ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-28

LOCAL CONTOURS OF DRIP SOIL MOISTURING, FORMED ON SLOPING LANDS

S. M. Vasilyev, V. N. Shkura, A. S. Shtanko

*Federal State Budget Scientific Institution «Russian Research Institute
of Land Reclamation Problems», Novocherkassk, Russia*

Received 18.11.2019

Submitted 14.02.2020

Summary

The article presents the results of a study of the shape and geometric dimensions of local moisture contours that form in the soil during drip irrigation of sloping lands, and a graphical and analytical method based on them for determining the size and construction of the outlines of local moisture contours. Using the proposed method will improve the quality of design solutions for the irrigation network of drip irrigation systems of plants cultivated on sloping landscapes.

Abstract

Introduction. Well-known experimental studies have established the facts of the influence of slopes of the earth's surface of drip-moistened slope lands on the location, shape and size of local moisture contours formed in the soil space, but there is no generally accepted method for predicting them. This circumstance is explained by the absence of an experimental base that is necessary for generalizations, the complexity and multifactorial nature of the contour formation process, and the complexity of setting up field studies. At the same time, the lack of scientific justification for predicting the parameters of local moisture contours reduces the quality of drip irrigation of plants cultivated on slope lands. In this regard, the purpose of the study was to develop a method for determining the size and construction of moisture contours outlines on slope lands. **Object.** The object of the study was local moisture contours formed in the soil space during drip irrigation of slightly sloping lands. The subject of research is the shape and geometric dimensions of slope contours of soil moisture. **Materials and methods.** Experimental studies of humidity contours were conducted on slope areas in the Oktyabrsky district of the Rostov region. The soil cover of land plots presented to the southern heavy-loam small and medium low-humus chernozems, characterized by a content of physical clay level – $58,0 \pm 0,4$ % of mass of dry soil (% of SMEs); the lowest moisture capacity – $27,0 \pm 0,5$ % of SMEs with a density of meter soil layer 1.3 ± 0.02 t/m³. The steepness of the slopes of the experimental sections was 0, 3, 6, 7 and 9 °. The development of a graph-analytical method for determining the size and construction of moisture contours outlines formed on slope lands was carried out by analyzing and generalizing the experimental material. **Results and conclusions.** Analysis of the experimental material allows us to note that the distance of the boundary of the moisture contour in the direction perpendicular to the slope of the earth's surface corresponds to those characteristic of contours, which formed on horizontal flat lands, and their values up and down the slope differ significantly from them. The identified functional relationships were described by empirical dependencies, and the generalization of information on the outlines of slope contours allowed us to propose a calculated scheme of the humidity contour. On the basis of the obtained results was proposed graphical-analytical method of determining the shape of the profiles of the local contours of moisture formed on sloping landscapes. A graphical comparison of the experimental contour of soil moisture with the calculated one showed a qualitative and quantitative similarity of their forms. The calculated depth of the moisture contour bounded by the isopleth $0.7\beta_{HB}$ was 0.72, with an experimental value of 0.75 m. At the same time, the deviation of the calculated value from the experimental depth was 4.2 %. The calculated and experimental values of the average diameter of the humidity contour were 0.78 and 0.83 m, respectively. The deviation between them was 6.4 %. These circumstances indicate the practical applicability of the proposed method for the conditions considered.

Key words: drip irrigation, slope landscapes, moisture contours, contour shape, contour geometry.

Citation. Vasilyev S. M., Shkura V. N., Shtanko A. S. Local contours of drip soil moisturing formed

on sloping lands. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 1(57). 279-289 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-28.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.674.6:631.613

ЛОКАЛЬНЫЕ КОНТУРЫ КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

С. М. Васильев, доктор технических наук, профессор

В. Н. Шкура, кандидат технических наук, профессор

А. С. Штанько, кандидат технических наук

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт
проблем мелиорации», г. Новочеркасск, Россия

Дата поступления в редакцию 18.11.2019

Дата принятия к печати 14.02.2020

Актуальность. Известными экспериментальными исследованиями установлены факты влияния уклонов земной поверхности капельно увлажняемых склоновых угодий на расположение, форму и размеры формирующихся в почвогрунтовой среде локальных контуров влажности, но общепринятая методика их прогнозирования отсутствует. Указанное обстоятельство объясняется отсутствием необходимой для обобщений экспериментальной базы, сложностью и многофакторностью процесса контурообразования, трудоемкостью постановки полевых исследований. При этом имеющий место дефицит научного обоснования для прогнозирования параметров локальных контуров влажности снижает качество капельного орошения культивируемых на склоновых землях растений. В связи с этим целью исследования являлась разработка способа определения размеров и построения очертаний контуров влажности на склоновых землях. **Объект.** Объектом исследования являлись локальные контуры увлажнения, формирующиеся в почвенном пространстве при капельном поливе пологосклонных угодий. Предмет исследования – форма и геометрические размеры склоновых контуров влажности почв. **Материалы и методы.** Экспериментальные исследования контуров влажности проводились на склоновых участках в Октябрьском районе Ростовской области. Почвенный покров земельных участков представлен южными тяжелосуглинистыми мало- и среднемощными слабогумусными черноземами, характеризующимися содержанием физической глины на уровне $58,0 \pm 0,4$ % массы сухой почвы (% МСП); наименьшей влагоемкостью – $27,0 \pm 0,5$ % МСП при плотности сложения метрового почвенного слоя – $1,3 \pm 0,02$ т/м³. Крутизна склонов опытных участков φ_c составляла 0, 3, 6, 7 и 9 °. Разработка графоаналитического способа определения размеров и построения очертаний контуров влажности, формирующихся на склоновых землях, производилась путем анализа и обобщения опытного материала. **Результаты и выводы.** Анализ опытного материала позволяет отметить, что удаленности границы контура влажности в направлении, перпендикулярном уклону земной поверхности, соответствует характерным для «безуклонных» контуров, а их значения вверх и вниз по склону существенно от них отличаются. Выявленные функциональные связи были описаны эмпирическими зависимостями, а обобщение информации по очертаниям склоновых контуров позволило предложить расчетную схему контура влажности. На основании полученных результатов был предложен графоаналитический способ определения очертаний профилей локальных контуров влажности, формирующихся на склоновых ландшафтах. Графическое сопоставление опытного очертания контура влажности почвы с расчетным показало качественное и количественное подобие их форм. Расчетная глубина контура влажности, ограниченного изоплетой $0,7\beta_{\text{НВ}}$, составила 0,72 м при опытном значении 0,75 м. При этом отклонение расчетного значения от опытного по глубине составило 4,2 %. Расчетное и опытное значения среднего диаметра контура влажности составили 0,78 и 0,83 м соответственно. Отклонение между ними составило 6,4 %. Указанные обстоятельства свидетельствуют о практической применимости предложенного способа для рассмотренных условий.

Ключевые слова: капельное орошение, склоновые ландшафты, контуры влажности, форма контуров влажности, геометрия контуров влажности.

Цитирование. Васильев С. М., Шкура В. Н., Штанько А. С. Локальные контуры капельного увлажнения почв, формирующиеся на склоновых землях. *Известия НВ АУК*. 2020. 1(57). 279-289. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-28.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Очевидным достоинством систем капельного орошения является возможность их применения для полива растений, произрастающих на склоновых землях, где применение других технологий проблематично или невозможно. Качественное и эффективное применение капельных оросительных систем на склоновых угодьях сдерживается дефицитом научно-обоснованных рекомендаций по их созданию и использованию. При этом наибольший дефицит информации имеет место в области прогнозирования параметров локальных контуров влажности, формирующихся в почвогрунтовой пространственной области при капельном поливе растений, культивируемых на склоновых земельных угодьях. Исследованиям локальных контуров увлажнения почв уделено должное внимание в работах О. Е. Ясониди, М. Ю. Храброва, И. К. Кулинич и других специалистов. Приведенные в [1, 3-7, 9-12] результаты исследований позволяют прогнозировать параметры контуров влажности для условий безуклонных ландшафтных образований. Наряду с этим, имеется реальная потребность в рекомендациях по определению параметров локальных контуров влажности, формирующихся в условиях склоновых ландшафтов. В связи с вышесказанным целью данного исследования является разработка способа определения формы и геометрических параметров локальных контуров влажности, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе растений, произрастающих на склоновых ландшафтах.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись локальные контуры увлажнения, формирующиеся в почвенном пространстве при капельном поливе пологосклонных угодий.

Рисунок 1 – Локальные контуры капельного увлажнения почв:

а – профиль контура по оси капания при $\varphi_c = 0^\circ$; б – профиль контура по оси

капания при $\varphi_c = 7^\circ$; 1 – капельница; 2 – опытное очертание контура;

3 – аппроксимированное очертание контура

Figure 1 – Local contours of drip soil moistening:

а – contour profile along the axis of dripping at $\varphi_c = 0^\circ$; б – contour profile along the axis

of dripping at $\varphi_c = 7^\circ$; 1 – emitter; 2 – experimental contour outline;
3 – approximated contour outline

Основу материала для разработки способа прогнозирования параметров склоновых контуров влажности составили данные экспериментальных исследований, выполненных на склоновых участках в Октябрьском районе Ростовской области. Почвенный покров земельных участков представлен южными тяжелосуглинистыми мало- и среднemocными слабогумусными черноземами, характеризующимися содержанием физической глины на уровне $58,0 \pm 0,4$ % массы сухой почвы (% МСП); наименьшей влагоемкостью $27,0 \pm 0,5$ % МСП при плотности сложения метрового почвенного слоя $1,3 \pm 0,02$ т/м³. Крутизна склонов опытных участков φ_c составляла 0, 3, 6, 7 и 9° .

Результатом камеральной обработки опытных данных, используемых при анализе и обобщениях, являлись контуры капельного увлажнения почвенного пространства, характерные примеры которых для склонов с крутизной $\varphi_c = 0^\circ$ и $\varphi_c = 7^\circ$ приведены на рисунке 1.

Результаты и обсуждение. Профильные очертания локальных контуров влажности, формирующихся на безуклонных и склоновых ландшафтах, позволяют отметить нижеследующее.

1. Локальные контуры увлажнения почв, формирующиеся в подкапельном пространстве на безуклонных земельных участках, характеризуются относительной симметричностью их форм в плане и по глубине относительно точки и оси капания. Имеющиеся локальные отклонения значений координат, ограничивающих (оконалирующих) «безуклонные» контуры влажности линий (изоплет определенного уровня влажности почвы) в ту или иную сторону от точки или оси капания, не превышают 12 % от средней величины.

2. Капельные контуры влажности, формирующиеся в почвогрунтовом пространстве на склоновом ландшафте, характеризуются наличием выраженной склоновой асимметричности формы – вытянутостью увлажняемой зоны в направлении уклона земной поверхности. При этом имеет место отклонение оси контура влажности от линии капания; превышение удаленности границы контура вниз по склону от оси капания над таковой в направлении вверх по склону; равенство удаленностей оконалирующей зону увлажнения изоплеты от оси в направлениях, перпендикулярных линии уклона поверхности земли.

Рисунок 2 – Расчетная схема профильного очертания контура влажности на склоновом ландшафте: 1 – капельница; 2 – контур капельного увлажнения почвы; 3 – ось контура; 4 – поверхность земли; φ_c – угол склона, $^\circ$; ε_k – угол отклонения оси контура от вертикали, $^\circ$; $h_{\text{кон}}$ – глубина контура, м; $h_1 - h_{11}$ – расстояние от поверхности земли до горизонтальных сечений, разделяющих контур влажности на расчетные слои, м

Figure 2 – The calculation scheme of the moisture contour profile outline on a sloping landscape:

1 – emitter; 2 – drip soil moistening contour; 3 – contour axis; 4 – land surface; φ_c – slope angle, °; ε_k – deviation angle of contour axis from the vertical, °; $h_{\text{кон}}$ – contour depth, m; $h_1 - h_{11}$ – distance from the land surface to horizontal sections dividing the moisture contour into computed layers, m

Обобщение информации по опытным очертаниям склоновых контуров влажности, приведенных на рисунке 1, позволило предположить расчетную схему их профильного очертания (рисунок 2).

В соответствии с рисунком 2 отличительными чертами, характеризующими склоновые контуры влажности, являются: пространственное положение оси контура; послойные (поглубинные) удаленности координат, огибающих капельно увлажняемую зону вверх $r_{\text{к/в}}$ и вниз по склону $r_{\text{к/н}}$, и по радиалам $r_{\text{к/п}}$, направленным поперек склона. Анализ опытного материала позволяет отметить, что удаленности границы контура влажности в направлении, перпендикулярном уклону земной поверхности, соответствует таковым, характерным для «безуклонных» контуров $\bar{r}_k$, а значения $r_{\text{к/в}}$ и $r_{\text{к/н}}$ существенно от них отличаются. Указанное обстоятельство проиллюстрировано приведенными на рисунке 3 опытными данными и аппроксимирующими их зависимостями.

Рисунок 3 – Опытные данные и аппроксимирующие их графики

функциональных связей $r_{\text{к/в}} / \bar{r}_k = f_1(\varphi_c)$, $r_{\text{к/н}} / \bar{r}_k = f_2(\varphi_c)$ и $r_{\text{к/п}} = f_3(\varphi_c)$:

1 – $r_{\text{к/н}} / \bar{r}_k$ по опытным данным, 2 – $r_{\text{к/в}} / \bar{r}_k$ по опытным данным, 3 – график зависимости

$r_{\text{к/н}} / \bar{r}_k = f_2(\varphi_c)$, 4 – график зависимости $r_{\text{к/в}} / \bar{r}_k = f_2(\varphi_c)$, 5 – график зависимости

$$r_{\text{к/п}} = f_3(\varphi_c)$$

Figure 3 – Experimental data and functional relationships graphs

approximating them $r_{\text{к/в}} / \bar{r}_k = f_1(\varphi_c)$, $r_{\text{к/н}} / \bar{r}_k = f_2(\varphi_c)$ and $r_{\text{к/п}} = f_3(\varphi_c)$:

1 – $r_{\text{к/н}} / \bar{r}_k$ according to experimental data, 2 – $r_{\text{к/в}} / \bar{r}_k$ – according to experimental data,

3 – dependency graph $r_{\text{к/н}} / \bar{r}_k = f_2(\varphi_c)$, 4 – dependency graph $r_{\text{к/в}} / \bar{r}_k = f_2(\varphi_c)$,

5 – dependency graph $r_{\text{к/п}} = f_3(\varphi_c)$

Указанные функциональные связи описываются зависимостями:

$$r_{\text{к/в}} / \bar{r}_k = 1 - 0.045 \cdot \varphi_c, \quad (1)$$

$$r_{\kappa/\Pi} / \bar{r}_{\kappa} = 1 + 0,045 \cdot \varphi_c, \quad (2)$$

$$r_{\kappa/\Pi} = \bar{r}_{\kappa}. \quad (3)$$

В расчетной схеме контуров влажности в качестве их оси предлагается использовать линию, соединяющую точку капания на поверхности земли и наиболее заглубленную под поверхность земли точку на ограничивающей контур изоплетной линии. Положение этой линии в пространстве на склоновом профиле контура может быть определено углом ее отклонения от вертикали ε_{κ} , определяемым из соотношения:

$$\varepsilon_{\kappa} = 9,41 \cdot \varphi_c^{0,419}. \quad (4)$$

Установленные зависимости, характеризующие отличие склоновых контуров от безуклонных, позволили предложить графоаналитический способ определения очертаний профилей локальных контуров влажности, формирующихся на склоновых ландшафтах, который базируется на авторской методике их построения, полученной для безуклонных земельных участков [2, 8], заключается в нижеследующем:

1. На первом этапе устанавливаются параметры, характеризующие исходные условия формирования контуров влажности, которыми являются средние по глубине увлажнения значения: содержания физической глины – $\bar{W}_r$, в процентах от массы сухой почвы (% МСП); наименьшей влагоемкости почвы в пределах слоя увлажнения – $\bar{W}_{\text{НВ}}$ в % МСП; плотности сложения увлажняемого слоя почвы – $\bar{\gamma}_{\text{об}}$ в т/м³; величины дополивной влажности почвы – $\bar{\beta}_{\text{д/п}}$ в % МСП или в долях или процентах от $\bar{\beta}_{\text{НВ}}$ – влажности почвы, соответствующей наименьшей влагоемкости; постполивной влажности почвы – $\bar{\beta}_{\text{п/п}}$, измеряемой по аналогии с $\bar{\beta}_{\text{д/п}}$ в % МСП или % от $\bar{\beta}_{\text{НВ}}$; глубины слоя (контура) увлажнения («промачивания») почвы, базирующегося на учете глубины распространения основной части корней корневой системы растений – h_{κ} , м, и угла наклона земной поверхности склона к горизонту – φ_c , °.

2. Для условий формирования контуров капельного увлажнения рассчитывается величина заглубленности изоплеты $(h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}}$, м, с уровнем влажности почвы, соответствующим $\beta_{\text{из/п}} = 0,7 \cdot \beta_{\text{НВ}}$:

$$(h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}} = \frac{(h_{\text{из/п}})_{\beta_{\text{д/п}}}}{0,5 \cdot \left[1,0 - 1,1^{0,1 \cdot \bar{W}_r} \cdot \left(\frac{\bar{\beta}_{\text{д/п}}}{\beta_{0,7\beta_{\text{НВ}}}} - 1,0 \right) + 1,0 - 1,2^{0,1 \cdot \bar{W}_{\text{НВ}}} \cdot \left(\frac{\bar{\beta}_{\text{д/п}}}{\beta_{0,7\beta_{\text{НВ}}}} - 1,0 \right) \right]}. \quad (5)$$

3. На следующем этапе рассчитывается максимальный радиус изоплеты $(r_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}}$, м с уровнем влажности почвы $\beta_{\text{из/п}} = 0,7 \cdot \beta_{\text{НВ}}$:

$$(r_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}} = 0,25 \cdot \left[(0,51 + 0,009 \cdot \bar{W}_r) + (0,073 + 0,038 \cdot \bar{W}_{\text{НВ}}) \right] \cdot (h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}}. \quad (6)$$

4. Для выделенных на схеме контура влажности почвы сечений с заданными значениями их заглубленности h_i (рисунок 2а) рассчитываются значения средних радиусов $(\bar{r}_{\kappa})_{h_i}$, м,:

$$(\bar{r}_k)_{h_i} = (\bar{r}_{из/п})_{0,7\beta_{HB}} \cdot [k_0 + k_1 \cdot (h_i / h_k) - k_2 \cdot (h_i / h_k)^2 + k_3 \cdot (h_i / h_k)^3 - k_4 \cdot (h_i / h_k)^4 - k_5 \cdot (h_i / h_k)^5 - k_6 \cdot (h_i / h_k)^6 - k_7 \cdot (h_i / h_k)^7 - k_8 \cdot (h_i / h_k)^8 - k_9 \cdot (h_i / h_k)^9], \quad (7)$$

где k_0 – свободный член полинома, определяемый по соотношению:

$$k_0 = 0,5 \cdot (2 - 0,005 \cdot W_{г/ч} \cdot \bar{\gamma}_{об} - 0,001 \cdot \bar{W}_{HB}^{1,84} - 0,002 \cdot \bar{W}_{HB}^{0,45}); \quad (8)$$

k_1 – коэффициент при первом члене полинома – (h_i / h_k) :

$$k_1 = 1,03 / k_0^{1,2}; \quad (9)$$

k_2 – коэффициент при втором члене полинома – $(h_i / h_k)^2$:

$$k_2 = k_0 + k_1; \quad (10)$$

$k_3 - k_9$ – коэффициенты при членах полинома (h_i / h_k) от 3 до 9 степени соответственно, определяемые по соотношению вида:

$$k_i = (k_{рег})_i \cdot k_0^{0,01}, \quad (11)$$

где i – номер коэффициента при переменных членах полинома (от 3 до 9); $(k_{рег})_i$ – коэффициенты регрессии, значения которых (для соответствующих значений коэффициентов $k_3 - k_9$) принимаются по таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов регрессии $k_3 - k_9$ полинома (7)

Table 1 – The values of the polinome regression coefficient $k_3 - k_9$ (7)

Показатель / Indicator	Значение показателя / Indicator value						
Коэффициенты полинома / Polinome coefficient, k_i	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9
Коэффициенты регрессии / Regression coefficient, $(k_{рег})_i$	0,255	0,005	0,014	0,023	0,043	0,068	0,102

5. По зависимости (4) находится угол отклонения оси контура влажности от вертикали, в соответствии с которым проводится ось контура влажности почвы, формирующегося на склоновых участках.

6. Далее определяются значения удаленности границы контура влажности вверх и вниз по склону от оси контура по зависимостям:

$$(r_{к/в})_{h_i} = (1,0 - 0,45 \cdot \varphi_c) \cdot (\bar{r}_k)_{h_i}, \quad (12)$$

$$(r_{к/н})_{h_i} = (1,0 + 0,45 \cdot \varphi_c) \cdot (\bar{r}_k)_{h_i}. \quad (13)$$

7. По принятым значениям заглубленности сечений контура h_i и соответствующим им значениям $(r_{к/в})_{h_i}$ и $(r_{к/н})_{h_i}$ в соответствии с рисунком 2 вычерчивается граница внешнего очертания контура влажности.

Предложенный способ доведен до уровня программы для ЭВМ, которая позволяет рассчитывать размеры и определять расположение контуров капельного увлажнения на склонах. Апробация предложенной методики проведена по опытным данным и условиям формирования контура влажности почвы, проиллюстрированно-

го на рисунке 1б.

Значения исходных и расчетных параметров контуров составили.

1. Условия проведения опыта и опытные значения параметров контуров: $\bar{W}_r = 57,6 \%$ МСП; $\bar{W}_{HB} = 27,0 \%$ МСП; $\bar{\gamma}_{об} = 1,30 \text{ т/м}^3$; $\bar{\beta}_{д/п} = 17,6 \%$ МСП ($65,2 \%$ $\bar{\beta}_{HB}$); $(h_k)_{0,7\beta_{HB}} = 0,75 \text{ м}$; $(r_k)_{0,7\beta_{HB}} = 0,83 \text{ м}$.

2. Заглубленность изоплеты с уровнем влажности почвы, соответствующим $\beta_{из/п} = 0,7 \cdot \beta_{HB}$, составила $(h_{из/п})_{0,7\beta_{HB}} = 0,72 \text{ м}$.

3. Средний радиус изоплеты с уровнем влажности почвы $\beta_{из/п} = 0,7 \cdot \bar{\beta}_{HB}$ составил $(r_{из/п})_{0,7\beta_{HB}} = 0,39 \text{ м}$.

4. Результаты расчета средних радиусов для выделенных на схеме контура влажности почвы сечений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения средних радиусов для каждого сечения контура с заданным значением их заглубленности h_i

Table 2 – Values of average radii for each contour section with predetermined value of their buriedness h_i

Показатель / Indicator	Значение показателя / Indicator value										
Номер сечения / Cross-section number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h_i, \text{ м}$	0,00	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,51	0,58	0,65	0,72
$(r_k)_{h_i}, \text{ м}$	0,23	0,29	0,34	0,37	0,38	0,37	0,34	0,30	0,23	0,14	0,00

5. Угол отклонения оси контура влажности от вертикали $\varepsilon_k = 21,3^\circ$.

6. Результаты определения значений удаленности от оси контура границы контура влажности почвы вверх $(r_{к/в})_{h_i}$ и вниз $(r_{к/н})_{h_i}$ по склону для каждого его сечения с заглубленностью h_i приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения удаленности от оси контура границы контура влажности вверх $(r_{к/в})_{h_i}$ и вниз $(r_{к/н})_{h_i}$ по склону

Table 3 – Distance values from the contour axis of moisture contour boundary uphill $(r_{к/в})_{h_i}$ and downhill $(r_{к/н})_{h_i}$

Показатель / Indicator	Значение показателя / Indicator value										
Номер сечения / Cross-section number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h_i, \text{ м}$	0,00	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,51	0,58	0,65	0,72
$(r_{к/в})_{h_i}, \text{ м}$	0,16	0,20	0,23	0,25	0,26	0,25	0,23	0,20	0,16	0,09	0,00
$(r_{к/н})_{h_i}, \text{ м}$	0,30	0,38	0,44	0,48	0,49	0,48	0,45	0,39	0,31	0,18	0,00

Графическое сопоставление очертания прогнозного профиля с опытным проиллюстрировано на рисунке 4.

Графическое сопоставление опытного очертания контура влажности почвы с расчетным по предложенному способу показало качественное и количественное подобие их форм. Расчетная глубина контура влажности, ограниченного изоплетой $0,7\beta_{HB}$, составила 0,72 м при опытном значении 0,75 м. При этом отклонение расчетного значе-

ния от опытного по глубине контура влажности составило 4,2 %. Расчетное и опытное значения среднего диаметра контура влажности составили 0,78 и 0,83 м соответственно. Отклонение между ними составило 6,4 %. Указанные обстоятельства свидетельствуют о практической применимости предложенного способа для рассмотренных условий. Незначительные локальные отклонения опытного очертания от расчетного объясняются не однородностью почвенного пространства.

Рисунок 4 – Графические образы очертаний опытного и прогнозного профилей контуров влажности, формирующихся на склоне крутизной 7°:

1 – капельница; 2 – опытное очертание контура; 3 – расчетное очертание контура; размеры в м

Figure 4 – Graphic images of the outlines of experimental and predicted moisture contour profiles, formed on a slope gradient 7°:

1 – emitter; 2 – experimental contour outline; 3 – calculated contour outline; dimensions in m

Выводы. 1. Расположение, формы и геометрические параметры локальных контуров капельного увлажнения почвы, формирующихся на склоновых землях и определяющих качество капельного полива растений, до настоящего времени изучены недостаточно, несмотря на все возрастающую потребность в рекомендациях по их прогнозированию при проектировании и эксплуатации капельных систем орошения садов и виноградников, культивируемых на склоновых ландшафтах.

2. Выполненными исследованиями установлены качественные и количественные особенности локальных контуров влажности, образующихся при капельном поливе склоновых ландшафтных образований, и их отличие от контуров, формирующихся на безуклонных ландшафтах. Выявленные функциональные связи были описаны эмпирическими зависимостями, а обобщение информации по очертаниям склоновых контуров позволило предложить расчетную схему контура влажности.

3. В результате исследований предложен способ расчета и построения локальных контуров капельного увлажнения почв, позволяющий с приемлемой для практического использования точностью прогнозировать их расположение, форму и геометрические размеры. Использование предложенного способа позволит повысить качество проектных решений поливной сети систем капельного орошения растений, культивируемых на склоновых ландшафтах.

Библиографический список

1. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3 (27). С. 183-188.
2. Васильев С. М., Штанько А. С. Геометрические и влажностные параметры контуров капельного увлажнения суглинистых черноземов // Мелиорация и водное хозяйство. 2019. № 1. С. 16-19.
3. Влияние водных режимов капельного орошения на динамику влажности почвы и эвапотранспирацию риса / Н. Н. Дубенок, И. П. Кружилин, Н. М. Абду, М. А. Ганиев, К. А. Родин // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 9-15.
4. Дубенок Н. Н., Гемонов А. В. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях нечерноземной зоны // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 4. С. 9-13.
5. Прокопец Р. В., Сергеева Е. А. Изменение параметров контура увлажнения при капельном орошении в зависимости от интенсивности водоподачи // Аграрный научный журнал. 2015. № 4. С. 62-66.
6. Пронько Н. А., Корсак В. В., Ломовцева А. Н. Контур увлажнения при капельном орошении на почвах Заволжья // Научная жизнь. 2015. № 1. С. 74-81.
7. Фоменко Т. Г., Попова В. П. Формирование контуров увлажнения почвы при локальных малообъемных способах орошения плодовых насаждений // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 4. С. 22-27.
8. Штанько А. С., Шкура В. Н. Способ графоаналитического построения очертания контуров капельного увлажнения почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 67-85. Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531>.
9. Kisekka I., Oker T., Nguyen G. Revisiting precision mobile drip irrigation under limited water // Irrigation Science. 2017. no. 35(6), p. 483-500. (In English).
10. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P. Methodology of calculation and justification of wetting parameters in the open field and greenhouse // Environmental Engineering. 2012. no. 4. 29 p.
11. Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production / J. Reyes-Cabrera, L. Zotarelli, M. D. Dukes, D. L. Rowland, S. A. Sargent // Agricultural Water Management. 2016. no. 169. P. 183-192.
12. The efficiency of drip irrigation unpacked / Saskia van der Kooij, Margreet Zwarteveen, Harm Boesveld, Marcel Kuper // Agricultural Water Management. 2013. V.123. P. 103-110.

Conclusions. 1. The location, shape, and geometric parameters of local contours of drip soil moisture that form on slope lands and determine the quality of drip irrigation of plants have not been studied enough to date, despite the increasing need for recommendations for their prediction when designing and operating drip irrigation systems for gardens and vineyards cultivated on slope landscapes.

2. The performed studies established qualitative and quantitative features of local moisture contours formed during drip irrigation of slope landscape formations and their difference from contours formed which formed on horizontal flat lands. The identified functional relationships were described by empirical dependencies, and the generalization of information on the outlines of slope contours allowed us to propose a calculated scheme of the humidity contour.

3. As a result of the research, a method for calculating and constructing horizontal contours of drip soil moisture is proposed, which allows predicting their location, shape, and geometric dimensions with acceptable accuracy for practical use. Using the proposed method will improve the quality of design solutions for the irrigation network of drip irrigation sys-

tems for plants cultivated on slope landscapes.

References

1. Ahmedov A. D., Galiullina E. Yu. Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2012. № 3 (27). P. 183-188.
2. Vasil'ev S. M., Shtan'ko A. S. Geometricheskie i vlazhnostnye parametry konturov kapel'nogo uvlazhneniya suglinistyh chernozemov // Melioraciya i vodnoe ho-zyajstvo. 2019. № 1. P. 16-19.
3. Vliyanie vodnyh rezhimov kapel'nogo orosheniya na dinamiku vlazhnosti pochvy i jvapo-transpiraciyu risa / N. N. Dubenok, I. P. Kruzhilin, N. M. Abdu, M. A. Ganiev, K. A. Rodin // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2015. № 6. P. 9-15.
4. Dubenok N. N., Gemonov A. V. Formirovanie kornevoj sistemy sazhencev slivy pri kapel'nom oroshenii i raspredelenie vlagi po pochvennomu profilu v usloviyah nechernozemnoj zony // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2018. № 4. P. 9-13.
5. Prokopec R. V., Sergeeva E. A. Izmenenie parametrov kontura uvlazhneniya pri kapel'nom oroshenii v zavisimosti ot intensivnosti vodopodachi // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2015. № 4. P. 62-66.
6. Pron'ko N. A., Korsak V. V., Lomovceva A. N. Kontur uvlazhneniya pri kapel'nom oroshenii na pochvah Zavolzh'ya // Nauchnaya zhizn'. 2015. № 1. P. 74-81.
7. Fomenko T. G., Popova V. P. Formirovanie konturov uvlazhneniya pochvy pri lokal'nyh maloob'emnyh sposobah orosheniya plodovyh nasazhdenij // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2016. № 4. P. 22-27.
8. Shtan'ko A. S., Shkura V. N. Sposob grafoanaliticheskogo postroeniya ochertaniya konturov kapel'nogo uvlazhneniya pochv // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii [Elektronnyj resurs]. 2018. № 1(29). P. 67-85. Rezhim dostupa: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531>.
9. Kisekka I., Oker T., Nguyen G. Revisiting precision mobile drip irrigation under limited water // Irrigation Science. 2017. no. 35(6), p. 483-500. (In English).
10. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P. Methodology of calculation and justification of wetting parameters in the open field and greenhouse // Environmental Engineering. 2012. no. 4. 29 p.
11. Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production / J. Reyes-Cabrera, L. Zotarelli, M. D. Dukes, D. L. Rowland, S. A. Sargent // Agricultural Water Management. 2016. no. 169. P. 183-192.
12. The efficiency of drip irrigation unpacked / Saskia van der Kooij, Margreet Zwarteveen, Harm Boesveld, Marcel Kuper // Agricultural Water Management. 2013. V.123. P. 103-110.

Authors Information

Vasilyev Sergey Mikhailovich, Temporarily in Charge Director FSBSE «Russian scientific research institute of land improvement problems» (Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421), Doctor of Technical Sciences, Professor, tel. (8-8635) 26-65-00, e-mail: rosniipm@yandex.ru

Shkura Victor Nikolaevich, Leading Research Scientist FSBSE «Russian scientific research institute of land improvement problems» (Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421), Candidate of Technical Sciences, Professor, tel. (8-8635) 26-65-00, e-mail: rosniipm@yandex.ru

Shtanko Andrey Sergeevich, Leading Research Scientist FSBSE «Russian scientific research institute of land improvement problems» (Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421), Candidate of Technical Sciences, tel. 8-928-90-98-900, e-mail: shtanko.77@mail.ru

Информация об авторах

Васильев Сергей Михайлович, временно исполняющий обязанности директора федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (346421, Российская Федерация, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), доктор технических наук, профессор, тел. (8-8635) 26-65-00, e-mail: rosniipm@yandex.ru

Шкура Виктор Николаевич, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюд-

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 1 (57), 2020

жетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (346421, Российская Федерация, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), кандидат технических наук, профессор, тел. (8-8635) 26-65-00, e-mail: rosniipm@yandex.ru

Штанько Андрей Сергеевич, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (346421, Российская Федерация, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), кандидат технических наук, тел. 8-928-90-98-900, e-mail: shtanko.77@mail.ru