

CHOICE OF THE IRRIGATOR DISPOSITION DEPTH INTO THE MOLE IRRIGATION SYSTEM IN THE LOWER VOLGA REGION

N. Yu. Petrov, E. A. Khodiakov, S. G. Milovanov, K. V. Bondarenko

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Volgograd State Agricultural University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 11.06.2023

Submitted 15.08.2023

Summary

Researches to study the features of mole irrigation technique were carried out in 2022 on the experimental fields of the Educational Research and Production Center of the Volgograd State Agrarian University. «Gornaya Polyana». The article shows the rationale for choosing the depth of the of mole sprinkler location based on the analysis of the features of the moisture contour formation in the soil after irrigation and the assessment of possible water filtration below the active soil layer.

Abstract

Introduction. Currently, in many regions of our planet there is an acute shortage of fresh water for irrigation. In this regard, the most water-saving method of irrigation is subsurface irrigation and, its main variety, mole irrigation. This method of irrigation has all advantages of subsoil irrigation (supply of fertilizers and irrigation water directly to the root system, no evaporation, significant savings of irrigation water) with minimal financial and technical resources for setting up an irrigation network. In this regard, the study of the features of mole irrigation technique has the scientific and practical interest. **Object.** The depth of the irrigators location in the mole irrigation system. **Materials and methods.** Field experiments were carried out in 2022 on light chestnut soils of the Lower Volga region. The purpose of the research was to scientifically and experimentally substantiate the technical parameters of the mole irrigation system. One of the main tasks was to study the nature of the distribution of moisture in the soil and the degree of deep filtration at different depths of molehills. For this, 3 options for the depth of the mole sprinklers location were studied (0.3; 0.4 and 0.5 m) in three zones: water-logging (> 110% of the Lowest moisture capacity), normal (90 ... 110% of the Lowest moisture capacity) and low moisture (75 ... 90% of the Lowest moisture capacity). Such observations were made several times during the irrigation season. The article presents the most typical arrangements of moisture isopleths in the soil profile. The diameter of the molehills was the same in all variants and was within 58...63 mm. The irrigation rate was 200 m³/ha, and the volume of water supply to 1 molehill with its length of 75 m was 2 m³. **Results and conclusions.** The results of the research showed that the depth of mole irrigation systems of 0.3 ... 0.4 m made it possible to more effectively moisten the active soil layer of 0-0.8 m without of deep filtration into layers below 0.8 m, because one day after irrigation the zone of normal moistening was 95.1...99.3% in the active layer, and its boundaries spread from above to a depth of -12...-18 cm and -83...-88 cm from the bottom of the earth's surface. It was also found that the depth of the molehills did not affect the lateral distribution of moisture. The zone of normal moisture, on average, according to the variants of the experiment, extended by 46.0 cm to the left and 44.0 cm to the right, and the zone of low moisture - by 78.7 cm to the left and 65.0 cm to the right of the molehill axis. Therefore, mole sprinklers can be placed under each row of plants if they are at a distance of 1 m or more from each other. This study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Administration of the Volgograd Region under project No. 22-26-20070, <https://rscf.ru/project/22-26-20070>

Key words: mole irrigation, depth of sprinklers location, distance between mole sprinklers, humidification contours, distribution of irrigation water in the soil.

Citation. Petrov N. Yu., Khodiakov E. A., Milovanov S. G., Bondarenko K. V. Choice of the irrigator disposition depth into the mole irrigation system in the lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 3(71). 457-468 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-46.

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 631.67

ОБОСНОВАНИЕ ГЛУБИНЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОРОСИТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ КРОВОТОВОГО ОРОШЕНИЯ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Н. Ю. Петров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Е. А. Ходяков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

С. Г. Милованов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

К. В. Бондаренко, аспирант, младший научный сотрудник

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В настоящее время во многих регионах нашей планеты наблюдается дефицит пресной воды для орошения. В этом плане наиболее водосберегающим способом полива является внутрисочный полив и его основная разновидность кротовое орошение. Данный способ полива обладает всеми достоинствами внутрисочного орошения (подача удобрений и оросительной воды непосредственно в корневую систему, отсутствие испарения, значительная экономия оросительной воды) при минимальных затратах финансовых и технических ресурсов для устройства поливной сети. В связи с этим изучение особенностей техники полива кротовым орошением представляет научный и практический интерес. **Объект.** Глубина расположения оросителей в системе кротового орошения. **Материалы и методы.** Полевые опыты были проведены в 2022 г. на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья. Цель исследований заключалась в научно-экспериментальном обосновании технических параметров конструкции системы кротового орошения. Одной из основных задач являлось изучение характера распределения влаги в почве и степени глубинной фильтрации при разной глубине нарезки кротовин. Для этого были изучены 3 варианта глубины расположения кротовых оросителей – 0,3; 0,4 и 0,5 м по трём зонам: переувлажнения (> 110 % наименьшей влагоёмкости почвы НВ), нормального (90...110 % НВ) и пониженного увлажнения (75...90 % НВ). Такие наблюдения проводили несколько раз в течение поливного сезона. В статье представлены наиболее типичные расположения изоплет влажности в почвенном профиле. Диаметр кротовых оросителей был одинаковым на всех вариантах и находился в пределах 58...63 мм. Поливная норма составляла 200 м³/га, а объём водоподачи в 1 кротовину при её длине 75 м – 2 м³. **Результаты и выводы.** Результаты исследований показали, что глубина расположения кротовых оросителей 0,3...0,4 м позволила более эффективно увлажнить активный слой почвы 0-0,8 м, при отсутствии глубинной фильтрации в слое ниже 0,8 м, так как на этих вариантах на следующий день после полива зона нормального увлажнения на 95,1...99,3 % находилась в активном слое, а её границы распространились сверху до глубины -12...-18 см и -83...-88 см снизу от поверхности земли. Также было установлено, что глубина нарезки кротовин не оказывала влияния на боковое распространение влаги. Зона нормального увлажнения в среднем по вариантам опыта распространялась на 46,0 см влево и 44,0 см вправо, а зона пониженного увлажнения – на 78,7 см влево и 65,0 см вправо от оси кротовины. Следовательно, кротовые оросители можно располагать под каждым рядом растений, если они находятся на расстоянии 1 м и более друг от друга. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области по проекту №22-26-20070, <https://rscf.ru/project/22-26-20070>.

Ключевые слова: кротовое орошение, глубина расположения оросителей, контуры увлажнения, распределение оросительной воды, технологии орошения.

Цитирование. Петров Н. Ю., Ходяков Е. А., Милованов С. Г., Бондаренко К. В. Обоснование глубины расположения оросителей в системе кротового орошения в Нижнем Поволжье. *Известия НВ АУК*. 2023. 3(71). 457-468. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-46.

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. Сегодня во многих регионах нашей планеты наблюдается дефицит пресной воды, в том числе для нужд орошения различных сельскохозяйственных культур. Это накладывает определённые требования к используемым способам полива и вынуждает отыскивать более ресурсосберегающие. Внутрипочвенное орошение (ВПО) является наиболее водосберегающим способом, однако ВПО сельскохозяйственных культур имеет довольно узкую область применения. Из-за значительных капитальных вложений для строительства оросительного участка оно применяется только для полива садов, виноградников, и реже для выращивания кормовых культур. Но в то же время проведённые в Волгоградском государственном аграрном университете многолетние исследования по изучению особенностей внутрипочвенного полива различных овощных культур [1, 7, 14] показали, что этот способ полива может свободно конкурировать с дождеванием и капельным орошением, а также быть рентабельным, несмотря на высокие начальные затраты на ввод участка в эксплуатацию.

Одной из наиболее перспективных разновидностей внутрипочвенного способа полива является кротовое внутрипочвенное орошение (КВПО). Этот способ не требует капитального строительства, за счёт чего начальные затраты сводятся к минимуму.

В Российской Федерации КВПО изучено слабо, в основном его использовали для полива животноводческими стоками [2], полива виноградников на склоновых землях [3] и как дополнительный способ полива угловых участков поля с дождевальной машиной "Фрегат" [5]. За рубежом кротовое орошение исследовали в Узбекистане [4, 6], Иране [3], Аргентине [5], Китае [6], Бразилии [4], Нидерландах [10] Австралии [16], США [9], Ирландии [8], Египте [13] и Канаде [17].

На светло-каштановых почвах Волгоградской области, как наиболее типичной для Нижнего Поволжья, кротовое орошение изучается впервые, поэтому одной из основных задач стояло изучение особенностей распространения влаги в почвенном профиле при использовании данного способа полива.

Материалы и методы. Опытный участок, находится в междуречье Волги и Дона. Климат в этом регионе резко континентальный. Лето – жаркое, сухое с практически полным отсутствием дождей в июле и августе. Зима – холодная, малоснежная. В статье приведены результаты полевых опытов, выполненных в Учебном научно-производственном центре «Горная Поляна» Волгоградского государственного аграрного университета, выполненных в 2022 году. Проведённые исследования являются базовой частью (начальным этапом) многолетних полевых опытов по разработке системы кротового орошения для выращивания технических (на примере хлопчатника) и зернобобовых культур (на примере сои).

Почвы участка – типичные для Нижнего Поволжья светло-каштановые, средне- и тяжёлосуглинистые. Грунтовые воды находились на глубине более 3-х метров, поэтому они не оказывали влияния на водно-воздушный режим активного слоя почвы и наблюдения за ними не проводились.

В представленной статье показаны результаты полевых опытов, позволяющих определить оптимальную глубину расположения кротовых оросителей для наиболее эффективного распределения оросительной воды в почвенном разрезе без глубинной фильтрации ниже активного слоя почвы (0,8 м для технических культур и многолетних трав).

В наших опытах были изучены 3 варианта глубины расположения кротовин: 0,3, 0,4 и 0,5 м. Все кротовины нарезались с помощью стойки-ножа с передней режущей кромкой (рисунок 1) и уширителем конусо-параболической формы (рисунок 2).

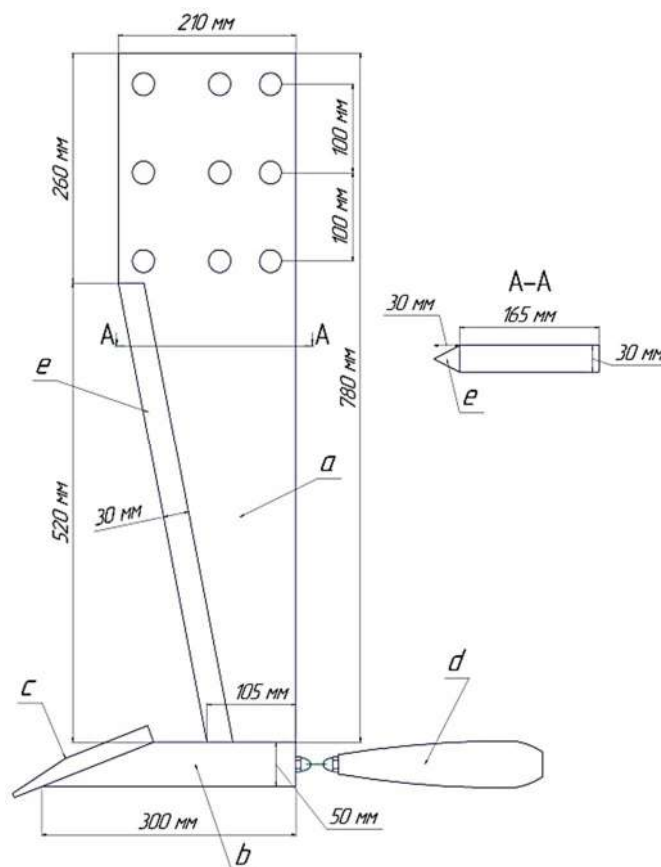


Рисунок 1 – Рабочий орган кротователя: а – стойка, б – дренир, с – долото, д – уширитель конусо-параболической формы, е – передняя режущая кромка

Figure 1 – The working body of the mole maker: a – stand, b – drainer, c – chisel, d – cone-parabolic flare, e – front cutting edge

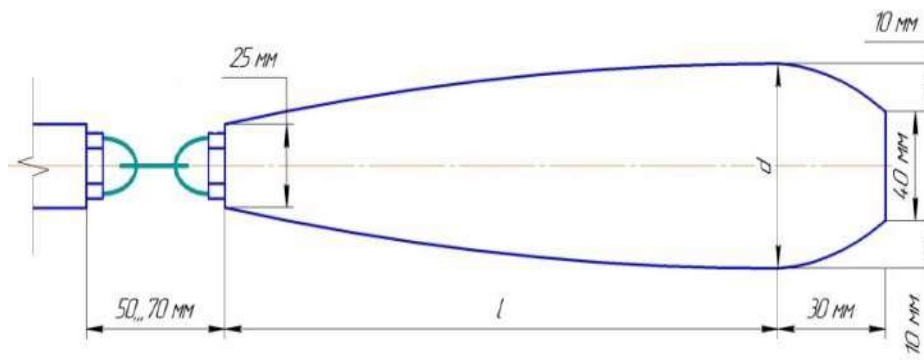


Рисунок 2 – Уширитель для кротователя конусо-параболической формы

Figure 2 – Expander for the mole maker of a cone-parabolic shape

Диаметр кротовых оросителей был одинаковым на всех вариантах и составлял 58...63 мм. Поливная норма составляла 200 м³/га, а объем водоподачи в 1 кротовину при её длине 75 м – 2 м³.

Контуры увлажнения определяли с помощью термостатно-весового метода на следующий день после полива. Отбор проб проводили вправо и влево от оси кротовины на расстояние 1 м с шагом 10 см и на глубину до 1 м с таким же шагом.

Наблюдения проводили регулярно в течение полевого опыта в 2022 г. В статье представлены наиболее типичные расположения изоплет влажности в почвенном разрезе. Математическую обработку полученных результатов и построение изоплет влажности почвы проводили с помощью «Microsoft Excel 2010» и «Surfer 12».

Результаты и обсуждение. После построения изоплет влажности почвы по вариантам опыта (рисунки 3-5) мы оценивали эффективность распределения оросительной воды по почвенному срезу.

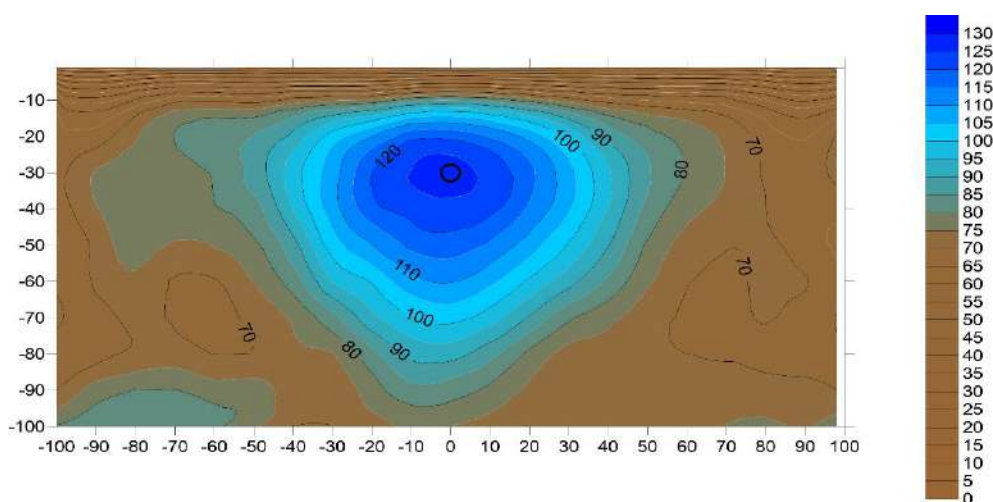


Рисунок 3 – Изоплеты влажности почвы (% НВ) при глубине расположения кротовых оросителей 0,3 м

Figure 3 – Soil moisture isopleths (% FMC) at a mole irrigator depth of 0.3 m

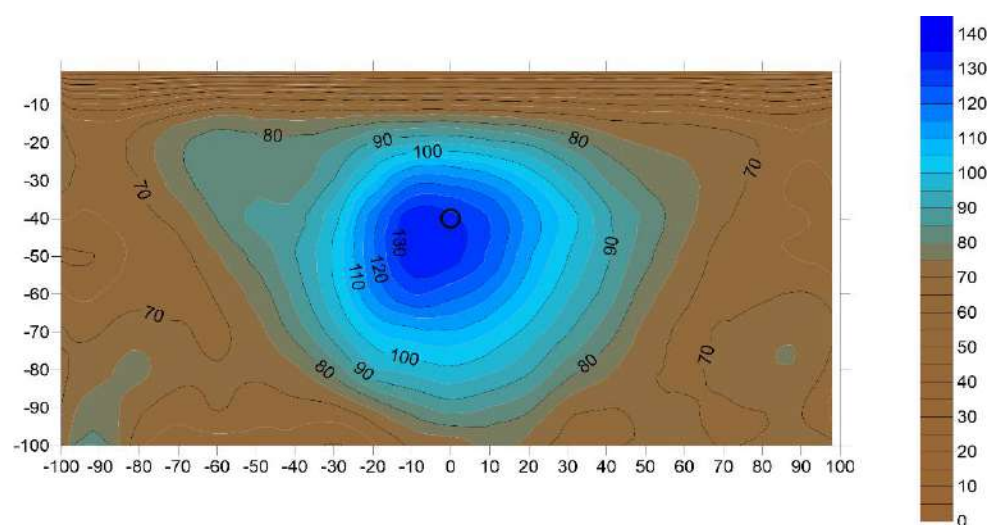


Рисунок 4 – Изоплеты влажности почвы (% НВ) при глубине расположения кротовых оросителей 0,4 м

Figure 4 – Soil moisture isopleths (% FMC) at a mole irrigator depth of 0.4 m

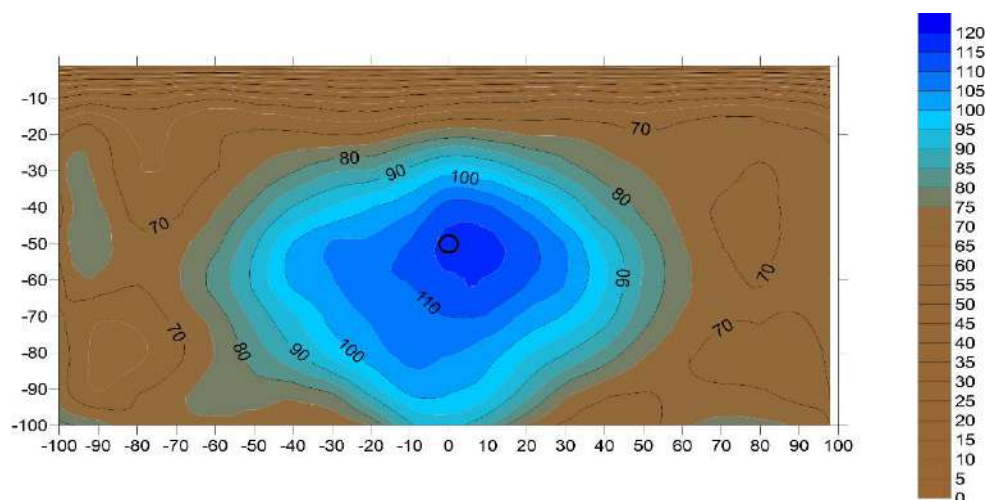


Рисунок 5 – Изоплеты влажности почвы (% НВ) при глубине расположения кротовых оросителей 0,5 м

Figure 5 – Soil moisture isopleths (% FMC) at a mole irrigator depth of 0.5 m

Для удобства было выделено 3 зоны с различной степенью увлажнения:

- Зона переувлажнения (> 110 % НВ);
- Зона нормального увлажнения (90...110 % НВ);
- Зона пониженного увлажнения (75...90 % НВ).

Границы этих зон отчётливо демонстрируют характер увлажнения почвы в зависимости от глубины расположения кротовых оросителей. Внешние границы зон увлажнения по вариантам опыта показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Внешние границы зон увлажнения почвы при разной глубине расположения кротовых оросителей

Table 1 – External boundaries of soil moisture zones at different depths of mole irrigation

Глубина расположения кротовых оросителей, м	Выше кротовины, см от поверхности земли	Ниже кротовины, см от поверхности земли	Слева от кротовины, см от её оси	Справа от кротовины, см от её оси
Внешняя граница зоны переувлажнения (расположение изоплеты 110 % НВ)				
0,3	- 17	- 61	- 28	26
0,4	- 26	- 70	- 25	23
0,5	- 38	- 70	- 15	24
Внешняя граница зоны нормального увлажнения (расположение изоплеты 90 % НВ)				
0,3	- 12	- 83	- 47	45
0,4	- 18	- 88	- 40	42
0,5	- 26	- 102	- 51	45
Внешняя граница зоны пониженного увлажнения (расположение изоплеты 75 % НВ)				
0,3	- 9	- 101	- 91	68
0,4	- 13	- 103	- 76	64
0,5	- 19	- 111	- 69	63

Результаты полевых опытов показали, что на варианте опыта с глубиной расположения увлажнителей 0,3 м зона переувлажнения выше кротовины на следующий день после полива достигла отметки – 17 см от поверхности земли, а ниже опустилась до отметки – 61 см. Влево и вправо от оси оросителя эта зона распространилась на 28 и 26 см соответственно. Зона нормального увлажнения сверху кротовины не поднялась выше отметки – 12 см от поверхности почвы, а снизу опустилась до – 83 см. В стороны

от кротовины зона с влажностью почвы 90...110 % НВ распространилась на 47 см влево и на 45 см вправо. Зона пониженного увлажнения сверху и снизу кротовины достигла отметок – 9 и – 101 см от поверхности земли соответственно. Слева от увлажнителя граница этой зоны находилась на расстоянии 91 см, а справа – 68 см.

Аналогичным образом в таблице показаны границы зон увлажнения на оставшихся вариантах расположения оросителей по глубине.

Оценка изменения влажности почвы вокруг оросителей показала, что распространение контуров увлажнения (вверх, вниз, влево и вправо от кротовины) на всех вариантах глубины расположения оросителей было примерно одинаковым. При глубине увлажнителей 0,3...0,5 м зона переувлажнения распространялась на 12...14 см вверх, 20...21 см вниз, 15...28 см влево и 23...26 см вправо. Внешние границы зоны нормального увлажнения от кротовины находились на расстоянии 18...24 см вверх, 48...53 см вниз, 40...51 см влево и 42...45 см вправо. Зона с влажностью почвы 75...90 % НВ распространилась на 21...31 см вверх, 61...71 см вниз, 69...91 см влево и 63...68 см вправо от увлажнителя.

С увеличением глубины расположения оросителей от 0,3 до 0,5 м верхние и нижние границы зон увлажнения смещались в более глубокие слои почвы. Так верхняя граница зоны переувлажнения на следующий день после полива смещалась от отметки – 17 до – 38 см или на 21 см вглубь почвы, а нижняя от – 61 до – 70 см или на 9 см. Верхняя и нижняя границы зоны нормального увлажнения сдвигались вглубь от отметки – 12 до – 26 и от – 83 до – 102 см или на 14 и 19 см соответственно. Зона пониженного увлажнения так же смещалась от отметки – 9 до – 19 см по верхней границе и от 101 до 111 см по нижней границе или на 10 см в нижележащие горизонты.

Увеличение влажности почвы вниз до внешней границы зоны переувлажнения почвы в среднем было в 2,1 раза больше, чем вверх. У зоны нормального увлажнения эти расстояния отличались в 2,4 раза, а у зоны пониженного увлажнения в 2,6 раза.

Такая динамика контуров увлажнения вызывала соответствующее изменение площадей изучаемых зон (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение площади зон увлажнения почвы в зависимости от диаметра кротовых оросителей

Table 2 – Change in the area of soil moisture zones depending on the diameter of mole irrigators

Глубина нарезки кро- товых ороси- телей, м	Зона переувлажне- ния (> 110 % НВ)		Зона нормаль- ного увлажне- ния (90...110 % НВ)		Зона понижен- ного увлажне- ния (75...90 % НВ)		Вся зона увлажнения, см ² (> 75 % НВ)
	см ²	%	см ²	%	см ²	%	
0,3	1542	19,7	2747	35,2	3522	45,1	7811
0,4	1721	18,9	3014	33,0	4388	48,1	9123
0,5	1830	17,0	4273	39,7	4665	43,3	10768

При возрастании глубины нарезки кротовых оросителей от 0,3 до 0,5 м площадь зоны переувлажнения (> 110 % НВ) постепенно возрастала от 1542 до 1830, зоны нормального увлажнения (90...110 % НВ) – от 2747 до 4273, зоны пониженного увлажнения (75...90 % НВ) – от 3522 до 4665 см². В результате, общая площадь зоны увлажнения увеличилась от 7811 до 10768 см². Несмотря на то, что в абсолютных значениях площади зон увлажнения возрастали, в процентном соотношении они существенно не изменялись. Так, зона переувлажнения составляла 17,0...19,7 % от всей зоны увлажнения, нормального – 33,0...39,7 %, а пониженного – 43,3...48,1 %.

Распределение зон увлажнения в почвенном разрезе (таблица 3) показало, что на всех вариантах опыта на следующий день после полива зона переувлажнения полностью оставалась в пределах активного слоя почвы. Перемещение влаги в почве зоны нормального увлажнения на глубине укладки оросителей 0,3...0,4 м ниже активного слоя почвы было незначительным, поскольку оно не превышало 5 %. При возрастании глубины до 0,5 м перемещение влаги в почве составляло 16,5 %, то есть наблюдалась глубинная фильтрация в нижележащие горизонты. Зона пониженного увлажнения распространялась значительно ниже активного слоя почвы 8,5-22,8 %, что значительно превышало 5 % предел.

Анализ распространения контуров в стороны от кротовины в зависимости от глубины расположения оросителей позволил установить, что значительных различий здесь не наблюдалось. Зона переувлажнения при глубине 0,3 м распространилась на 28 см влево и на 26 см вправо от оси кротовины, на варианте с глубиной 0,4 м – на 25 см влево и на 23 см вправо, а при глубине 0,5 м – на 15 см влево и на 24 см вправо. Граница зоны нормального увлажнения при глубине расположения кротовин 0,3, 0,4 и 0,5 м слева находилась от увлажнителя на расстоянии 47, 40 и 51 см, а справа – 45, 42 и 45 см соответственно. Зона пониженного увлажнения по вариантам опыта распространилась на 91, 76 и 69 см влево и 68, 64 и 63 см вправо.

Таблица 3 – Распределение зон увлажнения в почвенном разрезе, %

Table 3 – Distribution of moisture zones in the soil section, %

Глубина расположения кротовых оросителей, м	Зона переувлажнения (> 110 % НВ)	Зона нормального увлажнения (90...110 % НВ)	Зона пониженного увлажнения (75...90 % НВ)
В активном слое почвы (0-0,8 м)			
0,3	100	99,3	91,5
0,4	100	95,1	88,6
0,5	100	83,5	77,2
На глубине более 0,8 м			
0,3	0	0,7	8,5
0,4	0	4,9	11,4
0,5	0	16,5	22,8

По значениям глубины нарезки кротовых оросителей и соответствующих им площадям зон увлажнения был проведён дисперсионный анализ, в котором рассматривались две гипотезы:

- гипотеза H_0 (нулевая гипотеза) глубина расположения кротовых оросителей не влияет на площадь зон увлажнения, формирующих контур увлажнения вокруг них.

- гипотеза А (альтернативная гипотеза) глубина расположения кротовых оросителей влияет на площадь зон увлажнения, формирующих контур увлажнения вокруг них.

В результате данного анализа $f_{набл}$ составило 13,91, которое мы сравнили с табличным значением распределения Фишера-Снедекора $f_{кр}$ для уровня значимости $\alpha=0.05$, чисел степеней свободы 2 и 6, составившее 5,14.

В связи с тем, что $f_{набл} > f_{кр}$, нулевую гипотезу отвергаем и принимаем альтернативную гипотезу о существенном влиянии фактора на результаты экспериментов, которая гласит, что глубина расположения кротовых оросителей влияет на площадь зон увлажнения формирующих контур распространения влаги после полива вокруг них.

Также статистическая обработка результатов исследований позволила выразить зависимость между зоной увлажнения (X) и площадью увлажнения (Y) в виде уравнения множественной регрессии: $Y = 8689,5 - 62,35X$. Статистическая значимость уравне-

ния проверена с помощью критерия Фишера и коэффициента детерминации (R^2), который составлял 0,795, что говорит нам о том, что полученная модель достаточно достоверно описывает исходные данные (т. к. $0,6 < |R^2| < 0,8$).

Установлено, что в исследуемой ситуации 79,5 % общей вариабельности Y (площадь увлажнения) объясняется изменением факторов X (зона увлажнения). Установлено также, что параметры модели статистически значимы.

Если рассмотреть контур увлажнения (площадь увлажнения), как функцию от рассматриваемой зоны увлажнения (влажность почвы, приняв 100 % НВ за единицу) и глубины расположения кротового оросителя, то эту поверхность регрессии можно изобразить в виде представленного графика и уравнения.

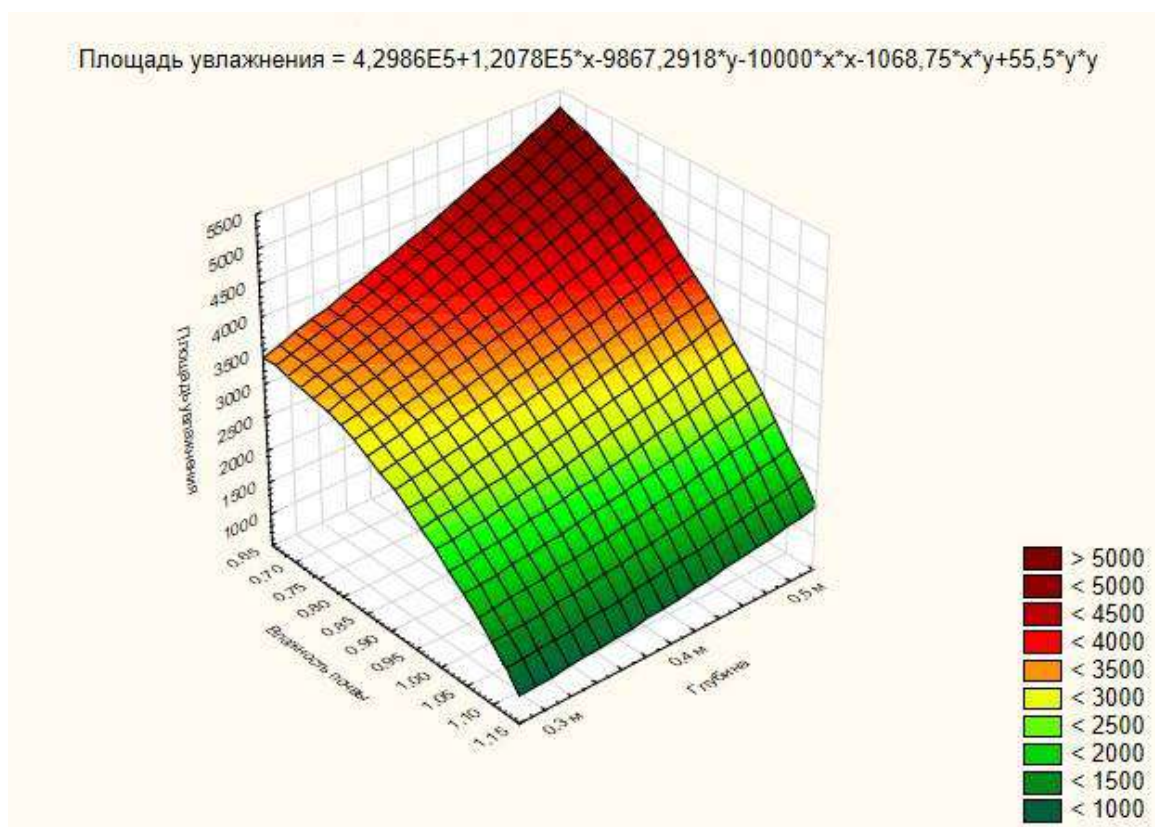


Рисунок 6 – График поверхности для площади увлажнения (cm^2), глубины нарезки кротовых оросителей (м) и влажности почвы (в долях ед. от НВ)

Figure 6 – Surface plot for wet area (cm^2), cutting depth of mole irrigators (m) and soil moisture (in units of FMC)

Выводы. Таким образом, проведённые исследования на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья в 2022 г. показали, что наиболее эффективной глубиной расположения кротовых оросителей является 0,3-0,4 м. Такая глубина позволила более эффективно увлажнить активный слой почвы 0-0,8 м, при отсутствии глубинной фильтрации в слое ниже 0,8 м, так как на этих вариантах на следующий день после полива зона нормального увлажнения (90...110 % НВ) на 99,3...95,1 % находилась в активном слое, а её границы распространились сверху до глубины -12...-18 см и -83...-88 см снизу от поверхности земли.

При глубине расположения кротовых оросителей 0,5 м зона нормального увлажнения (90...110 % НВ) на 83,5 % оставалась в активном слое почвы, а границы этой зоны сверху кротовины находились на глубине -26 см и снизу – на глубине -102 см от поверхности земли. В результате 16,5 % оросительной воды этой зоны находилось ниже активного слоя почвы.

Также в наших исследованиях было установлено, что глубина расположения кротовых оросителей на боковое распространение контура увлажнения влияния не оказывала. Зона нормального увлажнения (90...110 % НВ) в среднем по вариантам опыта распространялась на 46,0 см влево и 44,0 см вправо, а зона пониженного увлажнения (75...90 % НВ) – на 78,7 см влево и 65,0 см вправо от оси кротовины. Следовательно, кротовые оросители можно располагать под каждым рядом растений, если они находятся на расстоянии 1 м и более друг от друга.

Conclusions. Thus, studies conducted on light chestnut soils of the Lower Volga region in 2022 showed that the most effective depth of mole sprinklers is 0.3...0.4 m. This depth made it possible to more effectively moisten the active soil layer 0-0.8 m, in the absence of deep filtration into layers below 0.8 m, since in these options, the next day after irrigation, the zone of normal moisture (90...110% of the Lowest moisture capacity) was 99.3...95.1% in the active layer, and its boundaries spread from above to a depth of -12...-18 cm and -83...-88 cm from below the surface of the earth.

When the mole sprinklers were located at a depth of 0.5 m, the zone of normal moisture (90...110% of the Lowest moisture capacity) remained 83.5% in the active soil layer, and the boundaries of this zone above the molehill were at a depth of -26 cm and below - at a depth of -102 cm from the surface of the earth. As a result, 16.5% of the irrigation water in this zone was below the active soil layer.

Our studies also found that the depth of the mole sprinklers had no effect on the lateral spread of the humidification circuit. The zone of normal moisture (90...110% of the Lowest moisture capacity) on average for the experimental variants extended 46.0 cm to the left and 44.0 cm to the right, and the zone of reduced moisture (75...90% of the Lowest moisture capacity) - 78.7 cm to the left and 65.0 cm to the right from the axis of the molehill. Therefore, mole sprinklers can be placed under each row of plants if they are located at a distance of 1 m or more from each other.

Библиографический список

1. Ахмедов А. Д. Метод определения основных параметров системы внутриводочного орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 275-283.
2. Гостищев Д. П., Рогозина Ю. С. Использование животноводческих стоков при кротово-внутриводочном орошении // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии и техника орошения. Новочеркасск: "Радуга", 2004. С. 142-145.
3. Зербалиев А. М. Внутриводочное орошение как способ защиты земель от водной эрозии почв // Вестник Дагестанского государственного технического университета. 2005. № 11. С. 162-166.
4. Исакова З. Х. Полив хлопчатника по кротовинам // European research. Иваново: Олимп, 2017. № 4 (27). С. 17-19.
5. Коломыца В. А. Изучение питательного режима почвы при возделывании кукурузы на зерно комбинированным способом орошения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. 2005. № 13. С. 61-64.
6. Хатамов Б. А., Нажмитдинова Г. Р. Эффективность орошения хлопка через искусственные трубы // Точная наука. Кемерово: ИП Никитин И. А., 2021. № 118. С. 26-29.
7. Akhmedov A. D., Dzhamaletdinova E. E., Zasimov A. E. Water-saving irrigation regimes for vegetable crop production under conditions of Volga-Don interfluvium // RUDN journal of Agronomy and animal industries. 2018. V. 13. № 3. Pp. 185-193.
8. Christena E. W., Spoorb G. Improving mole drainage channel stability in irrigated areas // Agricultural water management. 2001. V. 3 (48). Pp. 239-253.
9. Development of subsurface drainage systems: Discharge – retention – recharge / J. A. Wit, C. J. Ritsema, J. C. Dam, G. A. Eertwegh, R. P. Bartholomeus // Agricultural water management. 2022. V. 269. N. 107677.
10. Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of summer maize (*Zea mays* L.) in subsurface drainage system / G. Feng, Z. Zhang, C. Wan, P. Lu, A. Bakour // Agricultural water management. 2017. V. 193. Pp. 205-213.
11. Hydraulic performance of mole drains and validation of steady-state drainage spacing equations for Mollisols / G. F. Camussia, S. Imhoffa, D. L. Antilleb, R. P. Marano // Soil and Tillage Research. 2022. V. 223. N. 105448.

12. Jafari S., Bazrekar H. Relationship between drainage composition and clay minerals evolution under heavily irrigated sugarcane cultivation in southwest Iran // CATENA. 2022. V. 213. N. 106088.
13. Lemly A. D. Agriculture and wildlife: ecological implications of subsurface irrigation drainage // Journal of Arid Environments. 1994. V. 2 (28). Pp. 58-94.
14. Management of the water regime of soil to increase the vegetable crops yield with different irrigation methods in the south of Russia / E. A. Khodyakov, A. D. Akhmedov, E. P. Borovoy, K. V. Bondarenko, S. G. Milovanov // E3S Web of Conferences International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic". 2021. V. 282. N. 05001.
15. Muhammada E. S., Ibrahim M. M., El-Sayed A. Effects of drain depth on crop yields and salinity in subsurface drainage in Nile Delta of Egypt // Ain Shams Engineering Journal. 2021. V. 2 (12). Pp. 1595-1606.
16. Numerical simulation of water flow in tile and mole drainage systems / V. Filipovićabc, F. J. Kochem, Y. Coquetc, J. Simunek // Agricultural water management. 2014. V. 146. Pp. 105-114.
17. Rodgersa M., Mulqueenb J., McHalea J. A model study of mole drain spacing and performance // Agricultural water management. 2003. V. 1 (60). Pp. 33-42.
18. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model / H. L. Liu, J. Y. Yang, C. S. Tan, C. F. Drury, W. D. Reynolds, T. Q. Zhang, Y. L. Bai, J. Jin, P. He, G. Hoogenboom // Agricultural water management. 2011. V. 6 (98). Pp. 1105-1111.

References

1. Akhmedov A. D. Method of determining the main parameters of the internal irrigation system // Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: science and higher professional education. 2018. № 2 (50). Pp. 275-283.
2. Gostishchev D. P., Rogozin Yu. S. Use of livestock effluents in mole-in-soil irrigation // Resource-saving environmentally friendly technologies and irrigation techniques. Novochoerkassk: "Rainbow," 2004. Pp. 142-145.
3. Zerbaliyev A. M. Internal irrigation as a way to protect land from water erosion of soils // Bulletin of Dagestan State Technical University. 2005. № 11. Pp. 162-166.
4. Isakova Z. Kh. Watering cotton on moles // European research. Ivanovo: Olympus, 2017. № 4 (27). Pp. 17-19.
5. Kolomytsya V. A. Study of the nutritional regime of the soil during the cultivation of corn for grain by a combined irrigation method // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban GAU. 2005. № 13. Pp. 61-64.
6. Khatamov B. A., Nazhmitdinova G. R. Efficiency of cotton irrigation through artificial pipes // Exact science. Kemerovo: IP Nikitin I. A., 2021. № 118. Pp. 26-29.
7. Akhmedov A. D., Dzhamaletdinova E. E., Zasimov A. E. Water-saving irrigation regimes for vegetable crop production under conditions of Volga-Don interfluvium // RUDN journal of Agronomy and animal industries. 2018. V. 13. № 3. Pp. 185-193.
8. Christena E. W., Spoorb G. Improving mole drainage channel stability in irrigated areas // Agricultural water management. 2001. V. 3 (48). Pp. 239-253.
9. Development of subsurface drainage systems: Discharge – retention – recharge / J. A. Wit, C. J. Ritsema, J. C. Dam, G. A. Eertwegh, R. P. Bartholomeus // Agricultural water management. 2022. V. 269. N. 107677.
10. Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of summer maize (*Zea mays* L.) in subsurface drainage system / G. Feng, Z. Zhang, C. Wan, P. Lu, A. Bakour // Agricultural water management. 2017. V. 193. Pp. 205-213.
11. Hydraulic performance of mole drains and validation of steady-state drainage spacing equations for Mollisols / G. F. Camussia, S. Imhoffa, D. L. Antilleb, R. P. Marano // Soil and Tillage Research. 2022. V. 223. N. 105448.

12. Jafari S., Bazrekar H. Relationship between drainage composition and clay minerals evolution under heavily irrigated sugarcane cultivation in southwest Iran // CATENA. 2022. V. 213. N. 106088.
13. Lemly A. D. Agriculture and wildlife: ecological implications of subsurface irrigation drainage // Journal of Arid Environments. 1994. V. 2 (28). Pp. 58-94.
14. Management of the water regime of soil to increase the vegetable crops yield with different irrigation methods in the south of Russia / E. A. Khodyakov, A. D. Akhmedov, E. P. Borovoy, K. V. Bondarenko, S. G. Milovanov // E3S Web of Conferences International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic". 2021. V. 282. N. 05001.
15. Muhammada E. S., Ibrahim M. M., El-Sayed A. Effects of drain depth on crop yields and salinity in subsurface drainage in Nile Delta of Egypt // Ain Shams Engineering Journal. 2021. V. 2 (12). Pp. 1595-1606.
16. Numerical simulation of water flow in tile and mole drainage systems / V. Filipovićabc, F. J. Kochem, Y. Coquetc, J. Simunek // Agricultural water management. 2014. V. 146. Pp. 105-114.
17. Rodgersa M., Mulqueenb J., McHalea J. A model study of mole drain spacing and performance // Agricultural water management. 2003. V. 1 (60). Pp. 33-42.
18. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model / H. L. Liu, J. Y. Yang, C. S. Tan, C. F. Drury, W. D. Reynolds, T. Q. Zhang, Y. L. Bai, J. Jin, P. He, G. Hoogenboom // Agricultural water management. 2011. V. 6 (98). Pp. 1105-1111.

Информация об авторах

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Технология хранения и переработки сельскохозяйственного сырья и общественное питание», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, Волгоград, пр. Университетский, д. 26), тел. 8 (8442) 41-10-79, e-mail: n.petrov@volgau.com

Ходяков Евгений Алексеевич, доктор с.-х. наук, профессор кафедры «Мелиорация земель и КИВР», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2213-7860>, e-mail: E419829@yandex.ru

Милованов Сергей Геннадьевич, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник Центра оросительной мелиорации и испытания дождевальной техники НИИ перспективных исследований и инноваций в АПК, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3916-2619>, e-mail: redas008@mail.ru

Бондаренко Кирилл Владимирович, аспирант, младший научный сотрудник Центра оросительной мелиорации и испытания дождевальной техники НИИ перспективных исследований и инноваций в АПК, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: kirill-bondarenko-1995@mail.ru

Authors Information

Petrov Nikolay Yuryevich, Professor of the Department "Technology of Storage and Processing of Agricultural Raw Materials and Public Catering", Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Ave., Volgograd, 400002), Doctor of Agricultural Sciences, Professor, tel. 8 (8442) 41-10-79, e-mail: n.petrov@volgau.com

Khodyakov Evgeny Alekseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Land Reclamation and Civil Water Reclamation, Volgograd State Agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2213-7860>, e-mail: E419829@yandex.ru

Milovanov Sergey Gennadievich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher at the Center for Irrigation Reclamation and Testing of Sprinkler Equipment of the Research Institute for Advanced Research and Innovation in the Agroindustrial Complex of the Volgograd State Agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3916-2619>, e-mail: redas008@mail.ru

Bondarenko Kirill Vladimirovich, PhD student, junior researcher at the Center for Irrigation Reclamation and Testing of Sprinkler Equipment of the Research Institute for Advanced Research and Innovation in the Agroindustrial Complex of the Volgograd State Agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: kirill-bondarenko-1995@mail.ru