10.28983/asj.y2020i3pp70-75 УДК 631.674.6

# ФОРМА И ПАРАМЕТРЫ КОНТУРОВ КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

**ВАСИЛЬЕВ Сергей Михайлович,** *Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации*

**ШКУРА Виктор Николаевич,** *Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации*

**ШТАНЬКО Андрей Сергеевич,** *Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации*

***Исследования локальных контуров влажности проведены на ландшафтных образованиях с уклонами земной поверхности 0, 3, 5, 6, 7 и 9°, почвенный покров которых представлен среднемощными южными черноземами. В результате анализа установлены факты формирования на склоновых землях локальных асимметричных контуров влажности с эксцессом граничной поверхности в направлении склона и вдольуклоновым смещением оси контура. В процессе обработки опытного материала установлены экспериментальные зависимости, позволяющие оценить влияние крутизны склонов на геометрические параметры контуров. Обобщение опытного материала и известных рекомендаций по определению параметров локальных контуров влажности позволило разработать методику прогнозирования очертания контуров капельного увлажнения почв, формирующихся на склоновых землях.***

***Введение.*** Интенсивное использование склоновых земель под садовые насаждения, возделываемые в аридной природно-климатической зоне при капельном орошении, актуализирует проблему научного обоснования создания на таких угодьях капельных оросительных систем. В сложившейся практике проектирования систем капельного орошения многолетних древесных культур, произрастающих на склонах, преимущественно используются рекомендации, разработанные для условий безуклонных и слабоуклонных земельных участков. При устройстве поливных сетей влияние крутизны склонов на расположение и параметры зон увлажнения, формирующихся в процессе капельного полива, не учитывается в связи с отсутствием соответствующих рекомендаций. Отметим, что рядом исследователей способа и технологии капельного орошения (О. Е. Ясониди [9], И.К. Кулинич [3], М.Ю. Храбровым [5] и др.) установлены факты существенного отличия форм и размеров локальных контуров капельного увлажнения почв, формирующихся на склонах, от зон увлажнения, образующихся на равнинных участках. Известные примеры характерных форм контуров капельного увлажнения склоновых земель приведены на рис. 1–3.

В соответствии со схемами, приведенными на рис. 1–3, очертания локальных контуров капельного увлажнения почв, формирующихся на склонах, в отличие от контуров влажности, образующихся на безуклонных участках, характеризуются асимметричностью. Для форм контуров на склонах характерно отклонение их оси от вертикали капания, увеличивающееся по его глубине. При этом большей крутизне склонов соответствует больший уклон оси контура в направлении уклона земной поверхности. Судя по рис. 1–3, удаленность зоны увлажнения подкапельного почвенного пространства от оси капания в различные стороны локального контура влажности различна. При этом вверх по склону граница контура удалена от оси капания незначительно, а наибольшее распространение влаги наблюдается в направлении склона. Указанные качественные отличия в форме локальных контуров не оценены количественно, тогда как количественные значения указанных отклонений в границах увлажняемых зон являются необходимыми для проектирования сетей капельного орошения растений. Определение координат граничных линий локальных контуров влажности позволит обоснованно назначить количество и установить месторасположение капельных микроводовыпусков в пределах зоны питания растений и обеспечить их корневые системы необходимым объемом влаги.

Цель исследования – установление особенностей геометрии локальных контуров увлажнения почв, формирующихся на склоновых землях при капельном поливе.

***Методика исследований.*** Экспериментальную основу выполненного исследования

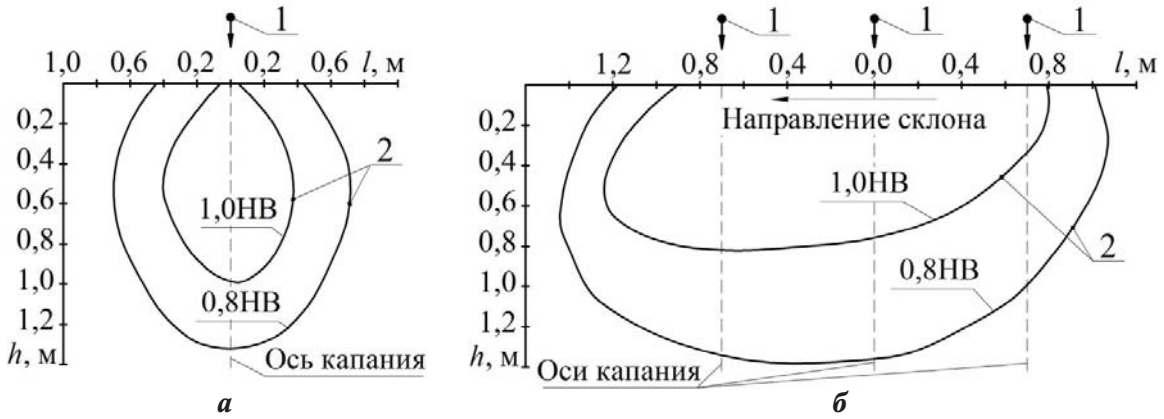


***Рис. 1. Поперекрядовый (а) и вдольрядовый (б) профили контуров влажности почвы на склоновом участке по О.Е. Ясониди [9]: 1 – капельница, 2 – линии влажности почвы***

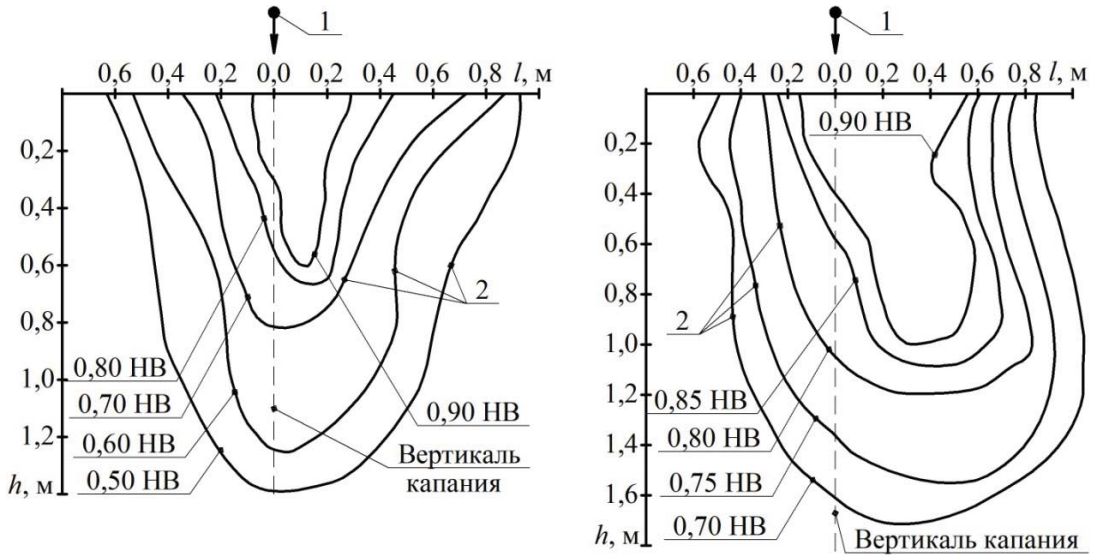


***Рис. 2. Вдольуклоновые сечения контуров капельного увлажнения серых лесных карбонатных суглинистых выщелоченных почв, формирующихся на склонах по И.К. Кулинич [3]; 1 – капельница; 2 – изоплеты с различным уровнем влажности***

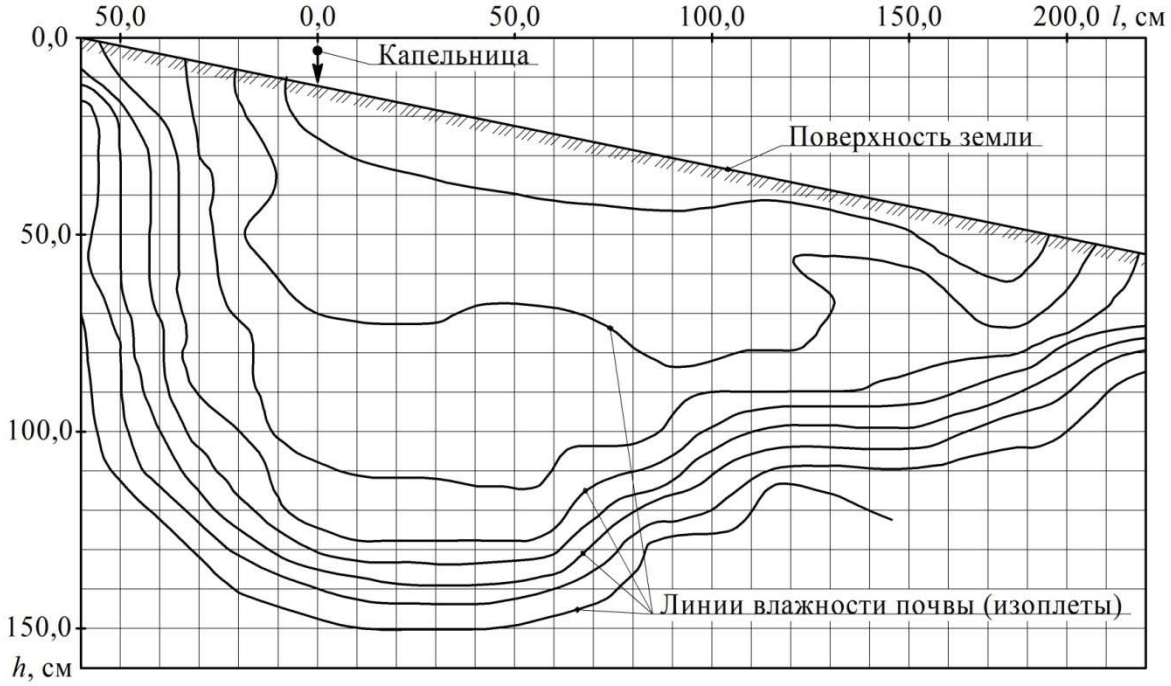


***Рис. 3. Вдольсклоновый профиль контура влажности, формирующийся на склоновом ландшафте по М.Ю. Храброву [5]***

составили опытные данные по измерению контуров капельного увлажнения почв, выполненные на разноуклонных площадках с уклонами до 9° на территории земель бывшей Персиановской опытно-мелиоративной станции Новочеркасского инженерно-мелиоративного института в Октябрьском районе Ростовской области. Почвы опытных площадок представлены тяжелосуглинистыми среднемощными слабогумусными южными черноземами, которые в пределах метрового почвенного слоя характеризуются нижеследующими осредненными по всем площадкам показателями: содержанием физической глины $(\overline{W}_{г})_{1,0}$ = 57,96 ± 0,2 % от массы сухой почвы (% МСП); плотностью сложения $(\overline{\gamma}_{об})_{1,0}$ = =1,31 ± 0,02 т/м³; наименьшей влагоемкостью $(\overline{W}_{нв})_{1,0}$ = 27,23 ± 0,45 % МСП; содержанием гумуса $(\overline{q}_{гум})_{1,0}$ = 2,04 ± 0,25 %.

Исследования контуров капельного увлажнения почвы осуществлялись на безуклонных и склоновых участках с крутизной склона (углом наклона земной поверхности к горизонту) $\alpha_c$, составляющей 3–9°.

Капельная подача поливной воды производилась микроводовыпусками производительностью $q_{кап}$ = 1,4–1,6 л/ч. Поливная норма для условий земельного участка определялась по авторской методике [8]. При этом рассматривались нижеследующие исходные данные: глубина увлажняемого слоя почвы составляла $h_{увл}$ = 0,70–0,80 м при дополивной влажности почвы $\beta_{д/п}$= 0,62–0,68 % МСП и доведении величины влажности после полива до $\beta_{п/п}$ = 0,85 $\beta_{НВ}$, % МСП, где $\beta_{НВ}$ – влажность почвы, соответствующая ее наименьшей влагоемкости $W_{НВ}$ в пределах увлажняемого слоя. Отбор проб почвы и определение почвенных характеристик осуществляли по общепринятым рекомендациям, а геометрические и влажностные параметры контуров капельного увлажнения (контуров влажности) почвы определяли по методикам, приведенным в [6, 9].

В результате камеральной обработки опытного материала получено шесть очертаний контуров капельного увлажнения почвы, характерные примеры профилей которых приведены на рис. 4.

При обработке опытных данных было учтено, что к настоящему времени имеется ряд предложений по определению параметров контуров влажности [1, 4, 10] и разработан графоаналитический метод прогнозирования геометрических и влажностных параметров контуров увлажнения почвогрунтового почвенного пространства, формирующихся при капельном поливе на малоуклонных и безуклонных участках полива [2, 8]. Использование предложенного графоаналитического способа позволяет прогнозировать очертания локальных контуров капельного увлажнения почв для широкого ряда почвенных, фитопочвенных и технологических условий проведения капельного полива растений.

В связи с вышеуказанным при обобщении известной информации и полученных опытных данных была выдвинута рабочая гипотеза о возможности адаптации авторской методики (способа) определения параметров капельных контуров влажности и построения их очертаний, разработанная для безуклонных ландшафтных образований, к условиям их формирования на склоновых землях. Для реализации такого подхода к разработке методики расчета были приняты нижеследующие допущения:

о равенстве объемов, глубин, площадей и диаметров контуров влажности, формирующихся при капельном поливе в увлажняемом почвенном пространстве на безуклонных и склоновых землях;

о возможности внесения в известные зависимости соответствующих экспериментально устанавливаемых корректив при определении отличий в формах, положении и размерах капельных контуров влажности при различных значениях уклонов поверхности земли.

***Результаты исследований.*** В соответствии с принятой рабочей гипотезой и опытными данными была разработана приведенная на рис. 5 расчетная схема контура капельного увлажнения почвы, характерного для склоновых условий его формирования.

В соответствии со схемой необходимо установить положение оси контура (угол $\varphi_{о/к}$) и получить зависимости для определения удаленности границ контура от его оси вверх $r_в$ и вниз $r_н$ по склону. Полученные зависимости позволили адаптировать приведенную в [2, 8] методику к условиям склоновых земель. Алгоритм прогнозирования геометрических параметров контуров влажности почвы, образующихся на пологосклонных земельных участках при капельном поливе, проиллюстрирован рис. 6.

В приведенной на рис. 6 блок-схеме приняты обозначения:

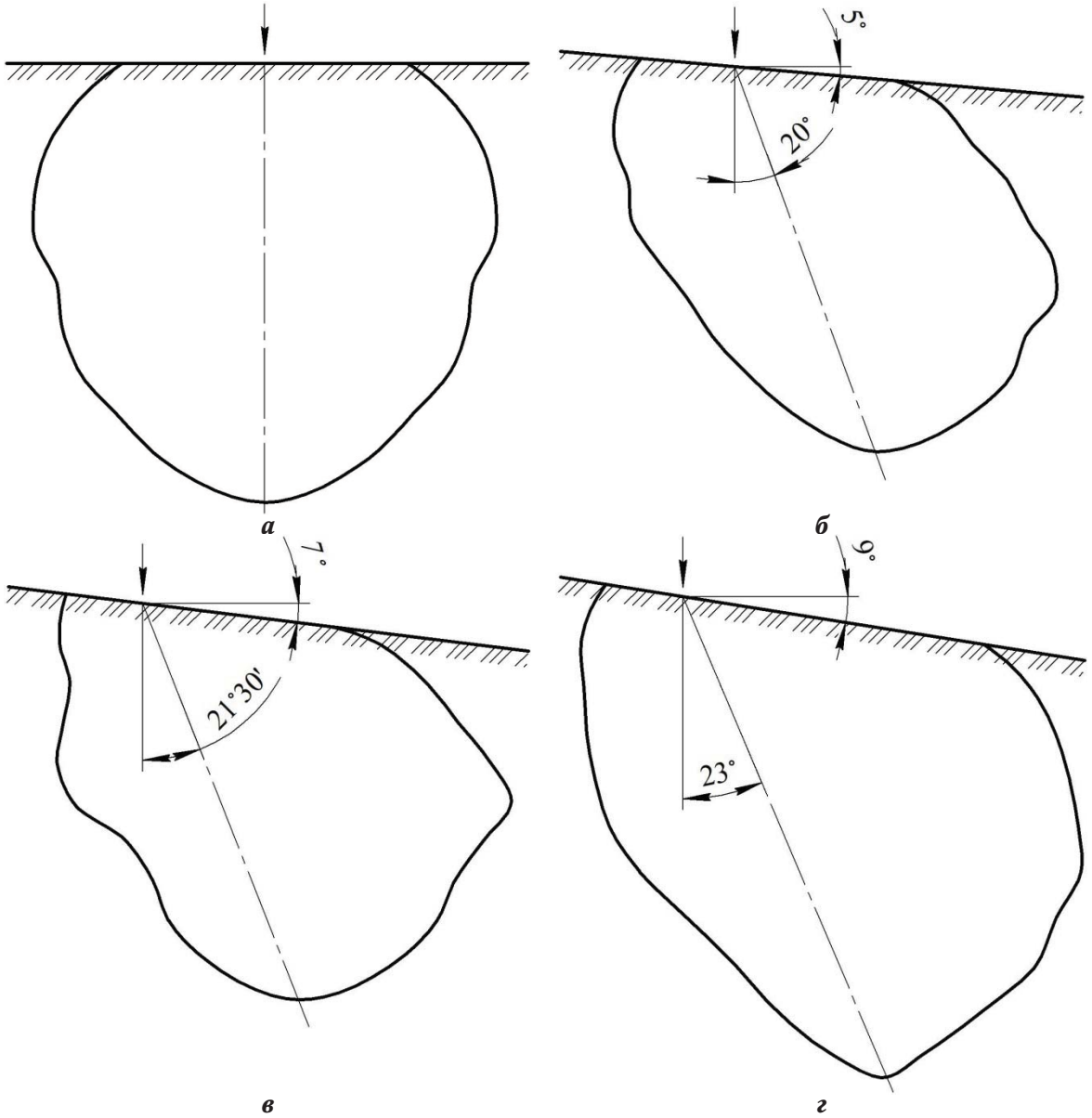


***Рис. 4. Вертикальные профили контуров влажности: а – при $\alpha_n$= 0,0°; б – при $\alpha_n$ = 5,0°; в – при $\alpha_n$ = 7,0°; г – при $\alpha_n$ = 9,0°***

$(h_{из/п})_{\beta_{д/п}}$ – заглубленность ограничивающей локальный контур изоплеты с уровнем влажности, соответствующим дополивному, принимается равной требуемой глубине увлажнения $h_{увл} = (h_{из/п})_{\beta_{д/п}}$, м;

$(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ – заглубленность локального контура влажности почвы, ограниченного изоплетой с влажностью, соответствующей 0,7 $\beta_{НВ}$, м;

$(r_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ – радиус локального контура капельного увлажнения почвы, ограниченного изоплетой с влажностью, равной 0,7 $\beta_{НВ}$, м;

$k_0 - k_9$ – экспериментально установленные параметры полинома;

$h_i$ – заглубленность рассматриваемого сечения контура, принимается в соответствии с расчетной схемой, приведенной на рис. 5, м;

$(\bar{r}_к)_{h_i}$ – средний радиус локального контура капельного увлажнения почвы в сечении, заглубленном на величину $h_i$, м;

$(r_{к/в})_{h_i}$ и $(r_{к/в})_{h_i}$ – соответственно расстояния от оси контура до его границ в верховой и низовой частях в сечении, заглубленном на $h_i$, м.

Предложенная методика доведена до уровня программы для ЭВМ, результаты апробации работоспособности которой проиллюстрированы примером сопоставления опытного и расчетного очертаний контуров капельного увлажнения почвы для нижеследующих исходных данных: $(\bar{W}_г)_{1,0} = 57,9$ % МСП; $(\bar{\gamma}_{об})_{1,0} = 1,30$ т/м³; $(\bar{W}_{НВ})_{1,0} = 27,1$ % МСП; $\beta_{д/п}$ = = 18,0 % МСП (66,4 % от $(\bar{W}_{НВ})_{1,0}$); $\beta_{п/п}$ = = 23,8 % МСП (87,8 % от $\beta_{НВ}$). Глубина факти-

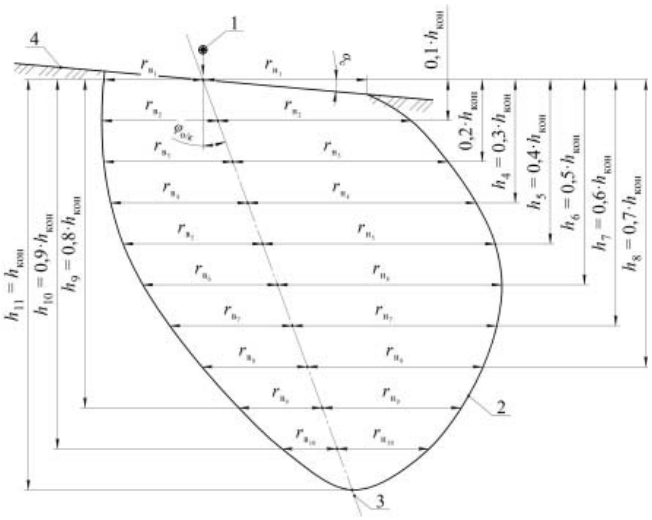


***Рис. 5. Расчетная схема контура влажности, формирующегося на склоновых землях при капельном поливе: 1 – капельница; 2 – контур капельного увлажнения почвы; 3 – ось контура; 4 – поверхность земли;***

$\alpha_с$ ***– угол склона, °;***

$\varphi_{о/к}$ ***– угол отклонения оси контура от вертикали, °;***

$h_{кон}$ ***– глубина контура, м;*** $r_в$ ***и*** $r_н$ ***– расстояния от оси до границ в верховой и низовой частях контура, м;***

$h_1 - h_1$ ***– расстояния от поверхности земли до горизонтальных сечений, разделяющих контур влажности на расчетные слои, м***

1. Устанавливаются исходные условия формирования контуров влажности: $\overline{W}_г$, $\overline{W}_{НВ}$, $\gamma_{об}$, $h_{увл}$, $\overline{\beta}_{д/п}$, $\overline{\beta}_{п/п}$, $\alpha_с$

2. Рассчитывается величина заглубленности изоплеты с уровнем влажности почвы $\beta_{из/п} = 0{,}7 \cdot \beta_{НВ}$:

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

3. Находится угол отклонения оси контура влажности от вертикали: $\varphi_{о/к} = 9{,}406 \cdot \alpha_с^{0,419}$

4. Рассчитывается максимальный радиус изоплеты с уровнем влажности почвы $\beta_{из/п} = 0{,}7 \cdot \beta_{НВ}$:

$$(r_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}} = 0{,}25 \cdot \left[(0{,}51 + 0{,}009 \cdot \overline{W}_г) + (0{,}073 + 0{,}038 \cdot \overline{W}_{НВ})\right] \cdot (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$$

5. Для выделенных на схеме контура сечений с заданными значениями $h_i$ рассчитываются значения средних радиусов:

$$(\overline{r}_к)_{h_i} = (\overline{r}_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}} \cdot \left[k_0 + k_1 \cdot (h_i/h_к) - k_2 \cdot (h_i/h_к)^2 + k_3 \cdot (h_i/h_к)^3 - k_4 \cdot (h_i/h_к)^4 - \right.$$
$$\left. - k_5 \cdot (h_i/h_к)^5 - k_6 \cdot (h_i/h_к)^6 - k_7 \cdot (h_i/h_к)^7 - k_8 \cdot (h_i/h_к)^8 - k_9 \cdot (h_i/h_к)^9\right]$$

6. Определяются значения удаленности границы контура влажнсти вверх и вниз по склону от оси контура

$$(r_{к/п})_{h_i} = (1{,}0 - 0{,}45 \cdot \alpha_с) \cdot (\overline{r}_к)_{h_i}; \quad (r_{к/п})_{h_i} = (1{,}0 + 0{,}45 \cdot \alpha_с) \cdot (\overline{r}_к)_{h_i}$$

7. По принятым значениям заглубленности сечений контура $h_i$ и соответсвующим им значениям $(r_{к/п})_{h_i}$ и $(r_{к/п})_{h_i}$ вычерчивается граница внешнего очертания контура влажности

***Рис. 6. Алгоритм расчета геометрических параметров контуров влажности почвы, образующихся на склоновых ландшафтах при капельном поливе***

ческого контура при $\alpha_с = 5°$ – $h_к = 0{,}70$ м, при $\alpha_с = 9°$ – $h_к = 0{,}87$ м. Результаты расчета очертаний локальных контуров влажности в сопоставлении с аппроксимированными опытными контурами капельного увлажнения почвы приведены на рис. 7.

Судя по приведенным на рис. 7 данным, опытные и расчетные очертания контуров подобны, а количественные значения отклонений координат оконтуривающей изоплеты в среднем не превышают ± 12 %.

***Заключение.*** Контуры капельного увлажнения почв на склоновых ландшафтах характеризуются смещением их осей от вертикали капания в направлении склона, величина которого зависит от величины уклона земной поверхности. Форма контура влажности характеризуется асимметричностью с эксцессом (вытянутостью) в направлении уклона.

Установленные особенности контуров влажности на склонах и полученные экспериментальные зависимости учтены при разработке методики определения их параметров и построения их внешних очертаний.

Предложенная методика реализована на уровне программы для ЭВМ, а ее апробация путем сравнения очертаний прогнозируемых контуров, параметры которых рассчитаны по предлагаемой методике, и фактических, зафиксированных опытным путем, показывает приемлемые для практического использования отклонения (≤ 12 %) в их параметрах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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., Шкура В.Н., Штанько А.С.* Очертание локальных зон увлажнения подкапельного почвенного пространства // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 3. – С. 65–71.

3. *Кулинич И.К.* Капельное орошение виноградников на горных склонах в условиях Краснодарского края: автореф. дис. … канд. с.-х. наук / Кулинич Иван Константинович. – Волгоград: ВСХИ, 1982. – 22 с.

4. *Пронько Н.А., Корсак В.В., Ломовцева А.Н.* Контур увлажнения при капельном орошении на почвах Заволжья // Научная жизнь. – 2015. – № 1. – С. 74–81.

5. *Храбров М.Ю.* Ресурсосберегающие технологии и технические средства орошения: дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Храбров Миха-

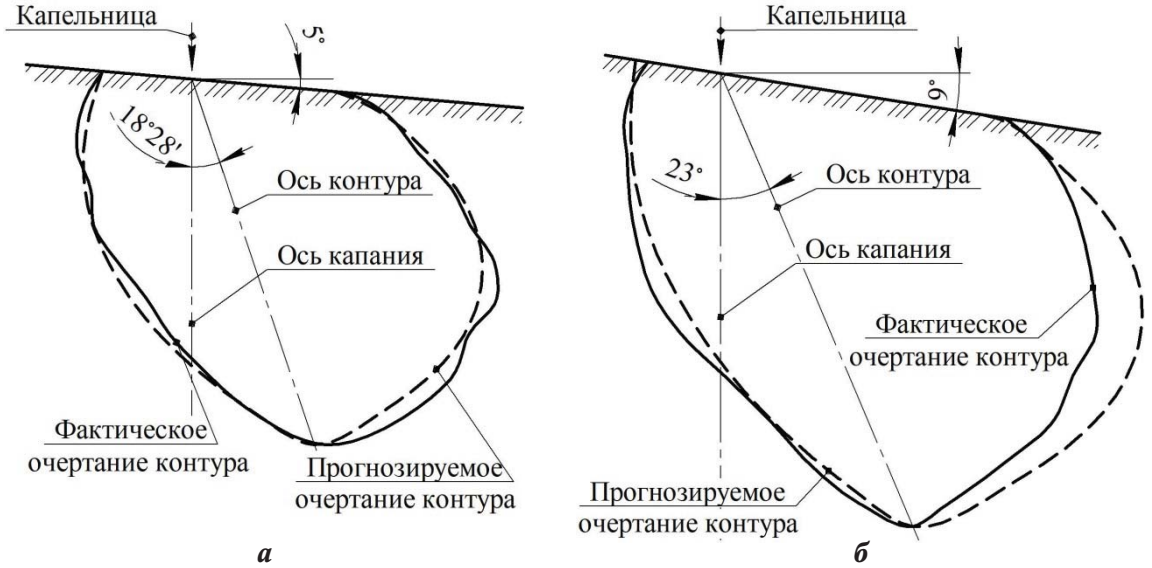


***Рис. 7. Поперечные сечения контуров капельного увлажнения почвы, формирующиеся на склонах с $\alpha_c$ = 5° (а) и $\alpha_c$ = 9° (б)***


ил Юрьевич. – М.: ВНИИГиМ, 2008. – 266 с.

6. *Шкура В.Н., Обумахов Д.Л., Рыжаков А.Н.* Капельное орошение яблони / под ред. В.Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

7. *Штанько А.С., Шкура В.Н.* Методика расчета поливных норм, обеспечивающих формирование заданных параметров увлажнения почв при капельном поливе // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 4(32). – С. 60–76. – Режим доступа: http:www.rosniipm–sm.ru/archive?n=567&id=571. DOI: 10.31774/2222–1816–2018–4–60–76.

8. *Штанько А.С., Шкура В.Н.* Способ графоаналитического построения очертания контуров капельного увлажнения почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 1(29). – С. 67–85.

9. *Ясониди О.Е.* Капельное орошение. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

10. *Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P.* Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse // Environmental Engineering, 2012, No. 4, P. 29.



**Васильев Сергей Михайлович,** *д-р техн. наук, проф., Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации. Россия.*

**Шкура Виктор Николаевич,** *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации. Россия.*

**Штанько Андрей Сергеевич,** *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации. Россия.*

*346421, г. Новочеркасск, просп. Баклановский, 190.*

*Тел.: 89289098900.*



***Ключевые слова**: капельное орошение; контур влажности; склоновые земли; параметры контуров увлажнения; методика прогнозирования контуров влажности.*


## FORM AND PARAMETERS OF DRIP IRRIGATION OF SOILS ON SLOPE LANDS


**Vasilyev Sergey Mikhailovich,** *Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Russia.*

**Shkura Viktor Nikolaevich,** *Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Russia.*

**Shtanko Andrey Sergeevich,** *Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Russia.*



***Keywords:** drip irrigation; moisture contour; slope lands; moisture contour parameters; methodology moisture contour forecasting.*



***Studies of local moisture contours were carried out on landscape formations with surface slopes of 0, 3, 5, 6, 7, and 9 °, the soil cover of which is represented by medium southern chernozems. As a result of the analysis, the facts of the local asymmetric moisture contours formation on the slope lands with an excess of the boundary surface in the slope direction and along-slope of the contour axis displacement have been found. In the process of experimental material processing the experimental dependences that make it possible to evaluate the influence of the slopes steepness on the contour geometric parameters are established. A generalization of the experimental material and well-known recommendations for determining the local moisture contours parameters made it possible to develop a methodology for predicting the shape of drip moistening contours in soils formed on slope lands.***