А. С. Штанько, В. Н. Шкура

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНТУРОВ КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Цель исследования – разработка методики прогнозирования размеров и построения очертания локальных контуров капельного увлажнения почвогрунтовой толщи, формирующихся на склоновых землях. Очевидным достоинством систем капельного орошения земель является возможность их применения для полива растений, культивируемых на уклонных земельных угодьях, где другие технологии орошения не могут быть реализованы. **Материалы и методы.** В процессе исследований установлено, что форма, расположение и параметры склоновых контуров отличаются от их параметров, установленных в условиях горизонтальных капельно поливаемых участков. Имеющие место качественные и количественные отличия в параметрах склоновых и равнинных контуров установлены в процессе их исследований, выполненных на разноуклонных участках садовых древесных культур, произрастающих на средне- и маломощных черноземах степной зоны Ростовской области. **Результаты.** При уклоне земной поверхности участка 3° угол отклонения оси контура от вертикали составил 14° , при $5^\circ - 20^\circ$, а при $9^\circ - 22^\circ$. Кроме этого, при обработке результатов опытных исследований установлены коэффициенты деформации верховой и низовой части контуров, формируемых на склоновых землях, которые для уклона земной поверхности 3° составили 0,89 и 1,10 соответственно, для $5^\circ - 0,76$ и 1,25 соответственно, для $9^\circ - 0,61$ и 1,40 соответственно. **Выводы.** В результате проведенных исследований предложена методика определения геометрических и влажностных параметров и разработан способ построения очертаний локальных контуров капельного увлажнения черноземных почв, формирующихся на капельно увлажняемых ландшафтах с различными уклонами земной поверхности. В основу предложенной методики положены разработанные авторами способ и методика прогнозирования параметров и построения локальных капельных контуров, формирующихся на безуклонных орошаемых участках.

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

A. S. Shtanko, V. N. Shkura

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

PREDICTION PROCEDURE FOR SOIL DRIP IRRIGATION CONTOURS ON SLOPES

The purpose of the study was to develop the methodology for predicting the size and design of the outlines of local contours of soil depth drip irrigation that are formed on slopes. The obvious advantage of drip irrigation systems is the possibility of their application for irrigating plants cultivated on sloping land, where other irrigation methods cannot be used. **Material and Methods.** During the research it was found that the shape, location and parameters of the slope contours differ from their parameters determined under the conditions of hor-

izontal drip irrigated sites. The available qualitative and quantitative differences in the slope and plain contours parameters were determined in the course of their research carried out on different slopes of plots with orchard tree crops growing on medium- and thin chernozems of the steppe zone of Rostov Region. **Results.** With a 3° slope of the land surface, the angle of deviation of the contour axis from the vertical line was 14°, at 5° – 20° and at 9° – 22°. Besides while processing the results of experimental studies, the deformation coefficients of the upper and lower parts of the contours formed on slopes were determined which were 0.89 and 1.10 for a land surface slope of 3°, respectively, for 5° – 0.76 and 1.25 respectively, for 9° – 0.61 and 1.40, respectively. **Conclusion.** As a result of the studies the methodology for determining geometric and moisture parameters was proposed and a method for designing the outlines of the local contours of drip irrigation of chernozem soils formed on drip-irrigated landscapes with different slopes of the land surface was developed. The method and technique developed by the authors for predicting parameters and designing local drip contours formed on steady irrigated areas are the basis of the proposed methodology.

Key words: drip irrigation; slopes; drip irrigation contour; moisture contour parameters; contour prediction technique.

Введение. В современной практике орошаемого земледелия все большее распространение получает культивирование многолетних плодовых и ягодных древесных и кустарниковых растений на склоновых землях при капельном поливе. Создание и продуктивность таких насаждений сдерживаются отсутствием должного обоснования устройства и использования для их орошения «склоновых» капельных оросительных систем. Известные разработки в области прогнозирования геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почвы, а также агрофизических характеристик почв, предложенные А. С. Овчинниковым, В. С. Бочарниковым, М. П. Мещеряковым, А. И. Головановым, Д. Е. Кучером, А. В. Шуравилиным и другими исследователями [1–3], не учитывают в полной мере влияние уклона земной поверхности капельно орошаемого участка на параметры формируемых контуров влажности почвы. Ранее выполненными исследованиями установлены отличия в параметрах зон капельного увлажнения, формирующихся на равнинных и склоновых орошаемых ландшафтах [4]. Кроме этого, факты трансформации и отличия локальных контуров влажности на безуклонных и склоновых землях были зафиксированы О. Е. Ясониди, М. К. Гаджиевым, И. К. Кулиничем, Ю. С. Уржумовой, М. Ю. Храбровым и другими исследователями в области капельного орошения [5–10]. Примерами тому являются схемы контуров капельного увлажнения почвы, приведенные на рисунке 1.

a – очертание локального контура для безуклонных условий его формирования при $\alpha_{\text{п}} = 0^\circ$; *б* – при наличии уклона земной поверхности, т. е. при $\alpha_{\text{п}} > 0^\circ$; 1 – капельница; 2 – контур капельного увлажнения почвы; 3 – ось контура увлажнения; 4 – поверхность земли; $\alpha_{\text{п}}$ – угол наклона земной поверхности к горизонту, $^\circ$; $\beta_{\text{к}}$ – угол отклонения оси контура от вертикали (оси капания), $^\circ$; r_i – радиус контура увлажнения на глубине h_i , формируемого при $\alpha_{\text{п}} = 0^\circ$, м; r_{Bi} и r_{Hi} – расстояния от оси контура до его границ в верховой и низовой его частях соответственно на глубине h_i , м

Рисунок 1 – Схемы очертаний контуров капельного увлажнения, формируемых в подкапельном почвенном пространстве на равнинных (*a*) и уклонных (*б*) участках капельного увлажнения почв

В соответствии с приведенными на рисунке 1 схемами профилей локальных контуров капельного увлажнения почв на склонах имеет место асимметричность их формы с определенным эксцессом в направлении уклона земной поверхности. В отличие от сечений контуров, формирующихся на безуклонных участках, при наличии уклонов поверхности земли имеет место отклонение оси контура от вертикали и неодинаковое смещение очерчивающих его граничных линий от оси контура вверх и вниз по уклону местности. При этом величина отклонения оси контура от вертикали и удаленность от нее оконтуривающих изоплет определяются величиной уклона поверхности земли. Определение значений вышеуказанных отклонений было поставлено задачей экспериментальных исследований, а целью работы определена разработка методики прогнозирования размеров и построения очертания локальных контуров капельного увлажнения почвогрунтовой толщи, формирующихся на склоновых землях.

Материалы и методы. Основу экспериментального материала составили данные натурных исследований контуров увлажнения, проведенных на четырех участках с уклонами земной поверхности, составляющими 3, 5, 6 и 9°, почвенный покров которых представлен средне- и слабомощными малогумусными черноземами. Измерение контуров и обработка полученных опытных данных проводились в соответствии с методиками и рекомендациями, приведенными в работах В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, А. Н. Рыжакова, О. Е. Ясониди [4, 5]. При проведении обобщений и получении экспериментальных зависимостей принята рабочая гипотеза о возможности использования известной методики определения геометрических и влажностных параметров контуров и графоаналитического способа построения их очертаний и внутриконтурных изоплет, формирующихся на безуклонных участках [11], при соответствующей их адаптации к условиям склонов. При этом принимается, что площади вертикального и горизонтального сечений контуров, их площади и объемы в равнинных и склоновых условиях их формирования остаются одинаковыми.

Результаты и обсуждение. В результате обработки опытных данных и в соответствии с рабочей гипотезой и рисунком 1б были установлены функциональные связи $\beta_k = f_1(\alpha_n)$, $k_v = f_2(\alpha_n)$, $k_n = f_3(\alpha_n)$.

Опытные данные по значениям α_n (угла наклона земной поверхности к горизонту) и β_k (угла отклонения оси контура от вертикали), графическая интерпретация функциональной связи $\beta_k = f_1(\alpha_n)$ и описывающая ее экспериментальная зависимость приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Опытные данные по значениям угла наклона земной поверхности к горизонту α_n и угла наклона оси контура β_k
В °

Параметр	Значение параметра				
Угол наклона земной поверхности к горизонту α_n	0,00	3,00	5,00	6,00	9,00
Угол отклонения оси контура от вертикали β_k	0,00	14,00	20,00	21,00	22,00

Рисунок 2 – График функциональной связи $\beta_k = f_1(\alpha_{п})$

Опытные значения относительных параметров $k_b = r_b / r$ и $k_n = r_n / r$ (где k_b и k_n – коэффициенты деформации верховой и низовой части контура увлажнения соответственно; r_b и r_n – удаленность точек контура капельного увлажнения вверх и вниз по склону от его оси; r – среднее значение радиуса контура при определенном значении его заглубленности от поверхности земли) для различных значений $\alpha_{п}$ приведены в таблице 2, а функциональные зависимости $k_b = f_2(\alpha_{п})$, $k_n = f_3(\alpha_{п})$ приведены на рисунке 3.

Таблица 2 – Опытные данные по значениям параметров $\alpha_{п}$, k_b и k_n

Параметр	Значение параметра				
Угол наклона земной поверхности к горизонту $\alpha_{п}, ^\circ$	0,00	3,00	5,00	6,00	9,00
Параметр k_b	1,000	0,890	0,760	0,710	0,610
Параметр k_n	1,000	1,100	1,250	1,280	1,400

Использование приведенных на рисунках 2 и 3 экспериментальных зависимостей позволяет ввести в известную методику определения параметров локальных контуров увлажнения [8] коррективы, позволяющие использовать ее базовые положения для случая формирования локальных контуров капельного увлажнения на склоновых землях. Существо предлагаемой методики расчета параметров и способа построения очертания контуров влажности почвы заключается в последовательном выполнении ряда нижеприведенных расчетных и графических операций.

Рисунок 3 – Графики функциональных связей
 $k_b = f_2(\alpha_n)$ и $k_n = f_3(\alpha_n)$

1 Устанавливаются исходные данные для расчета геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почвы, которыми являются: среднее значение содержания в капельно увлажняемом почвенном слое физической глины $\bar{W}_г$, измеряемое в процентах от массы абсолютно сухой почвы (% МСП); средняя по глубине увлажняемого слоя наименьшая влагоемкость почвы в пределах слоя увлажнения $\bar{W}_{нв}$ в % МСП; средняя по увлажняемому слою плотность сложения («объемная масса») увлажняемого слоя почвы $\bar{\gamma}_{об}$ в т/м³; средняя величина допoлнительной влажности почвы в пределах глубины увлажняемого почвенного слоя $\bar{\beta}_{д/п}$ в % МСП или в долях или процентах от $\bar{\beta}_{нв}$ – влажности почвы, соответствующей наименьшей влагоемкости (уровень допoлнительной влажности превышает значения влажности завядания и обычно составляет 0,6–0,75 $\bar{\beta}_{нв}$); величина средней по увлажняемому слою поcтполивной влажности почвы $\bar{\beta}_{п/п}$, обычно составляющей 0,85–0,95 $\bar{\beta}_{нв}$ и учитывающей влаголюбивость растений, произрастающих в определенных почвенно-влажностных условиях,

измеряемая по аналогии с $\bar{\beta}_{д/п}$ в % МСП или % от $\bar{\beta}_{НВ}$; глубина слоя (контура) увлажнения («промачивания») почвы, базирующаяся на учете глубины распространения основной части корней корневой системы растений $h_{увл}$, м; угол наклона земной поверхности склона к горизонту $\alpha_{п}$, °. Глубина локального контура капельного увлажнения почвы $(h_{из/п})_{\beta_{д/п}}$, м, для значения (уровня) влажности изоплеты $\beta_i = \bar{\beta}_{д/п}$ (она же $h_{кон}$) принимается равной требуемой для корневой системы растений глубине увлажнения почвогрунтовой толщи $h_{увл}$, м.

2 Определяется величина поливной нормы на одну капельницу (объема водоподачи) $N_{пол}$, л/кап., обеспечивающая формирование локального контура капельного увлажнения подкапельного почвогрунтового пространства, характеризуемого определенными по п. 1 значениями $\bar{W}_г$, $\bar{W}_{НВ}$ и $\bar{\gamma}_{об}$, с требуемой глубиной $(h_{из/п})_{\beta_{д/п}} = h_{кон} = h_{увл}$, по зависимости вида:

$$N_{пол} = 0,00196 \cdot \bar{\gamma}_{об} \cdot h_{кон}^3 \cdot (0,0765 \cdot \bar{W}_г^{0,6} + 0,0292 \cdot \bar{W}_{НВ})^2 \cdot (\bar{\beta}_{п/п} - \bar{\beta}_{д/п}).$$

3 Устанавливается значение заглубленности в почвогрунтовую толщу изоплеты $(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, м, с влажностью почвенного пространства, соответствующей $\beta_{из/п} = 0,7 \cdot \bar{\beta}_{НВ}$, % МСП, по экспериментальной зависимости:

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

4 Рассчитывается величина заглубленности изоплет с разными (задаваемыми) значениями влажности $(h_{из/п})_{\beta_i}$, м, изменяющимися от величины $\beta_i = \bar{\beta}_{д/п}$ до $\beta_i = 1,2 \cdot \bar{\beta}_{НВ}$ с шагом уровня влажности почвы, равным $\Delta\beta = 0,05 \cdot \bar{\beta}_{НВ}$ (т. е. $\beta_i = 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1,0; 1,05;$

1,1; 1,15 и 1,2 $\bar{\beta}_{\text{НВ}}$), по нижеследующей экспериментальной зависимости:

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

5 Находится угол отклонения оси локального контура капельного увлажнения почвы (локального контура влажности), формируемого на уклонных участках, от вертикали β_k , °, по экспериментальной зависимости:

$$\beta_k = 9,406 \cdot \alpha_{\text{п}}^{0,419}, \quad (1)$$

в соответствии с которым согласно рисунку 1б трассируется ось контура капельного увлажнения почвенного пространства.

6 Для установленных по п. 4 значений заглубленности разновлажностных изоплет $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i}$ определяются соответствующие им значения средних послойных радиусов контуров увлажнения почвы $(\bar{r}_{\text{из/п}})_{\beta_i}$, формирующихся в почвогрунтовой толще при $\alpha_{\text{п}} = 0^\circ$, м, по нижеприведенной зависимости:

$$(\bar{r}_{\text{из/п}})_{\beta_i} = 0,25 \cdot [(0,51 + 0,009 \cdot \bar{W}_Г) + (0,073 + 0,038 \cdot \bar{W}_{\text{НВ}})] \cdot (h_{\text{из/п}})_{\beta_i}. \quad (2)$$

7 Для каждого предварительно принятого к рассмотрению уровня влажности почвы в пределах увлажняемого пространства β_i (см. п. 4) выполняются расчеты координат точек, соответствующих изоплетам, ограничивающим изоплетные контуры влажности почвы, с соблюдением нижеприведенной последовательности расчетных и графических операций.

7.1 Для каждого изоплетного контура капельного увлажнения почвы в соответствии с установленной по п. 4 глубиной $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i}$ намечается 11 условно принятых горизонтальных сечений, разделяющих каждый (внешний и изоплетные) влажностный контур по вертикали на 10 равных по высоте расчетных слоев. Глубины расположения сечений $(h_j)_{\beta_i}$ (где j – номер сечения) являются вертикальными координатами точек границ контура, со-

единия которые, получают ограничивающую изоплетный контур линию. Горизонтальные сечения контуров намечаются, начиная с глубины $(h_1)_{\beta_i} = 0$, соответствующей сечению 1, с шагом по глубине $\Delta h_{\beta_i} = 0,1 \cdot (h_{из/п})_{\beta_i}$ и заканчивая сечением 11 с глубиной его заложения, равной $(h_{11})_{\beta_i} = (h_{из/п})_{\beta_i}$. Структура сечений внешнего контура увлажнения проиллюстрирована на рисунке 4. Схемы расположения сечений изоплетных контуров с различными уровнями влажности почвы во внутриконтурном пространстве принимаются аналогично проиллюстрированному на рисунке 4 внешнему локальному контуру капельного увлажнения почвенного пространства.

1 – капельница; 2 – контур капельного увлажнения почвы на склоновом земельном участке; 3 – ось контура капельного увлажнения почвы; 4 – поверхность земли; α_n – угол наклона земной поверхности к горизонту, °; β_k – угол отклонения оси контура от вертикали, °; $h_{кон}$ – глубина рассматриваемого изоплетного контура увлажнения, равная $(h_{из/п})_{\beta_i}$, м; r_B и r_H – расстояния от оси до границ в верховой и низовой частях контура увлажнения соответственно, м; $h_1 - h_{11}$ – расстояния от поверхности земли до горизонтальных сечений, разделяющих контур капельного увлажнения почвы по вертикали на 10 равных по высоте расчетных почвенных слоев, м

Рисунок 4 – Расчетная схема контура капельного увлажнения почвы, формирующегося на склоновых землях

7.2 Значения удаленности (координат) точек очертания контуров влажности почвы от их оси $r_{вj}$ и $r_{нj}$ (см. рисунок 4) по каждому из намеченных горизонтальных сечений изоплетных контуров, расположенных на различной глубине $(h_j)_{\beta_i}$, определяются по установленным и нижеприведенным экспериментальным зависимостям, имеющим вид полинома девятой степени:

$$r_{вj} = k_{в} \cdot (\bar{r}_{из/п})_{\beta_i} \cdot \left[k_0 + k_1 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right] - k_2 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^2 + k_3 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^3 - k_4 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^4 - k_5 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^5 - k_6 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^6 - k_7 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^7 - k_8 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^8 - k_9 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^9 \right], \quad (3)$$

$$r_{нj} = k_{н} \cdot (\bar{r}_{из/п})_{\beta_i} \cdot \left[k_0 + k_1 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right] - k_2 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^2 + k_3 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^3 - k_4 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^4 - k_5 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^5 - k_6 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^6 - k_7 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^7 - k_8 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^8 - k_9 \cdot \left[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i} \right]^9 \right], \quad (4)$$

где $r_{вj}$ – расстояние от оси контура до его границ в верховой части, м;

$r_{нj}$ – расстояние от оси контура до его границ в низовой части, м;

$k_{в}$ – коэффициент деформации верховой части контура капельного увлажнения почвы, формирующегося на орошаемом участке с углом наклона земной поверхности к горизонту $\alpha_{п}$, определяется по зависимости вида:

$$k_{в} = 1 - 0,045 \cdot \alpha_{п};$$

$k_{н}$ – коэффициент деформации низовой части контура увлажнения, формирующегося на орошаемом участке с углом наклона земной поверхности к горизонту $\alpha_{п}$, определяется по экспериментальной зависимости вида:

$$k_{н} = 1 + 0,045 \cdot \alpha_{п};$$

$(\bar{r}_{из/п})_{\beta_i}$ – средний радиус изоплетного контура при $\alpha_{п} = 0^\circ$ с определенной влажностью граничной линии β_i , определяемый по зависимости (2);

k_0 – свободный член полинома, определяемый по соотношению:

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

k_1 – коэффициент при первом члене полинома $[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i}]$:

$$k_1 = 1,03 / k_0^{1,2};$$

k_2 – коэффициент при втором члене полинома $[(h_j)_{\beta_i} / (h_{из/п})_{\beta_i}]^2$:

$$k_2 = k_0 + k_1;$$

$k_3 - k_9$ – коэффициенты при членах полинома $(h_j)_{\beta_i} / (h_{кон})_{\beta_i}$, возводимых в 3–9-ю степень соответственно, определяемые по соотношению вида:

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

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 3.

Таблица 3 – Значения коэффициентов регрессии $k_3 - k_9$ полиномов (3) и (4)

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

7.3 Определяемые в соответствии с требованиями п. 7.1 и рисунка 4 значения $(h_j)_{\beta_i}$ и полученные в результате расчета по зависимостям (3) и (4) значения $r_{в_j}$ и $r_{н_j}$ для каждого из 11 горизонтальных сечений рассматриваемого изоплетного контура влажности заносятся в таблицу 4.

7.4 В соответствии с расчетной схемой, приведенной на рисунке 4, строится линия земной поверхности под углом $\alpha_{п}$ (п. 1) к горизонту. Далее через точку на поверхности земли, находящуюся на оси капания, под

углом β_k (зависимость (1)) к вертикали проводится ось контура капельного увлажнения, формирующегося на склонах. По приведенным в таблице 4 значениям $(h_j)_{\beta_i}$, r_{B_j} и r_{H_j} в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4, строятся изоплетные контуры увлажнения почвы с влажностью граничной изоплеты β_i , которые отображают распределение влажности почвы во внутриконтурном увлажняемом почвенном пространстве.

Таблица 4 – Расчетные значения координат $(h_j)_{\beta_i}$, r_{B_j} и r_{H_j} точек граничных линий изоплетных контуров капельного увлажнения почвы

Показатель	Значение показателя										
№ сечений	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$(h_j)_{\beta_i}$, м	$(h_1)_{\beta_i}$	$(h_2)_{\beta_i}$	$(h_3)_{\beta_i}$	$(h_4)_{\beta_i}$	$(h_5)_{\beta_i}$	$(h_6)_{\beta_i}$	$(h_7)_{\beta_i}$	$(h_8)_{\beta_i}$	$(h_9)_{\beta_i}$	$(h_{10})_{\beta_i}$	$(h_{11})_{\beta_i}$
r_{B_j} , м	r_{B_1}	r_{B_2}	r_{B_3}	r_{B_4}	r_{B_5}	r_{B_6}	r_{B_7}	r_{B_8}	r_{B_9}	$r_{B_{10}}$	$r_{B_{11}}$
r_{H_j} , м	r_{H_1}	r_{H_2}	r_{H_3}	r_{H_4}	r_{H_5}	r_{H_6}	r_{H_7}	r_{H_8}	r_{H_9}	$r_{H_{10}}$	$r_{H_{11}}$

Предложенная(ый) методика (алгоритм) расчета доведена до уровня программы для ЭВМ, позволяющей определить координаты контура капельного увлажнения почвы и построить его очертание. Расчет производился для следующих почвенных условий: среднее по увлажняемому слою содержание в почве физической глины $W_r = 58,0$ % МСП; средняя по увлажняемому слою почвы наименьшая влагоемкость почвы $W_{HB} = 25,2$ % МСП; средняя по увлажняемому слою плотность сложения почвы $\gamma_{об} = 1,4$ т/м³; средняя по увлажняемому слою дополивная влажность почвы $\beta_{д/п} = 0,6 \times \beta_{HB} = 15,1$ % МСП; средняя по увлажняемому слою послеполивная влажность почвы $\beta_{п/п} = 0,95 \beta_{HB} = 23,9$ % МСП; глубина увлажняемого слоя почвы $h_{увл} = 0,83$ м. Пример расчета и построения локального контура влажности почв проиллюстрирован рисунком 5.

Судя по данным рисунка 5, прогнозное очертание контура влажности с достаточной для практического применения точностью соответствует опытному.

Предложенная методика и программа для ЭВМ позволяют прогнозировать положение и размеры изоплетных контуров влажности почвы, формирующихся в пределах зоны капельного увлажнения почвенного пространства, что проиллюстрировано рисунком 6.

Рисунок 5 – Прогнозируемое и опытное очертания контура капельного увлажнения почвы при $\alpha_n = 9,0^\circ$

h – глубина контура, м; l – расстояние от оси капания, м;
 1 – изоплета с влажностью $1,0 \beta_{\text{НВ}}$; 2 – изоплета с влажностью $0,95 \beta_{\text{НВ}}$;
 3 – изоплета с влажностью $0,9 \beta_{\text{НВ}}$; 4 – изоплета с влажностью $0,85 \beta_{\text{НВ}}$;
 5 – изоплета с влажностью $0,8 \beta_{\text{НВ}}$; 6 – изоплета с влажностью $0,75 \beta_{\text{НВ}}$;
 7 – изоплета с влажностью $0,7 \beta_{\text{НВ}}$; 8 – изоплета с влажностью $0,65 \beta_{\text{НВ}}$;
 9 – изоплета с влажностью $0,6 \beta_{\text{НВ}}$

Рисунок 6 – Прогнозируемые очертания изоплетных контуров влажности при $\alpha_n = 9,0^\circ$

Выводы

1 В процессе проведенных исследований контуров увлажнения, формирующихся на склоновых землях в средне- и маломощных слабогумусных черноземах, характерных для степной зоны Ростовской области, установлены их геометрические параметры и получены экспериментальные зависимости, позволяющие скорректировать известную методику прогнозирования положения и параметров контуров влажности для безуклонных участков применительно к склоновым ландшафтам.

2 В результате проведенных исследований предложена методика определения геометрических и влажностных параметров локальных капельных контуров влажности, формирующихся на склонах, и разработан способ построения их очертаний, которые реализованы в виде программы для ЭВМ, что значительно упрощает их использование.

Список использованных источников

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

2 Голованов, А. И. Обоснование математической модели капельного увлажнения сада в условиях Подмосковья / А. И. Голованов, Д. Е. Кучер, А. В. Шуравилин // Природообустройство. – 2016. – № 1. – С. 44–51.

3 Воеводина, Л. А. Изменение агрофизических свойств черноземных почв под влиянием капельного орошения минерализованной водой / Л. А. Воеводина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2011. – № 4(04). – С. 76–85. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=57&id=67>.

4 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обухов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

5 Ясониди, О. Е. Капельное орошение / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

6 Гаджиев, М. К. Особенности капельного орошения виноградников в условиях Дагестанской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Гаджиев Магомед Кебедович. – Новочеркасск, 1984. – 22 с.

7 Кулинич, И. К. Капельное орошение виноградников на горных склонах в условиях Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Кулинич Иван Константинович. – Краснодар, 1982. – 22 с.

8 Уржумова, Ю. С. Технологические и конструктивные элементы локального низконапорного орошения садов для условий южных черноземов Ростовской области: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Уржумова Юлия Сергеевна. – Новочеркасск, 2004. – 24 с.

9 Храбров, М. Ю. Ресурсосберегающие технологии и технические средства орошения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Храбров Михаил Юрьевич. – М., 2008. – 46 с.

10 Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

11 Васильев, С. М. Геометрические и влажностные параметры контуров капельного увлажнения суглинистых черноземов / С. М. Васильев, А. С. Штанько // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 16–19.

References

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

2 Golovanov A.I., Kucher D.E., Shuravilin A.V., 2016. *Obosnovanie matematicheskoy modeli kapel'nogo uvlazhneniya sada v usloviyakh Podmoskov'ya* [Substantiation of the mathematical model of the garden drip irrigation under the conditions of Moscow region]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 44-51. (In Russian).

3 Voevodina L.A., 2011. [Change in the agrophysical properties of chernozem soils under the influence of drip irrigation with mineralized water]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(04), pp. 76-85, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=57&id=67>. (In Russian).

4 Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapel'noe oroshenie yablo-ni: monografiya* [Drip Irrigation of Apple Trees: monograph]. Novocherkassk, Lick Publ., 310 p. (In Russian).

5 Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie* [Drip Irrigation]. Novocherkassk, Lick Publ., 322 p. (In Russian).

6 Gadzhiev M.K., 1984. *Osobennosti kapel'nogo orosheniya vinogradnikov v usloviyakh Dagestanskoy ASSR: Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Features of Drip Irrigation of Vineyards under the Conditions of the Dagestan ASSR: Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Novocherkassk, 22 p. (In Russian).

7 Kulinich I.K., 1982. *Kapel'noe oroshenie vinogradnikov na gornykh sklonakh v usloviyakh Krasnodarskogo kraya: Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Drip Irrigation of Vineyards on the Mountain Slopes in Krasnodar Territory: Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Krasnodar, 22 p. (In Russian).

8 Urzhumova Yu.S., 2004. *Tekhnologicheskie i konstruktivnye elementy lokal'nogo nizkonapornogo orosheniya sadov dlya usloviy yuzhnykh chernozemov Rostovskoy oblasti: Avtoreferat diss. kand. tech. nauk* [Technological and Constructive Elements of Local Low-Pressure Irrigation of Gardens for the Conditions of Southern Chernozems of Rostov Region: Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Novocherkassk, 24 p. (In Russian).

9 Khrabrov M.Yu., 2008. *Resursosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya: Avtoreferat diss. kand. tech. nauk* [Resource-Saving Technologies and Technical Means of Irrigation: Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 46 p. (In Russian).

10 Khrabrov M.Yu., 1999. *Raschet rasprostraneniya vlagi v pochve pri kapel'nom oroshenii* [Calculation of moisture distribution in soil with drip irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 4, pp. 34-35. (In Russian).

11 Vasil'ev S.M., Shtan'ko A.S., 2019. *Geometricheskie i vlazhnostnye parametry konturov kapel'nogo uvlazhneniya suglinistykh chernozemov* [Geometric and moisture parameters of drip irrigation contours of loamy chernozems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 1, pp. 16-19. (In Russian).

Штанько Андрей Сергеевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shtanko Andrey Sergeevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Шкура Виктор Николаевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shkura Viktor Nikolaevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru