

УДК 631.674.6

А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕВЗВЕШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ В КОНТУРАХ КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Целью исследования является разработка методики расчета средневзвешенной влажности почвы во внутриконтурном увлажняемом при капельном поливе почвенном пространстве. При расчетах поливных норм капельного полива сельхозугодий, обеспечивающих формирование в почвенном пространстве определенных по геометрическим параметрам и уровню влажности локальных контуров увлажнения, необходимо определить средний уровень влажности во внутриконтурном пространстве. Существующие предложения в этой части разработки параметров и режимов капельного полива преимущественно ориентированы на непосредственные измерения, а собственно расчеты проводятся по разным и недостаточно обоснованным методикам, что и определяет актуальность поставленной задачи. Предлагаемый методический подход к установлению средневзвешенной влажности почвы во внутриконтурном пространстве предусматривает аппроксимацию локального контура капельного увлажнения почвы и положения внутриконтурных изоплет с определенным уровнем влажности, количественную оценку объемов межизоплетного пространства с соответствующей влажностью, расчет влажностно-объемных параметров выделенных зон увлажнения и нахождение средневзвешенного значения влажности в пределах локального контура капельного увлажнения почвы. Предлагаемая методика расчета средневзвешенной влажности почвы в пределах контуров по аппроксимированным очертаниям изоплет и фактическому их положению позволяет получить высокую сходимость результатов расчета с опытными измерениями и известными способами при минимальных затратах труда и времени.

Ключевые слова: капельный полив, средневзвешенная влажность почвы, внутриконтурное пространство, контур увлажнения, почвенные характеристики.

A. N. Ryzhakov, V. N. Shkura

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

DETERMINATION OF AVERAGE-WEIGHTED SOIL MOISTURE IN DRIP HUMIDIFICATION CONTOUR

The purpose of study is the development of methodology for calculating the average soil moisture content in the inside contour soil space moistened during drip irrigation. When calculating the irrigation rates of drip irrigation of farmland, which ensure the formation in soil space special local humidification contours according to geometric parameters and humidity level, it is necessary to determine the average humidity level in the inside contour space. Existing proposals in this part of the parameters and drip irrigation regimes development are oriented mainly at direct measuring, and the calculations themselves are carried out by different and insufficiently substantiated methods, which determine the objective relevance. The proposed methodical approach for determining an average-weighted soil moisture in the inside contour space provides the approximation of the drip soil moistening local contour and the inside contour isopleths position with a certain moisture level, a quantitative as-

assessment of the volumes of the inter-isopleths space with corresponding humidity, the calculation of moisture-volume parameters of the selected moistening zones and the determination of the average weighted moisture content within drip soil moistening local contour. The proposed method for calculating the average soil moisture content within the contours on the approximate isopleth profiles and their actual position makes it possible to obtain a high reproducibility with actual measurements and known methods at minimum labour and time costs.

Key words: drip irrigation, average-weighted soil moisture, inside-contour space, humidification contour, soil characteristics.

Введение. Одной из актуальных задач оптимизации режимов капельного орошения является определение уровня влажности почвы в увлажняемой при капельном поливе зоне, то есть в пределах формирующегося в почвогрунтовой контуре увлажнения. Решение поставленной задачи усложнено многофакторностью воздействия на процесс распределения влаги во внутриконтурном почвенном пространстве условий и параметров капельного полива. В связи с этим целью настоящего исследования является разработка методики расчета средневзвешенной влажности почвы во внутриконтурном увлажняемом при капельном поливе почвенном пространстве.

В пределах локальных контуров капельного увлажнения формируются три характерных влажностных зоны: зона полного насыщения почвы с внутриконтурной влажностью $\beta_{в/кон}$, близкой к ее полной влагоемкости $\beta_{НВ}$ или соответствующей ей (при $\beta_{в/кон} > \beta_{НВ}$); зона с влажностью, соответствующей уровню наименьшей влагоемкости (НВ) или близкой к ней (при $\beta_{НВ} \geq \beta_{в/кон} \geq 0,8...0,9 \beta_{НВ}$); зона с влажностью, близкой к нижнему порогу доливной влажности (при $\beta_{в/кон} < 0,7...0,8 \beta_{НВ}$). По принятому условному разделению увлажняемого внутриконтурного почвенного пространства на влажностные зоны (зоны с разным уровнем влажности) имеются различные предложения, приведенные в работах В. В. Бородычева, А. В. Шуравилина и др. [1], О. Е. Ясониди [2], В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова и А. Н. Рыжакова [3], А. А. Алексащенко [4], А. И. Голованова и Е. В. Кузнецова [5], А. М. Зейлигера [6], О. Н. Карпенко [7], О. Н. Кохно [8], Б. Б. Шумакова [9, 10], А. С. Овчинникова [11], А. М. Олейника [12],

В. И. Торбовского [13], Ю. С. Уржумовой [14], М. Ю. Храброва [15], М. И. Ромащенко [16] и др.

В связи с этим и в рамках поставленной задачи отметим, что определенные неясности в известных работах имеют место (в части установления граничных (оконтуривающих) линий, очерчивающих локальные контуры капельного увлажнения почвы). Известны предложения находить границы локальных контуров по координатам оконтуривающих поверхностей или по линиям определенного уровня влажности (изоплетам):

- по линиям, соответствующим уровню естественной влажности почвы, то есть по граничной линии между зонами искусственного и естественного увлажнения почвы;

- координатам точек и оконтуривающей (соединяющей их) линии с влажностью, превышающей естественную влажность почвенной толщи на 5 %, то есть при граничной влажности $\beta_{гр} = 1,05\beta_{ест}$ или $1,05\beta_{д/п}$;

- видимой (зрительно наблюдаемой по цвету разноувлажненной почвы) граничной линии с влажностью почвы в границах контура, отличной от законтурной;

- линии (изоплете), соответствующей определенному уровню влажности почвы (обычно 0,70; 0,75 или $0,80\beta_{нв}$).

Из имеющихся предположений наиболее обоснованным представляется приведенное в работе В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, А. Н. Рыжакова [3] предложение по определению ограничивающей локальный контур капельного увлажнения почвы линии с влажностью $(\beta_{кон})_{гр}$, превышающей естественный уровень (фон) неувлажняемого (законтурного) почвенного пространства $\beta_{ест}$, или дополивную влажность $\beta_{д/п}$, на 10 %, то есть при $(\beta_{кон})_{гр} = 1,1\beta_{ест}$ или $(\beta_{кон})_{гр} = 1,1\beta_{д/п}$. Принятое превышение уровней влажности в 10 % соответствует точности фиксации и аппроксимации граничных линий контуров и внутриконтурных изоплет.

Материалы и методы. Для качественной и количественной характеристики распределения уровня влажности почвы во внутриконтурном пространстве используются экспериментально установленные данные и представленные изоплеты с определенным уровнем влажности $\beta_{из/п}$ в долях или процентах от влажности $\beta_{НВ}$, соответствующей НВ. Обычно уровень влажности внутриконтурных изоплет принимается (а изоплеты вычерчиваются) с шагом 5 % (реже) или 10 % (чаще) от $\beta_{НВ}$ (70; 75; ...; 120 % от $\beta_{НВ}$) или в долях от $\beta_{НВ}$ (0,7; 0,8; ...; 1,2 $\beta_{НВ}$). Отметим, что практика обработки локальных контуров капельного увлажнения почвы показывает достаточность 10%-й градации уровней влажности для определения координат и положения изоплет во внутриконтурном пространстве и проведения последующих расчетов поливных норм при капельном орошении растений.

Принимая вышеприведенные предложения, проиллюстрируем решение поставленной задачи (по разработанной нами методике) на примере одного реального локального контура капельного увлажнения, сформировавшегося в темно-каштановых тяжелосуглинистых почвах со следующими водно-физическими ее показателями: содержание физической глины $W_{г/ч} = 47,2$ % от массы абсолютно сухой почвы (МСП); плотность почвы в образце с ненарушенной структурой (или плотностью) $\gamma_{об} = 1,30$ г/см³; НВ $W_{НВ} = 23,4$ % МСП. Полив капельницей с расходом $q_{кап} = 4$ л/ч, продолжительность капельного полива («каплевания») – $t_{кап} = 30$ ч, поливная норма $N_{пол} = 120$ л принята из условия увлажнения метрового слоя почвы в подкапельном пространстве до влажности, составляющей 80 % от НВ. Исходная информация по локальному контуру капельного увлажнения почвы представлена матрицей измерений ее влажности в подкапельном пространстве (рисунок 1).

Результаты и обсуждение. Данные рисунка 1, б позволяют построить во внутриконтурном пространстве систему изоплет с шагом уровня

влажности, который равен 5 % от влажности почвы, соответствующей уровню НВ (рисунок 2).

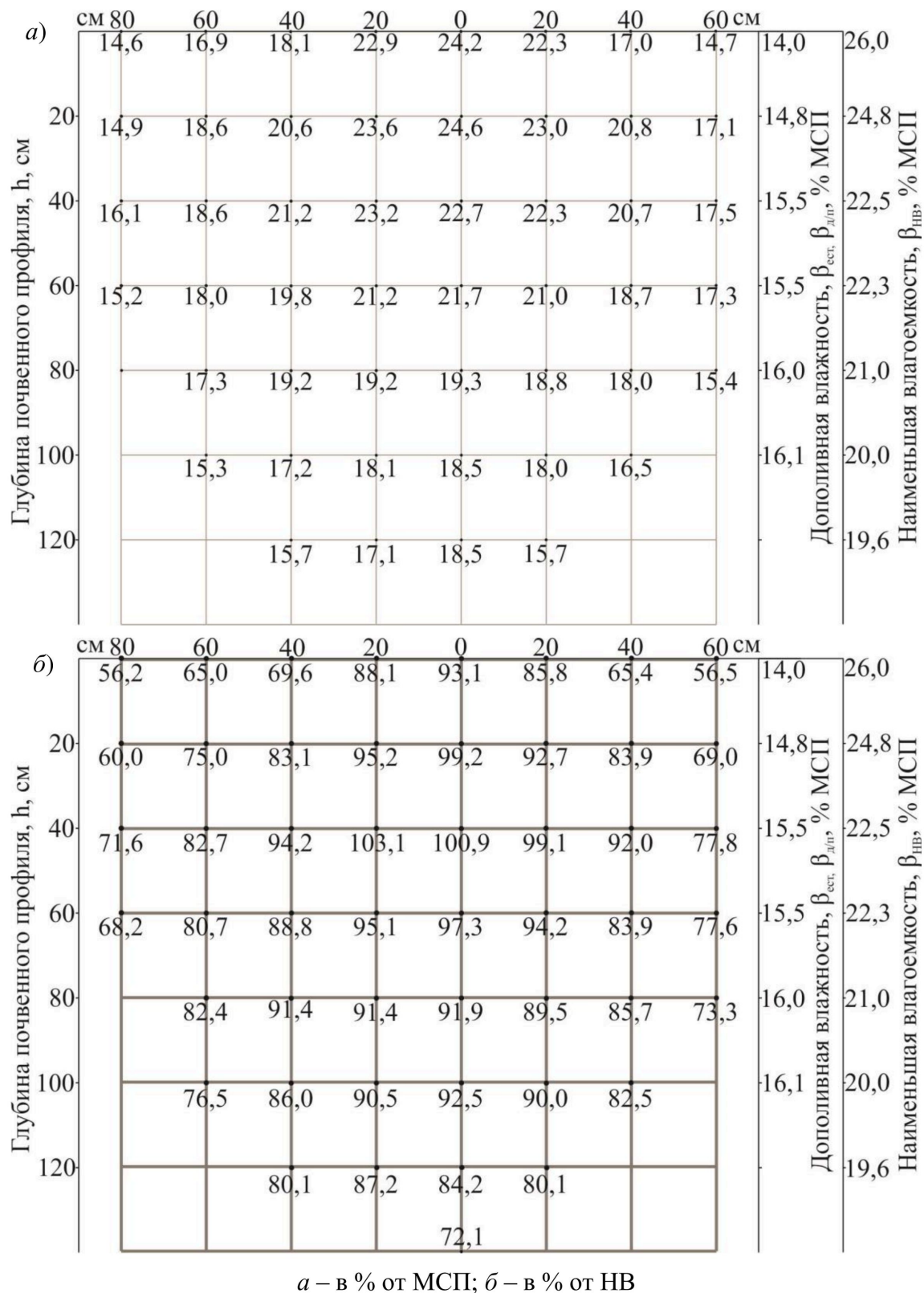


Рисунок 1 – Матрицы данных измерений влажности почвы в подкапельном почвенном пространстве

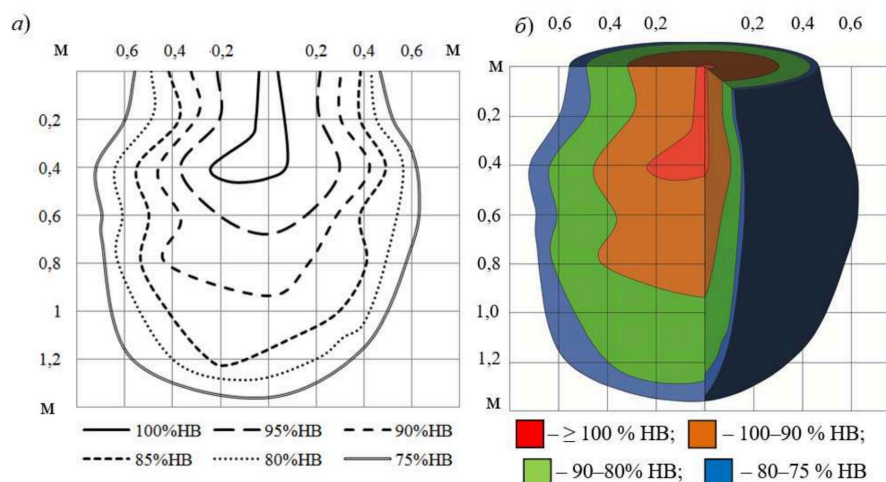


Рисунок 2 – Очертание контура капельного увлажнения почв и внутриконтурных изоплет в процентах от НВ (а) и его объемное изображение (б)

Судя по данным матрицы (рисунок 1) и изоплетам (рисунок 2), за границу контура увлажнения принята изоплета с уровнем влажности $\beta_{гр} = \beta_{из/п} = 0,75\beta_{НВ}$ при уровне доливной влажности $\bar{\beta}_{д/п} = 67 \% \beta_{НВ}$.

В соответствии со сложившейся практикой, на последующих этапах аналитической обработки опытного материала среднее значение влажности почвы во внутриконтурном пространстве определялось суммированием значений влажности в точках ее замеров и делением полученной суммы на количество точек в пределах контура увлажнения. При расчетах чаще всего и обоснованно использовались показатели влажности в процентах от НВ. При переводе абсолютных значений влажности (в % от МСП) в относительные (в % от НВ) разными специалистами использовались как средние по всему почвенному профилю значения $\beta_{НВ}$, так и дифференцированные по слоям почвенной толщи значения влажности, соответствующей уровню НВ. В результате использования разных методических подходов к расчету средней влажности почвы во внутриконтурном пространстве их величины даже для одинаковых условий формирования локальных контуров оказывались различными.

При использовании экспериментальных данных, представленных в ви-

де системы изоплет, среднее, а точнее осредненное, значение влажности почвы в пределах локального контура увлажнения $\bar{\beta}_{\text{кон}}$ (внутриконтурного пространства) может быть определено по соотношению:

$$\bar{\beta}_{\text{кон}} = (\sum \bar{\beta}_{\text{м/из}} \cdot W_{\text{м/из}}) / W_{\text{кон}},$$

где $\bar{\beta}_{\text{м/из}}$ – средняя величина влажности почвы между двумя соседствующими изоплетами (то есть в межизоплетном внутриконтурном пространстве) в процентах от влажности, соответствующей НВ;

$W_{\text{м/из}}$ – объем внутри- или межизоплетного почвенного пространства, ограниченного одной или двумя соседствующими изоплетами (изоплетными поверхностями), м³;

$W_{\text{кон}}$ – объем локального контура капельного увлажнения почвы, м³.

Такой подход позволяет получить достаточно точные осредненные по контуру увлажнения значения влажности, но требует значительных трудозатрат по определению площадей и объемов сложноформенного (рисунок 2) межизоплетного пространства. Для упрощения расчетов в реальной практике используются условно аппроксимированные положения (очертания) внутриконтурных изоплет. Использование аппроксимированных профилей контуров увлажнения обосновано соображениями учета и осреднения различных отклонений координат и форм очертания контуров с разными уровнями влажности, замеряемых в одинаковых условиях их формирования.

О качестве (точности и обоснованности) аппроксимаций внешних очертаний этого контура и очертаний их внутриконтурных зон с разным уровнем влажности почвы можно судить по результатам их сопоставления [3]. Геометрические образы (представления) контура увлажнения и внутриконтурных зон увлажнения по опытным данным (рисунок 2) и их аналитическая аппроксимация, выполненная по зависимости авторов (рисунок 3), качественно сходны (подобны) и количественно близки.

Приведенная на рисунке 3 аппроксимация внешнего очертания ло-

кального контура капельного увлажнения почвы (рисунок 1, б) в сопоставлении с положением изоплет с разным (дискретным) уровнем влажности почвенного пространства для $\beta = 100; 90; 80$ и 75% от влажности, соответствующей НВ почвы, проиллюстрирована рисунком 4.

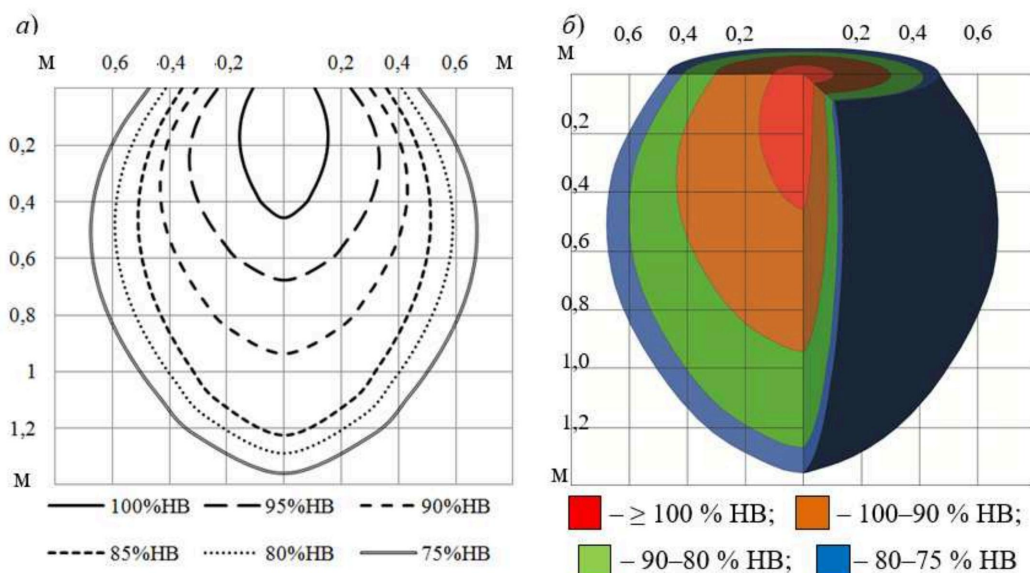
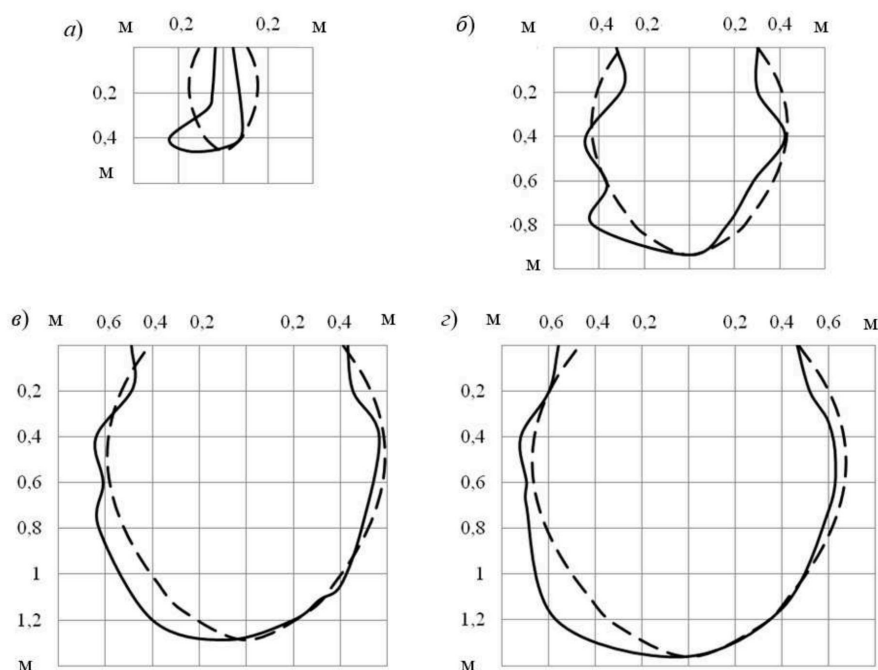


Рисунок 3 – Аппроксимированный контур в изоплетах (а) и его объемное пространственное изображение (б)



а – 100 % от НВ; б – 90 % от НВ; в – 80 % от НВ; г – 75 % от НВ

Рисунок 4 – Очертания внешнего и внутренних контуров увлажнения при различных значениях влажности почвы (в % от НВ), ограничивающих их изоплеты

Использование в последующих расчетах аппроксимированных контуров увлажнения и аппроксимированных очертаний внутриконтурных изоплет при соответствующем качестве (уровне точности) аппроксимации существенно упрощает технологию определения значений средневзвешенной влажности почвы $\bar{\beta}_{\text{кон}}$ во внутриконтурном почвенном пространстве.

Для выполнения расчетов осредненной по внутриконтурному пространству влажности почвы изначально необходимо определить объем всего локального контура увлажнения в пределах ограничивающей его изоплетной поверхности, объемы внутриизоплетного пространства, очерчиваемого изоплетными поверхностями для разных уровней влажности почвы (то есть $(W_{\text{кон}})_{\beta_{\text{из/п}}}$), и объемы межизоплетного пространства ($W_{\text{м/из}}$) в соответствии со схемами, приведенными на рисунке 5.

Расчеты по определению объемов контуров $\bar{\beta}_{\text{кон}}$ для разных уровней влажности и межизоплетных объемов влажности приведены для двух способов их проведения – по фактическим и аппроксимированным положениям изоплет. Учитывая сложность форм (очертаний) локальных (внешнего и внутреннего) контуров увлажнения по опытным данным, подсчеты объемов осуществляли по известному методу цилиндра (приведения сложноконтурного очертания к форме цилиндра). Расчеты объемов велись для контуров, которые ограничены изоплетными поверхностями с уровнем их влажности $\beta_{\text{из/п}}$, составляющим 75, 80, 90 и 100 % НВ, а межизоплетные объемы увлажняемого пространства определялись как разница между объемами контуров, очерченных двумя соседствующими изоплетами (изоплетными поверхностями) (таблица 1).

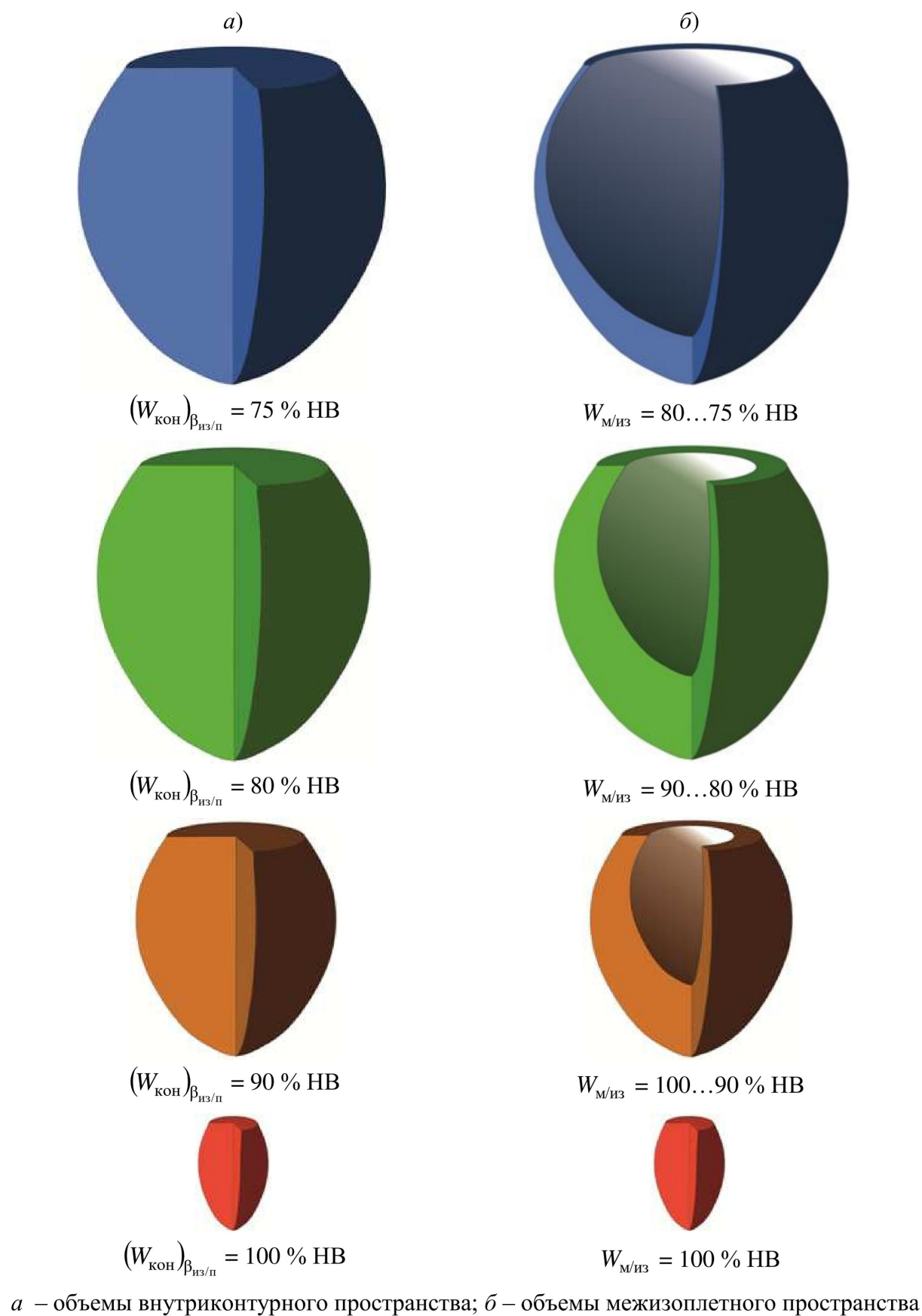


Рисунок 5 – Схемы контуров увлажнения, соответствующие 75, 80, 90 и 100%-му уровню HB, по опытным данным и аппроксимированных

Таблица 1 – Результаты определения объемов контуров по данным авторов

Показатель	75 % от НВ	80 % от НВ	90 % от НВ	100 % от НВ
Глубина контура $h_{\text{кон}}$, м	1,361	1,287	0,935	0,459
По опытным очертаниям				
Средний радиус контура $r_{\text{ср}}$, м	0,557	0,501	0,319	0,075
Площадь контура S , м ²	0,973	0,791	0,320	0,018
Объем контура $W_{\text{кон}}$, м ³	1,324	1,018	0,300	0,008
По аппроксимированным очертаниям				
Объем контура $W_{\text{кон}}$, м ³	1,312	0,953	0,373	0,023

При расчете средневзвешенной влажности почвы в пределах рассматриваемого контура $\bar{\beta}_{\text{кон}}$ по варианту аппроксимации объемы контуров увлажнения и межконтурных пространств определялись аналитически по разработанной методике. При этом соблюдалась нижеприведенная последовательность расчетных операций:

- вычисляется объем контура капельного увлажнения почвы по его ограничивающей поверхности (линии) $W_{\text{кон}}$ в м³ (при $\beta_{\text{м/из}} = 75\% \text{ НВ}$);
- устанавливаются объемы контуров $(W_{\text{кон}})_{\beta_{\text{из/п}}}$, ограниченных изоплетными поверхностями с влажностью, составляющей 100; 90; 80 % $\beta_{\text{НВ}}$;
- определяются объемы внутри- и межизоплетного увлажняемого почвогрунтового пространства W_{100} , W_{100-90} , W_{90-80} и W_{80-75} ;
- назначаются средние значения влажности в пределах внутри- и межизоплетного увлажняемого пространства: $\beta_{\text{м/из}} = 105,0; 95,0; 85,0$ и $77,5\% \text{ НВ}$;
- определяется средневзвешенное (по объему контура $W_{\text{кон}}$) значение влажности почвы во внутриконтурном пространстве (в % НВ):

$$\bar{\beta}_{\text{кон}} = \frac{W_{100} \cdot \beta_{105} + W_{100-90} \cdot \beta_{95} + W_{90-80} \cdot \beta_{85} + W_{80-75} \cdot \beta_{77,5}}{W_{\text{кон}}}.$$

Результаты расчетов влажности почвы $\bar{\beta}_{\text{кон}}$ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет средневзвешенной влажности почвы в пределах внутриконтурного пространства

Расчетный параметр	Значение расчетного параметра по контуру	
	по опытному очертанию	по аппроксимированному очертанию
$W_{\text{кон}}, \text{м}^3$	1,324	1,312
$W_{100}, \text{м}^3$	0,008	0,023
$W_{90}, \text{м}^3$	0,300	0,373
$W_{80}, \text{м}^3$	1,018	0,953
$W_{75}, \text{м}^3$	1,324	1,312
$W_{100}, \text{м}^3$	0,008	0,023
$W_{100-90}, \text{м}^3$	0,292	0,350
$W_{90-80}, \text{м}^3$	0,718	0,580
$W_{80-75}, \text{м}^3$	0,306	0,359
$W_{100} \cdot \beta_{105}$	0,840	2,410
$W_{100-90} \cdot \beta_{95}$	27,740	33,250
$W_{90-80} \cdot \beta_{85}$	61,030	49,300
$W_{80-75} \cdot \beta_{77,5}$	23,720	27,820
$\bar{\beta}_{\text{кон}}, \% \text{ НВ}$	85,600	85,960

Выводы

1 При расчетах поливных норм при капельном поливе сельскохозяйственных угодий, обеспечивающих формирование в почвенном пространстве определенных по геометрическим параметрам и уровню влажности локальных контуров увлажнения, необходимо найти средний уровень влажности во внутриконтурном пространстве. Существующие предложения в этой части разработки технологий и режимов капельного полива сельскохозяйственных культур преимущественно ориентированы на непосредственные измерения, а собственно расчеты проводятся по разным и недостаточно обоснованным методикам, что и предопределяет актуальность поставленной задачи.

2 Предлагаемый методический подход к определению средней (средневзвешенной) влажности почвы во внутриконтурном пространстве предусматривает аппроксимацию очертания контура и положения внутриконтурных изоплет с определенным уровнем влажности, вычисление объ-

емов внутри- и межизоплетного пространства с соответствующей влажностью, расчет влажностно-объемных параметров выделенных зон увлажнения и установление средневзвешенного значения влажности почвы в пределах локального контура капельного увлажнения почвенного пространства.

3 Предлагаемая методика расчета средневзвешенной влажности в пределах локальных контуров увлажнения по аппроксимированным очертаниям изоплет и фактическому их положению позволяет получить высокую сходимость в результатах расчета при минимуме трудозатрат.

Список использованных источников

1 Капельное орошение сои на тяжелосуглинистых почвах / А. В. Шуравилин, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, О. А. Белик // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – М.: РУДН, 2009. – № 3. – С. 21–26.

2 Ясониди, О. Е. Водосбережение при орошении / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004. – 473 с.

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

4 Алексахенко, А. А. Математическое моделирование процессов тепловлагопереноса в почвогрунтах / А. А. Алексахенко // Осушение земель в гумидной зоне СССР: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М.: ВНИИГиМ, 1992. – Т. 84. – С. 11–19.

5 Голованов, А. И. Основы капельного орошения / А. И. Голованов, Е. В. Кузнецов. – Краснодар: КГАУ, 1996. – 96 с.

6 Зейлигер, А. М. Двумерная математическая модель влагопереноса в мелиорируемых почвах / А. М. Зейлигер, Ю. И. Сухарев // Теория и практика комплексного мелиоративного регулирования: сборник. Труды МГМИ. – М.: Наука, 1983. – С. 83–91.

7 Карпенко, О. Н. Капельное орошение роз в теплицах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Карпенко Ольга Николаевна. – Новочеркасск, 1989. – 22 с.

8 Кохно, Н. О. Техника и режим капельного орошения роз в теплицах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Кохно Наталья Олеговна. – Новочеркасск, 2008. – 21 с.

9 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

10 Шумаков, Б. Б. Теоретические и экспериментальные исследования капельного орошения / Б. Б. Шумаков, А. А. Алексахенко, Н. И. Вдовин // Вестник сельскохозяйственной науки. – М., 1978. – № 7. – С. 82–92.

11 Овчинников, А. С. Особенности распространения влаги в контуре увлажнения при капельном орошении / А. С. Овчинников, И. И. Азарьева // Плодородие. – 2010. – № 1. – С. 29–30.

12 Олейник, А. М. Характер формирования контуров увлажнения почвы при капельном орошении / А. М. Олейник, М. К. Гаджиев // Режимы орошения и водопотребление сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1984. – С. 129–133.

13 Торбовский, В. И. Режим и техника капельного орошения малины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Торбовский Василий Иванович. – Новочеркасск, 1992. – 24 с.

14 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. – 27 с.

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

16 Системы капельного орошения: учеб. пособие / М. И. Ромащенко, В. И. Доценко, Д. М. Оноприенко, О. И. Шевелев; под ред. М. И. Ромащенко. – Днепропетровск: Оксамит-текст, 2007. – 175 с.

References

1 Shuravilin A.V., Borodychev V.V., Lytov M.N., Belik O.A., 2009. *Kapelnoye orosheniye soi na tyazhelosuglinistyykh pochvakh* [Drip irrigation of soybean on heavy loamy soils]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the People's Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry]. Moscow, RUDN Publ., no. 3, pp. 21-26. (In Russian).

2 Yasonidi O.Ye., 2004. *Vodoberezhniye pri oroshenii* [Water saving in irrigation]. Novocherkassk, UPC "Nabla" Southern Russia State Technical University (NPI), 473 p. (In Russian).

3 Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapelnoye orosheniye yabloni: monografiya* [Drip irrigation of apple trees: monograph]. Novocherkassk, Lick Publ., 310 p. (In Russian).

4 Aleksashenko A.A., 1992. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov teplovlagoperenosa v pochvogruntakh* [Mathematical modeling of heat and moisture transfer processes in soils]. *Osusheniye zemel v gumidnoy zone SSSR: sb. nauch. tr. VNIIGiM* [Drainage of lands in the humid zone of the USSR: Proceedings VNIIGiM]. Moscow, VNIIGiM Publ., vol. 84, pp. 11-19. (In Russian).

5 Golovanov A.I., Kuznetsov Ye.V., 1996. *Osnovy kapelnogo orosheniya* [Fundamentals of drip irrigation]. Krasnodar, Krasnodar State Agrarian University Publ., 96 p. (In Russian).

6 Zeiliger A.M., Sukharev Yu.I., 1983. *Dvumernaya matematicheskaya model vlagoperenosa v melioriruyemykh pochvakh* [Two-dimensional mathematical model of moisture transfer in irrigated soils]. *Teoriya i praktika kompleksnogo meliorativnogo regulirovaniya: sbornik. Trudy MGMI* [Theory and practice of complex meliorative regulation: Proceedings of MGMI]. Moscow, Nauka Publ., pp. 83-91. (In Russian).

7 Karpenko O.N., 1989. *Kapelnoye orosheniye roz v teplitsakh: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Drip irrigation of roses in greenhouses: abstract of cand. tech. sci. diss.]. Novocherkassk, 22 p. (In Russian).

8 Kokhno N.O., 2008. *Tekhnika i rezhim kapelnogo orosheniya roz v teplitsakh: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Technique and rate of drip irrigation of roses in greenhouses: abstract of cand. tech. sci. diss.]. Novocherkassk, 21 p. (In Russian).

9 Shumakov B.B., 1999. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. Orosheniye: spravochnik* [Land reclamation and water management. Irrigation: reference material]. Moscow, Kolos Publ., 432 p. (In Russian).

10 Shumakov B.B., Aleksashenko A.A., Vdovin N.I., 1978. *Teoreticheskiye i eksperimentalnyye issledovaniya kapelnogo orosheniya* [Theoretical and experimental studies of drip irrigation]. *Vestnik selskokho-zyaystvennoy nauki* [Bulletin of Agricultural Science]. Moscow, no. 7, pp. 82-92. (In Russian).

11 Ovchinnikov A.S., Azareva I.I., 2010. *Osobennosti rasprostraneniya vlagi v konture uvlazhneniya pri kapelnom oroshenii* [Peculiarities of moisture distribution in the humidification contour during drip irrigation]. *Plodorodie* [Fertility], no. 1, pp. 29-30. (In Russian).

12 Oleynik A.M., Gadzhiev M.K., 1984. *Kharakter formirovaniya konturov uvlazhneniya pochvy pri kapelnom oroshenii* [The nature of soil moistening contours formation at drip irrigation]. *Rezhimy orosheniya i vodopotrebleniye selskokhozyaystvennykh kultur na Severnom Kavkaze: sb. nauch. tr. YuzhNIIGiM* [Irrigation regimes and water consumption of crops in the North Caucasus: Proceedings of YuzhNIIGiM]. Novocherkassk, pp. 129-133. (In Russian).

13 Torbovskiy V.I., 1992. *Rezhim i tekhnika kapelnogo orosheniya maliny: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [The regime and technique of drip irrigation of raspberries: abstract of cand. tech. sci. diss.]. Novocherkassk, 24 p. (In Russian).

14 Urzhumova Yu.S., 2004. *Tekhnologicheskiye i konstruktivnyye elementy lokalnogo nizkonapornogo orosheniya sadov dlya usloviy yuzhnykh chernozemov Rostovskoy oblasti: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Technological and constructive elements of local low-pressure irrigation of gardens for of southern chernozems conditions of Rostov region: abstract of cand. tech. sci. diss.]. Novocherkassk, 27 p. (In Russian).

15 Khrabrov M.Yu., 1999. *Raschet rasprostraneniya vlagi v pochve pri kapelnom oroshenii* [Calculation of moisture distribution in soil during drip irrigation]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 4, pp. 34-35. (In Russian).

16 Romashchenko M.I., Dotsenko V.I., Onoprienko D.M., Shevelev O.I., 2007. *Sistemy kapelnogo orosheniya: ucheb. posobiye* [Drip irrigation systems: textbook]. Dnipropetrovsk, Oksamit-text Publ., 175 p. (In Russian).

Рыжак Алексей Николаевич

Должность: 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: xrust.89@bk.ru

Ryzhakov Aleksey Nikolayevich

Position: Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: xrust.89@bk.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