические и влажностные параметры контуров влажности почвы, сформированных на трех участках, почвы которых представлены черноземом южным среднетяжелым с содержанием глинистых частиц 45,0; 52,5 и 70,2 % массы сухой почвы (МСП). **Результаты.** В результате обработки и исследования параметров зафиксированных контуров влажности почвы были установлены закономерности изменения объемных и влажностных характеристик зоны капельного увлажнения почвы в послеполивной период и получены отражающие этот процесс зависимости. В качестве показателей, оказывающих основное влияние на динамику трансформации контуров влажности почвы, на данном этапе определены: содержание в почве глинистых частиц W_r , % МСП; продолжительность периода времени после полива $t_{п/п}$, ч; дополивная $\beta_{д/п}$, % МСП, и послеполивная $\beta_{п/п}$, % МСП, влажности почвы во внутриконтурном пространстве. **Вывод.** Сопоставление рассчитанных по предложенным моделям объема и средней влажности контуров с опытными данными показало отклонение до 7,0 %, что позволяет рекомендовать предложенные зависимости для прогнозирования параметров контуров на различных этапах их трансформации в постполивной период. Предложенные модели трансформации объемных и влажностных параметров контуров влажности почвы могут быть приняты за основу для дальнейшего развития предложенного подхода и адаптации его к отличным от исследованных почвенным, агроклиматическим, фитологическим условиям формирования контуров капельного увлажнения почвы.

Ключевые слова: капельное орошение, контур увлажнения почвы, межполивной период, трансформация контура, диаметр контура, глубина контура, объем контура

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на научно-практической конференции «Инновационные пути развития мелиоративных систем и сооружений» (г. Новочеркасск, 5 сентября 2023 г.).

Для цитирования: Штанько А. С., Селицкий С. А. Динамика объемных и влажностных характеристик зоны капельного увлажнения почвы в межполивной период // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 138–150.



INNOVATIVE WAYS OF DEVELOPING RECLAMATION SYSTEMS AND STRUCTURES

Original article

Dynamics of volume and moisture characteristics of drip soil moisture areas in inter-irrigation period

Andrey S. Shtanko¹, Sergey A. Selitskiy²

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

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

²ssilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

Abstract. Purpose: to study the transformation processes of drip soil moisture zones and to determine the dynamics of the volumetric and moisture characteristics of drip soil moisture areas in non-irrigation period. **Materials and methods.** The collection of experimental data was carried out at three experimental sites in Krasnosulinsky and Oktyabrsky districts, as well as the town Novochoerkassk, Rostov region. As a result of field research, the geometric and moisture parameters of soil moisture contours formed in three areas, the soils of which are represented by medium-thick southern chernozem with a content of clay particles of 45.0; 52.5 and 70.2 % dry soil mass (DSM) were recorded after 0; 12; 24; 36; 48; 72; 96 hours after irrigation. **Results.** As a result of processing and studying the parameters of the recorded soil moisture contours, patterns of changes in the volumetric and moisture characteristics of drip soil moisture zone in the after-irrigation period were stated and dependencies reflecting this process were obtained. At this stage, the following indicators that have the main influence on the dynamics of soil moisture contours transformation have been identified: the content of clay particles in the soil, W_r , % DSM; duration of the after-irrigation period, $t_{n/n}$, h; pre-irrigation, $\beta_{n/n}$, % DSM, and after-irrigation, $\beta_{n/n}$, % DSM, soil moisture in the contour space. **Conclusion.** A comparison of the volume and average contour moisture calculated by the proposed models with experimental data showed a deviation of up to 7.0 %, which allows to recommend the proposed dependencies for predicting the contour parameters at various stages of their transformation in the after-irrigation period. The proposed models for the transformation of volumetric and moisture parameters of soil moisture contours can be taken as the basis for further development of the proposed approach and adapting it to soil, agroclimatic, and phytological conditions for the formation of soil drip moisture contours that differ from those studied.

Keywords: drip irrigation, soil moisture contour, inter-irrigation period, contour transformation, contour diameter, contour depth, contour volume

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the scientific and practical conference “Innovative ways of developing reclamation systems and structures” (Novochoerkassk, September 5, 2023).

For citation: Shtanko A. S., Selitskiy S. A. Dynamics of volume and moisture characteristics of drip soil moisture areas in inter-irrigation period. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2023;91(3):138–150. (In Russ.).

Введение. Технология капельного орошения широко применяется в орошаемом земледелии. Основным достоинством систем капельного орошения является более рациональное использование оросительной воды

по сравнению с дождеванием и другими способами орошения сельскохозяйственных культур. Экономия водных ресурсов достигается за счет увлажнения определенной части площади орошаемого участка и формирования в почвенном пространстве локальных зон увлажнения [1, 2]. Для получения наибольшей эффективности орошения сельскохозяйственных культур капельным способом необходимо обеспечить соответствие местоположения, геометрических и влажностных параметров локальных зон капельного увлажнения почвы потребностям корневых систем возделываемых культур. При этом параметры формируемых в почве локальных зон увлажнения в виде отдельных контуров или полос увлажнения неодинаковы для различных типов почв. Известно, что форма единичного контура увлажнения почвенного слоя определяется водно-физическими свойствами почвы, а его размеры зависят от расхода капельницы и продолжительности водоподачи [3–6]. С участием авторов была разработана методика прогнозирования геометрических и влажностных параметров «первичного» контура капельного увлажнения почвы [7, 8]. Под «первичным» контуром увлажнения почвы понимается зона увлажнения, сформированная в течение первого за вегетационный период полива в условиях почвенного пространства орошаемого участка, имеющего относительно одинаковый уровень влажности без выраженных очагов повышенной влажности. Предложенная методика позволяет определить величину поливной нормы на одну капельницу, необходимую для формирования «первичной» зоны капельного увлажнения почвы с требуемой глубиной увлажнения, максимальный диаметр формирующегося контура влажности, а также построить граничную и внутриконтурные изоплеты, демонстрирующие распределение влажности в контуре капельного увлажнения почвы.

Кроме этого, для обеспечения высокой эффективности капельного орошения и урожайности сельскохозяйственных культур необходимо поддерживать в течение вегетационного периода оптимальные геометриче-

ские и влажностные параметры «первичной» зоны увлажнения почвы. Для этого необходимо иметь возможность обосновать такие параметры режима орошения, как продолжительность межполивного периода, в течение которого «первичный» контур влажности сработается до минимально допустимых значений объема и влажности, и величина поливной нормы, необходимой для создания «вторичного» контура увлажнения почвы, формирующегося в условиях частично сработанного «первичного» контура влажности. На предшествующем этапе исследования процессов трансформации зон капельного увлажнения почвы в межполивной период в опытных условиях была установлена динамика линейных размеров зоны капельного увлажнения почвы в межполивной период, получена отражающая этот процесс зависимость [9]:

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

где $(h_{\text{кон}})_{t_{\text{п/п},i}}$ – глубина контура влажности по истечении временного периода $t_{\text{п/п},i}$ после завершения полива, м;

$(h_{\text{кон}})_{t_{\text{п/п},0}}$ – глубина контура влажности с фиксацией непосредственно после завершения процесса капельного полива при $t_{\text{п/п}} = 0$ ч;

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

$W_{\text{г}}$ – содержание в почве глинистых частиц, % массы сухой почвы (МСП),

и проведена ее апробация на опытных данных других исследователей [9].

Целью исследования на данном этапе являлось изучение процессов трансформации зон капельного увлажнения почвы в межполивной период и установление динамики объемных и влажностных характеристик зоны капельного увлажнения почвы в межполивной период.

Материалы и методы. Сбор опытных данных для настоящего ис-

следования проводился под руководством профессора В. Н. Шкуры в 2010–2017 гг. на трех опытных площадках, расположенных в пределах Ростовской области. Местоположение площадок и водно-физические характеристики почв опытных площадок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Водно-физические характеристики почв

Table 1 – Water-physical soil characteristics

№ площад-ки	Расположение площадки	Характеристика почвы			
		содержание фи-зической глины (W_r , % 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 (пос. Персиановский)	52,5	27,2	1,33	19,0
3	г. Новочеркасск (мкр-н Ключевой)	70,2	29,8	1,29	20,9

Почвенные характеристики на экспериментальных площадках устанавливались по общепринятым методикам [2]. Полевые исследования трансформации контуров увлажнения почвы предусматривали проведение капельного полива с выдачей поливной нормы $N_{кап} = 70$ л/кап. и последующую фиксацию изменения во времени линейных, влажностных и объемных параметров формирующихся зон капельно увлажненного почвенного пространства в постполивной период. Технологические условия проведения полевых исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические условия проведения полевых исследований

Table 2 – Technological conditions for conducting field research

№ площад-ки	Расход капельниц (q_k , л/ч)	Поливная норма ($N_{кап}$, л/кап.)	Постполивная влажность ($\beta_{п/п}$, % МСП)	Продолжительность постполивного периода ($t_{п/п}$, ч)
1	2,0	70,0	24,2	0; 12; 24; 36; 48; 72; 96
	4,0			0; 24; 48; 72
2	2,0	70,0	24,5	0; 24; 48; 72; 96
3	2,0	70,0	26,8	0; 24; 48; 72

Для исключения влияния фитологического фактора площадки предварительно очищались от растительности и располагались на открытом незатененном земельном участке. Среднесуточная температура воздуха на площадках в периоды исследований (июль) составляла на площадке № 1 – 24,2 °С; на площадке № 2 – 24,6 °С и на площадке № 3 – 24,8 °С. Указанные значения температур соответствуют уровню их 50% обеспеченности для наиболее жаркого периода вегетации культур. Примеры профилей контуров капельного увлажнения почвы, зафиксированных на экспериментальной площадке № 1, проиллюстрированы на рисунке 1.

Результаты и обсуждение. Наряду с трансформацией линейных размеров контура (его глубины и диаметра), изменялись его площадные и объемные параметры. Характер изменения объемов контуров во времени $(V_{t_{п/п}})_i$ (рисунок 2) в целом соответствует процессу (динамике) трансформации глубин увлажняемой зоны.

Динамика объемов контуров влажности в течение послеполивного периода описывается зависимостью вида:

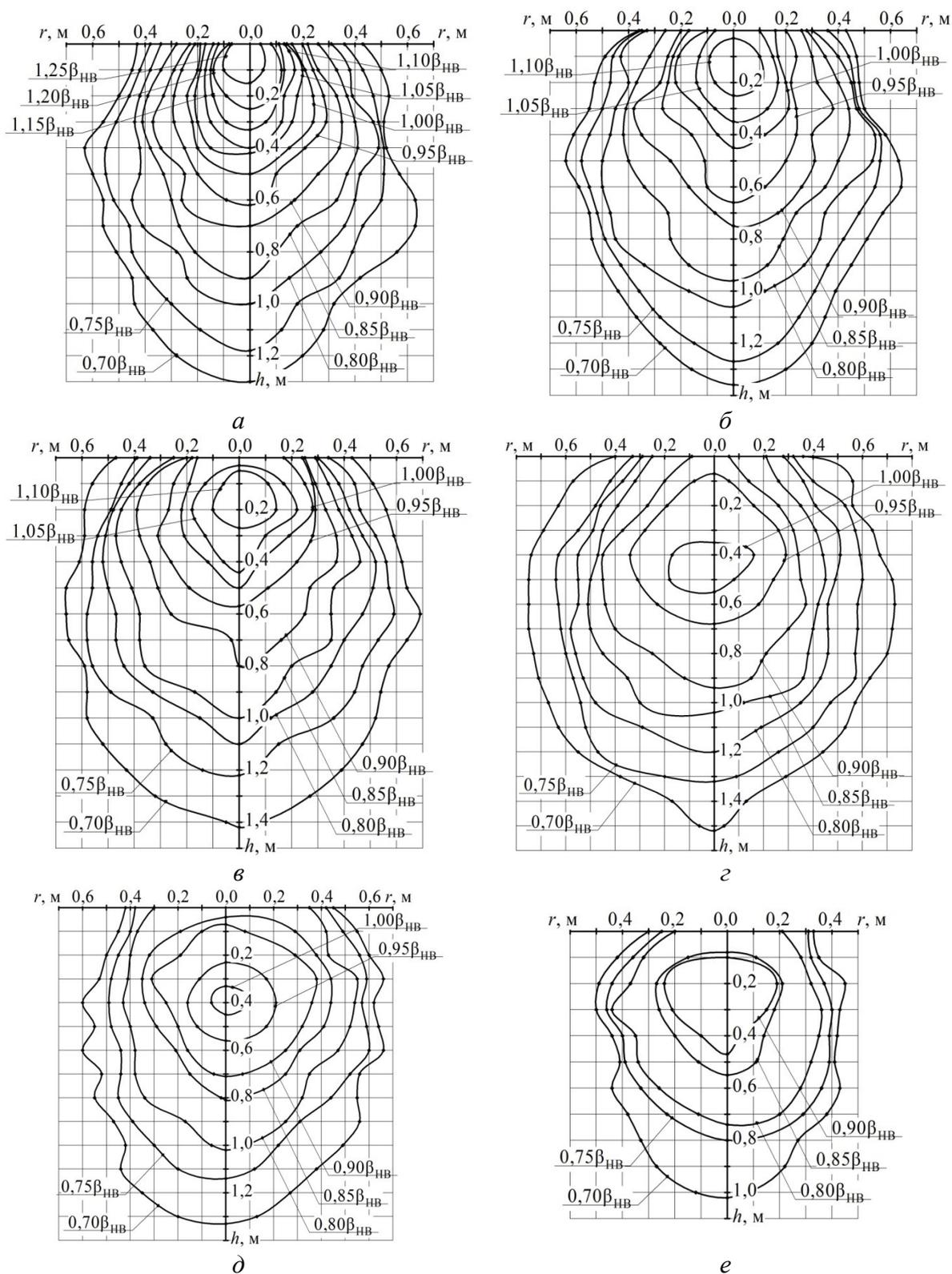
$$(V_{t_{п/п}})_i / (V_{t_{п/п}})_0 = [(h_{t_{п/п}})_i / (h_{t_{п/п}})_0]^{W_{\Gamma}^{0,18}}, \quad (2)$$

где $(h_{t_{п/п}})_i / (h_{t_{п/п}})_0$ – соотношения глубин контуров при $(t_{п/п})_i$ и $(t_{п/п})_0$, определяемые для соответствующих условий полива по зависимости (1).

С учетом зависимости (2) зависимость (1) приобретает вид:

$$\frac{V_{t_{п/п}i}}{V_{t_{п/п}0}} = \left[\frac{(h_{\text{кон}})_{t_{п/п}i}}{(h_{\text{кон}})_{t_{п/п}0}} \right]^{W_{\Gamma}^{0,18}} = \left[1,0 + 0,13 \cdot \left[\frac{t_{п/п}^{0,24}}{W_{\Gamma}} + \frac{0,34 \cdot W_{\Gamma}^{1,1} - W_{\Gamma}^{0,05} - 0,33 \cdot t_{п/п}^{1,24}}{8,44 \cdot W_{\Gamma} + t_{п/п}} \right] \cdot t_{п/п}^{0,9} \right]^{W_{\Gamma}^{0,18}}. \quad (3)$$

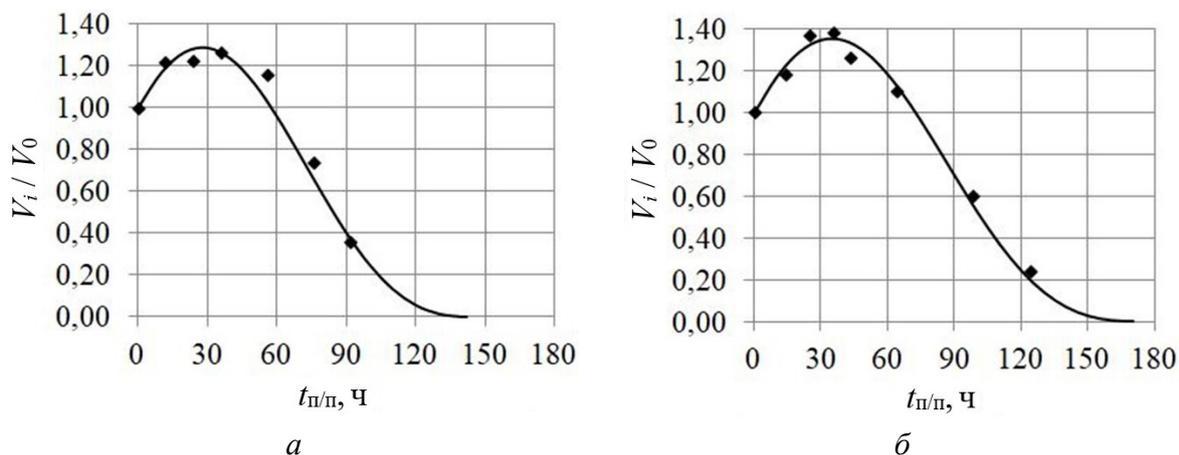
Графическое представление модели (3) проиллюстрировано рисунком 3.



a – при $t_{\text{ир}}$ = 0,0 ч; *б* – при $t_{\text{ир}}$ = 12,0 ч; *в* – при $t_{\text{ир}}$ = 24,0 ч;
г – при $t_{\text{ир}}$ = 36,0 ч; *д* – при $t_{\text{ир}}$ = 48,0 ч; *е* – при $t_{\text{ир}}$ = 72,0 ч

Рисунок 1 – Контуры влажности почвы, зафиксированные на площадке № 1

Figure 1 – Soil moisture contours recorded at plot no. 1



а – при $W_r = 45,0 \% \text{ МСП}$; б – при $W_r = 70,2 \% \text{ МСП}$

Рисунок 2 – Примеры изменения объемов контуров влажности в постполивной период

Figure 2 – Examples of moisture contour volume changes in after-irrigation period

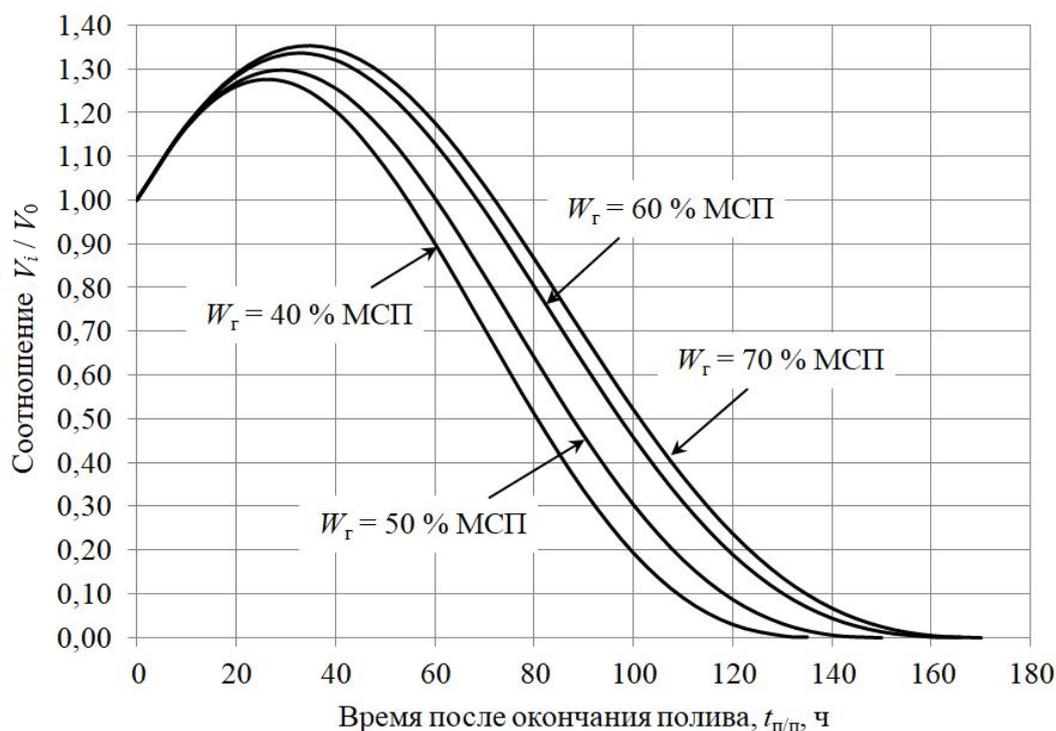


Рисунок 3 – Графический вид модели (3)

Figure 3 – Graphical view of the model (3)

В процессе постполивного периода трансформации и сработки контуров имеет место системное уменьшение средних значений влажности почвы β_{cp} во внутриконтурном пространстве. Динамика процесса уменьшения значений β_{cp} во времени $t_{п/п}$ зависит от соотношения постполивной

$\beta_{п/п}$ и дополивной $\beta_{д/п}$ влажности почвы во внутриконтурном пространстве $\beta_{п/п}/\beta_{д/п}$ и от почвенных условий W_r . Пример функциональной связи $\beta_{ср}/\beta_{д/п} = f(\beta_{п/п}/\beta_{д/п}; t_{п/п})$ для трансформации контура, сформированного на площадке № 2, проиллюстрирован рисунком 4.

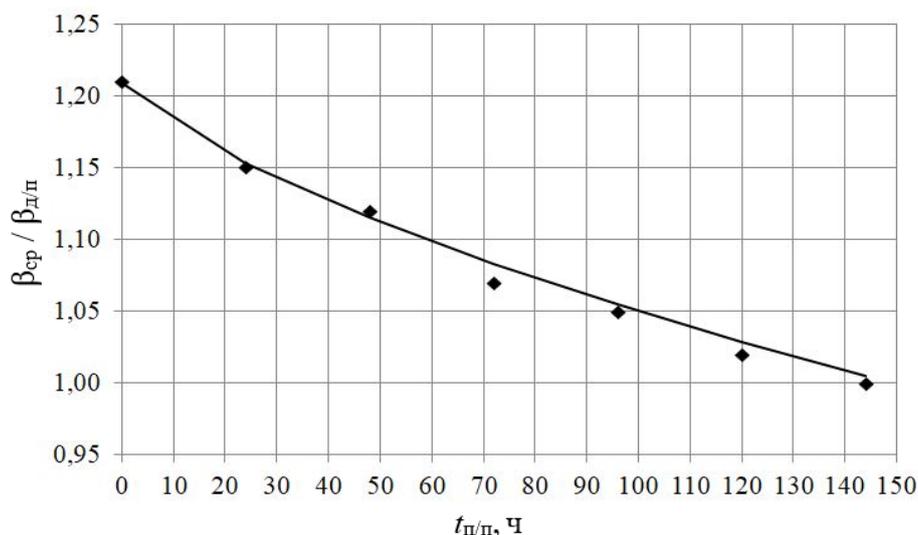


Рисунок 4 – Опытные данные и графическое представление динамики средней влажности почвы во внутриконтурном пространстве в послеполивном периоде

Figure 4 – Experimental data and graphical representation of average soil moisture dynamics in contour space in after-irrigation period

В рассматриваемом случае указанная функциональная связь описывается зависимостью:

$$\beta_{ср} / \beta_{д/п} = \frac{k_{п} \cdot \beta_{п/п} / \beta_{д/п}}{1,0 + 0,0038 \cdot t_{п/п}^{0,8}},$$

где $k_{п}$ – коэффициент, учитывающий потери поливной воды (на испарение), имеющие место в процессе каплевания (в почвенных, технологических и микроклиматических условиях формирования контура влажности на площадке № 2 значение этого коэффициента составило $k_{п} = 0,94$).

В результате дисперсионно-регрессионного анализа всего банка опытных данных установлена эмпирическая зависимость, учитывающая влияние значений W_r на величину соотношения $\beta_{ср}/\beta_{д/п}$, имеющая вид:

$$\beta_{\text{ср}} / \beta_{\text{д/п}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot \beta_{\text{п/п}} / \beta_{\text{д/п}}}{1,0 + 0,0038 \cdot [t_{\text{п/п}} \cdot 1,027 \cdot (52,5 / W_{\text{г}})^{0,41}]^{0,8}}$$

Графическое представление зависимости проиллюстрировано рисунком 5.

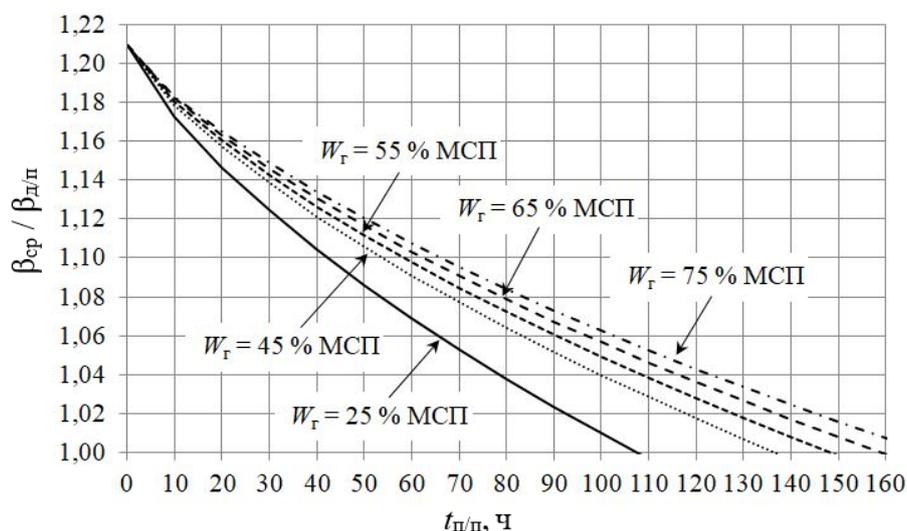


Рисунок 5 – Графики функциональной связи
 $\beta_{\text{ср}} / \beta_{\text{д/п}} = f(\beta_{\text{п/п}} / \beta_{\text{д/п}} ; W_{\text{г}} ; t_{\text{п/п}})$

Figure 5 – Function relationship graphs
 $\beta_{\text{ср}} / \beta_{\text{д/п}} = f(\beta_{\text{п/п}} / \beta_{\text{д/п}} ; W_{\text{г}} ; t_{\text{п/п}})$

Сопоставление рассчитанных по предложенным моделям объема и средней влажности контуров с опытными данными показало отклонение до 7,0 %, что позволяет рекомендовать предложенные зависимости для прогнозирования параметров контуров на различных этапах их трансформации в постполивной период.

Выводы

1 В процессе изучения трансформации зон капельного увлажнения почвы в межполивной период были установлены закономерности изменения объемных и влажностных характеристик зоны капельного увлажнения почвы в послеполивной период и получены отражающие этот процесс зависимости. В качестве показателей, оказывающих основное влияние на динамику трансформации контуров влажности почвы, на данном этапе

определены: содержание в почве глинистых частиц W_r , % МСП; продолжительность периода времени после полива $t_{п/п}$, ч; дополивная $\beta_{д/п}$, % МСП, и послеполивная $\beta_{п/п}$, % МСП, влажности почвы во внутриконтурном пространстве.

2 Предложенные модели трансформации объемных и влажностных параметров контуров влажности почвы позволяют прогнозировать качественные и количественные характеристики зон увлажнения почвы и могут быть приняты за основу для дальнейшего развития и адаптации к иным, отличным от исследованных почвенным, агроклиматическим, фитологическим условиям формирования контуров капельного увлажнения почвы и их постполивной трансформации.

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. 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.
3. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. 432 с.
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. Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В. Компьютерное моделирование и параметризация в среде MathCAD контуров увлажнения при капельном орошении // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4(64). С. 367–378. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37.
6. Храбров М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 4. С. 34.
7. Штанько А. С., Шкура В. Н. Геометрия локальных контуров капельного увлажнения почвы, формирующихся в южных черноземах // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 123–140. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1297> (дата обращения: 01.08.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-123-140>.
8. Штанько А. С., Шкура В. Н. Способ графоаналитического построения очертавания контуров капельного увлажнения почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 67–85. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531> (дата обращения: 01.08.2023).
9. Штанько А. С., Шкура В. Н. О трансформации контуров капельного увлажне-

ния почвы в постполивной период // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 3. С. 69–86. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1379> (дата обращения: 22.08.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86>.

References

1. Borodychev V.V., Krivolutskaya N.V., Krivolutsky A.A., Strizhakova E.A., 2017. *Produktivnost' yablonevogo sada intensivnogo tipa na kapel'nom oroshenii* [Productivity of intensive apple orchard on drip irrigation]. *Glavnyy agronom* [Chief Agronomist], no. 3, pp. 8-14. (In Russian).
2. Shchedrin V.N., Balakai 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).
3. Shumakov B.B. (ed.), 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Irrigation: Reference Book]. Moscow, Kolos Publ., 432 p. (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*, no. 36, pp. 157-172, <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>.
5. Rogachev A.F., Melikhova E.V., 2021. *Komp'yuternoe modelirovanie i parametri-zatsiya v srede MathCAD konturov uvlazhneniya pri kapel'nom oroshenii* [Computer modeling and parameterization in the MathCAD environment of moisture contours during drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(64), pp. 367-378, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37. (In Russian).
6. Khrabrov M.Yu., 2015. *Raschet rasprostraneniya vlagi v pochve pri kapel'nom o-roshenii* [Calculation of moisture distribution in soil on drip irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, p. 34. (In Russian).
7. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2022. [Geometry of drip soil moisture local contours formed in southern chernozems]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 123-140, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1297> [accessed 01.08.2023], <https://doi.org/10.31774-2712-9357-2022-12-3-123-140>. (In Russian).
8. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2018. [Method of graphoanalytical design of moisture contour of drip irrigation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 67-85, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531> [accessed 01.08.2023]. (In Russian).
9. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2023. [On transformation of drip soil moisture contour in after-irrigation period]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 3, pp. 69-86, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1379> [accessed 22.08.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86>. (In Russian).

Информация об авторах

А. С. Штанько – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, shtanko.77@mail.ru, AuthorID: 619732, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>;

С. А. Селицкий – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, ssilja@yandex.ru, AuthorID: 432328, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>.

Information about the authors

A. S. Shtanko – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, shtanko.77@mail.ru, AuthorID: 619732, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>;

S. A. Selitskiy – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, ssilja@yandex.ru, AuthorID: 432328, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

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

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 23.08.2023; одобрена после рецензирования 05.09.2023;
принята к публикации 14.09.2023.*

*The article was submitted 23.08.2023; approved after reviewing 05.09.2023; accepted for
publication 14.09.2023.*