

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА / MELIORATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ КРОВОГО ПОЛИВА В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Научная статья

Ходяков Е.А.¹, Петров Н.Ю.², Милованов С.Г.³, Бондаренко К.В.^{4,*}^{1, 2, 3, 4} Волгоградский Государственный Аграрный Университет, Волгоград, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kirill-bondarenko-1995[at]mail.ru)

Аннотация

В статье представлены результаты исследований по изучению особенностей кротового полива, проведённых в Волгоградском ГАУ на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья в 2022 г. Такой ресурсосберегающий способ полива как кротовое орошение имеет большую перспективу, так как поливная сеть при кротовом орошении представляет из себя сеть ежегодно нарезаемых специальным рабочим органом почвенных труб – кротовых оросителей на глубине 0,4-0,5 м при минимальных затратах для создания поливной сети. Одной из центральных задач исследований являлось изучение закономерностей изменения режима работы кротовых оросителей в процессе распределения влаги в почве при подаче поливных норм 100, 200 и 300 м³/га. В результате было установлено, что создаваемый напор по всей длине кротовых оросителей независимо от величины поливных норм был равномерным. При постепенном возрастании поливных норм объём водоподдачи в 1 кротовину и продолжительность полива возрастали, а средний расход в 1 кротовину и на 1 га снижались. Также было установлено, что при аналогичном увеличении поливных норм контур кротового увлажнения почвы, равномерно распределяясь вправо и влево от оси кротового оросителя, значительно вытягивался вниз. Полученные результаты необходимо учитывать при проведении полива данным способом, чтобы не допустить потерь воды и нанесения экологического вреда за счёт фильтрации воды в нижележащие горизонты почвы.

Ключевые слова: технология кротового орошения, равномерность увлажнения, поливные нормы, контура кротового увлажнения почвы.

DETERMINATION OF THE MAIN ELEMENTS OF MOLE IRRIGATION TECHNOLOGY IN THE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

Research article

Khodiakov E.A.¹, Petrov N.Y.², Milovanov S.G.³, Bondarenko K.V.^{4,*}^{1, 2, 3, 4} Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

* Corresponding author (kirill-bondarenko-1995[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of research on studying the specifics of mole irrigation, conducted in Volgograd State Agricultural University on light-chestnut soils of the Lower Volga region in 2022. Such a resource-saving method of irrigation as mole irrigation has great prospects, as the irrigation network under mole irrigation is a network of annually cut by a special working body of soil pipes – mole irrigators at a depth of 0.4-0.5 m at minimal cost for the creation of an irrigation network. One of the central tasks of the research was to study the regularities of changes in the mode of operation of mole irrigators in the process of moisture distribution in the soil at irrigation rates of 100, 200 and 300 m³/ha. As a result, it was established that the created pressure along the entire length of mole irrigators regardless of the value of irrigation rates was uniform. At gradual increase of irrigation rates, the volume of water supply to 1 mole and duration of irrigation increased, and the average flow rate to 1 mole and per 1 ha decreased. It was also found that at similar increase of irrigation rates the contour of mole soil moistening, evenly distributed to the right and left from the axis of mole irrigation, was significantly stretched downwards. The obtained results should be taken into account when conducting irrigation by this method in order to prevent water losses and environmental damage due to water filtration into the underlying soil horizons.

Keywords: mole irrigation technology, moisture evenness, irrigation rates, mole soil moistening contours.

Введение

Кротовое орошение является разновидностью внутрипочвенного полива. Поливная сеть при кротовом орошении представляет из себя сеть ежегодно нарезаемых с помощью специального рабочего органа почвенных труб – кротовых оросителей (см. рис. 1). Обладая всеми достоинствами внутрипочвенного полива этот способ не требует капитального строительства орошаемого участка, в результате чего затраты на поливную сеть снижаются к минимуму. В связи с этим кротовый способ полива имеет большую перспективу развития по всему миру, поэтому изучением особенностей данного способа орошения занимаются во множестве стран на всех континентах. В Европе такие исследования проводятся в Португалии [1], Великобритании [2], Ирландии [3] и Нидерландах [4], в азиатской части Евразии – в Узбекистане [5], Таиланде [6], Иране [7] и Китае [8], на Африканском континенте – в Египте [9], в Северной Америке – в США [10] и Канаде [11], а в Южной – в Бразилии [12] и Аргентине [13]. Данным вопросом занимаются учёные и из Австралии [14].



Рисунок 1 - Кротовый ороситель
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.1>

В России кротовое орошение рассматривали как способ утилизации сточных вод [15], [16], а также как противоэрозионную технологию орошения склоновых земель при поливе виноградников [17] и как дополнительный способ полива угловых участков поля с дождевальными машинами кругового действия [18].

На светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья исследования особенностей кротового способа полива проводятся впервые.

В целях обеспечения эффективного управления кротовым орошением необходимо провести исследование закономерностей изменения режима работы кротовых оросителей и распределение влаги в почве при подаче различных поливных норм.

В связи с этим одной из задач наших исследований было изучение динамики контуров увлажнения и основных элементов технологий полива кротовым орошением при разных режимах работы оросителя.

Методы и принципы исследования

Исследования были проведены в 2022 г. в Волгоградской области на опытных полях Учебно-научно-производственного центра «Горная Поляна» Волгоградского государственного аграрного университета. Почвенно-климатические условия Волгоградской области являются типичными для Нижнего Поволжья: климат – резко континентальный, лето – жаркое и сухое с практически полным отсутствием дождей в июле и августе, а зима – холодная и малоснежная, почвы опытного участка – светло-каштановые, средне- и тяжёлосуглинистые. Грунтовые воды находились на глубине более трёх метров и не влияли на динамику изменения влажности почвы в исследуемом слое 0,0-1,0 м.

Наблюдения за характером распределения оросительной воды в зависимости от режима работы кротовых оросителей проводили в трёхкратной повторности по трём кротовинам периодически в течение поливного сезона. В статье представлены наиболее типичные расположения изоплет влажности почвы в середине кротовины в почвенном разрезе глубиной 100 см и вправо и влево от оросителя на расстояние 100 см.

Измерение влажности почвы для построения контуров увлажнения проводили на следующий день после полива термостатно-весовым способом. Отбор проб проводили вправо и влево от оси кротовины на расстояние 100 см с шагом 20 см и на глубину до 100 см с таким же шагом.

В наших опытах были изучены закономерности изменения режима работы кротовых оросителей при возрастании поливных норм от 100 до 200 и далее до 300 м³/га. Поливные нормы подавались дробно, частями до полного заполнения сечения кротовины.

На основании ранее проведённых полевых опытов были выбраны наиболее эффективные параметры кротовых оросителей: длина кротовин - 75 м, диаметр – 60 мм, а глубина нарезки – 0,4 м. Исследования проводили на трёх кротовых оросителях с идентичными параметрами.

Для предотвращения выклинивания воды на поверхность почвы напор в наших опытах не превышал глубину нарезки кротовых оросителей и составлял 0,35...0,36 м. Такой напор создавали с помощью напорной ёмкости, в которой поддерживали заданный уровень воды и к которой подключалась распределительная сеть трубопроводов (см. рис. 2). Напор измеряли в 3-х местах по длине кротовины с помощью пьезометров (на расстоянии 5, 38 и 70 м от входа). Пьезометр представлял из себя полую прозрачную трубку, внутрь которой помещался поплавочный датчик с удлинителем, позволяющим зафиксировать величину напора не превышающую глубину нарезки кротовины.



Рисунок 2 - Напорная и распределительная сеть системы кротового орошения

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.2>

Объём водоподдачи и расход измеряли с помощью счётчика, смонтированного на подводящей сети.

Математическую обработку полученных результатов и построение изоплет влажности почвы проводили с помощью «Microsoft Excel 2010», «Surfer 12» и «STATISTICA».

Основные результаты и обсуждение

Напор, расход и продолжительность полива в зависимости от режима работы кротовых оросителей показаны в таблице 1.

Таблица 1 - Напор, расход и продолжительность полива в зависимости от режима работы кротовых оросителей

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.3>

Вариант опыта (поливная норма)	Напор в начале кротовины, м	Напор в середине кротовины, м	Напор в конце кротовины, м	Объём водоподдачи в кротовину за 1 полив, м ³	Средний расход в 1 кротовину		Средний расход на 1 га, м ³ /ч	Продолжительность полива, ч
					л/сек	м ³ /ч		
100 м ³ /га	0,36	0,33	0,35	0,75	0,056	0,203	27,0	3,7
200 м ³ /га	0,35	0,32	0,34	1,50	0,054	0,195	26,0	7,7
300 м ³ /га	0,35	0,32	0,34	2,25	0,052	0,186	24,8	12,1

Результаты опытов показали, что на всех вариантах опыта после полного заполнения кротовины напор в её начале на расстоянии 5 м от входа был таким же как в напорной ёмкости – 0,35...0,36 м. К середине кротовины (38 м от входа) напор снижался до 0,32...0,33 м, а в конце (70 м от входа) возрастал до 0,34...0,35 м. Таким образом, снижение напора в середине увлажнителя составляло 0,03 м или 8,3%, а в конце – 0,01 м или 2,7%.

Дальнейшие расчёты показали, что при длине кротовых оросителей 75 м и расстоянии между ними 1 м на 1 га приходится 133 кротовины, в результате при поливных нормах 100, 200 и 300 м³/га соответственно общий объём водоподдачи в 1 кротовину составлял 0,75; 1,50 и 2,25 м³.

Продолжительность полива так же сильно зависела от поливной нормы и суммарно составляла 3,7 ч при 100 м³/га, 7,7 ч при 200 м³/га и 12,1 ч при 300 м³/га.

Из-за снижения скорости впитывания расход оросительной воды в течении полива был непостоянным, поэтому был рассчитан средний расход в 1 кротовину и на 1 га за всё время подачи воды. В результате, наши опыты показали, что с увеличением поливной нормы от 100 до 200 и далее до 300 м³/га средний расход снижался. Так средний расход на 1 га уменьшался от 27,0 до 26,0 и далее до 24,8 м³/ч, а расход в 1 кротовину – от 0,056 до 0,054 и далее до 0,052 л/сек.

Контура увлажнения при подаче поливных норм 100, 200 и 300 м³/га соответственно показаны на рисунках 3, 4 и 5.

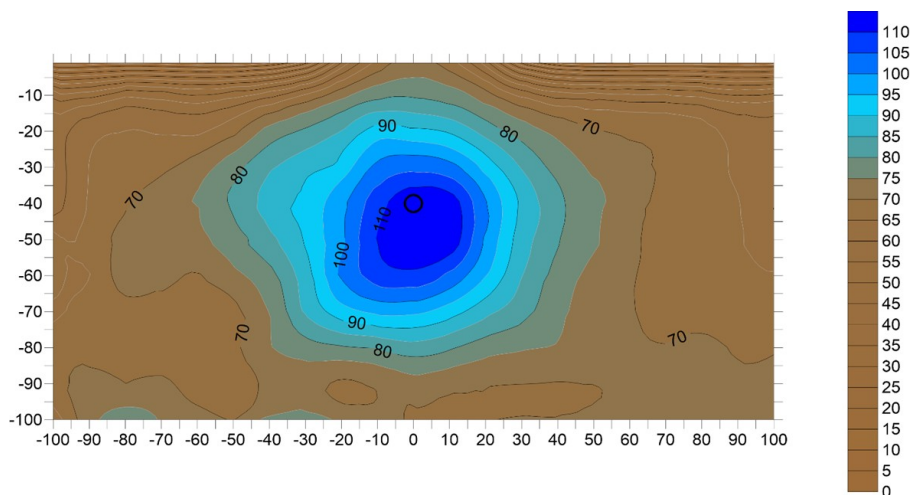


Рисунок 3 - Изоплеты влажности почвы при подаче поливной нормы 100 м³/га
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.4>

Примечание: % НВ

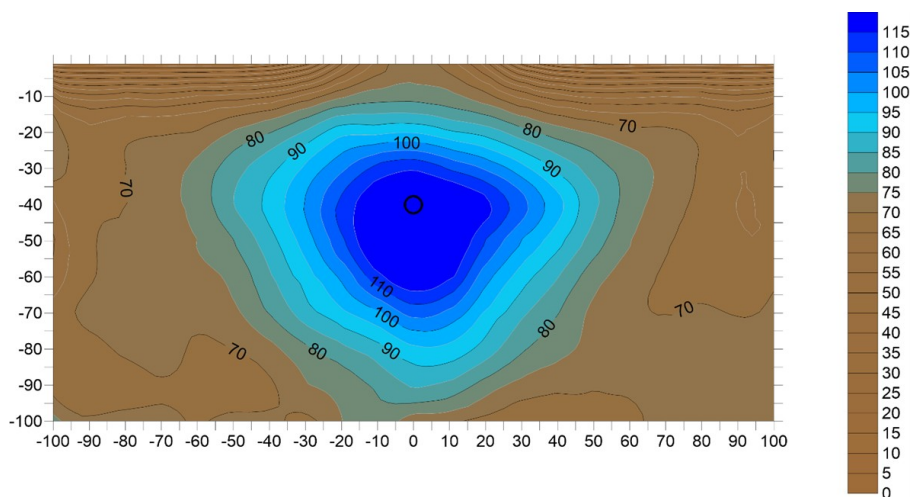


Рисунок 4 - Изоплеты влажности почвы при подаче поливной нормы 200 м³/га
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.5>

Примечание: % НВ

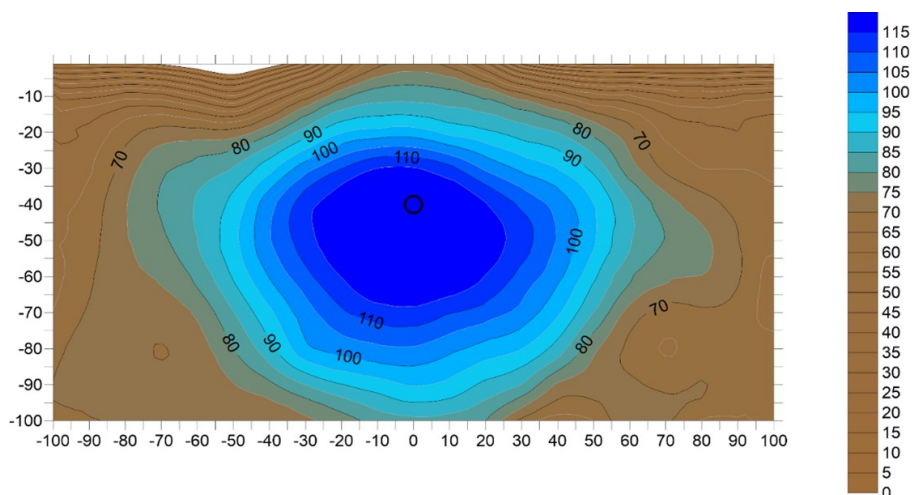


Рисунок 5 - Изоплеты влажности почвы при подаче поливной нормы 300 м³/га
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.6>

Примечание: % НВ

После построения изоплет влажности почвы мы оценивали эффективность распределения оросительной воды по почвенному срезу. 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 длины кротовых оросителей.

Границы зон увлажнения по вариантам опыта показаны в таблице 2.

Таблица 2 - Границы зон увлажнения почвы при разных поливных нормах

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.7>

Вариант опыта (поливная норма)	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
Граница зоны переувлажнения (расположение изоплеты 110 % НВ)				
100 м³/га	35	58	10	14
200 м³/га	27	67	21	26
300 м³/га	26	74	35	33
Граница зоны нормального увлажнения (расположение изоплеты 90 % НВ)				
100 м³/га	18	75	34	29
200 м³/га	17	85	42	46
300 м³/га	15	95	54	56
Граница зоны пониженного увлажнения (расположение изоплеты 75 % НВ)				
100 м³/га	5	87	62	54
200 м³/га	6	100	65	66
300 м³/га	3	100	79	83

Изучение контуров увлажнения на следующий день после полива показало, что на варианте опыта с поливной нормой 100 м³/га верхняя граница зоны переувлажнения находилась на глубине 35 см от поверхности земли, а нижняя граница - на глубине 58 см. Влево и вправо зона переувлажнения распространилась на 10 и 14 см от кротовины соответственно. При увеличении поливной нормы до 200 и далее до 300 м³/га соответственно эта зона распространялась вверх до глубины 27 и 26 см, вниз – до 67 и 74 см, влево – на 21 и 35 см от оси кротовины, а вправо – 26 и 33 см.

Граница зоны нормального увлажнения с увеличением поливной нормы от 100 до 300 м³/га продвигалась вверх ближе к поверхности почвы от глубины 18 до 15 см, а вниз уходила вглубь от глубины 75 до 95 см. Левая граница перемещалась на 34...54 см влево, а правая – на 29...56 см вправо от оси кротовины.

Зона пониженного увлажнения распространялась аналогично.

Таким образом, исследования показали, что с увеличением величины поливных норм от 100 до 300 м³/га границы зон увлажнения изменяются равномерно с отклонением вправо и влево от средних значений $\pm 2...4$ см, в то время, как по вертикали наблюдалась иная закономерность. Граница зоны переувлажнения выше кротователя снижалась от 35 до 26 см, то есть, на 9 см и на 2...3 см - в зоне нормального и пониженного увлажнения. Ниже оси кротового оросителя изоплета влажности 110 % НВ перемещалась вниз на 16 см, а 90 и 75 % НВ – на 20 и более см. Следовательно, с увеличением величины подачи поливных норм от 100 до 300 м³/га контур кротового увлажнения почвы значительно вытягивался вниз, равномерно распределяясь вправо и влево от оси кротового оросителя.

Такую закономерность необходимо строго учитывать при проведении данного способа полива, чтобы не допустить фильтрацию воды в нижележащие горизонты почвы.

Изменение площадей изучаемых зон увлажнения в зависимости от поливной нормы приведено в таблице 3.

Таблица 3 - Изменение площади зон увлажнения почвы в зависимости от поливной нормы

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.8>

Вариант опыта (поливная норма)	Зона переувлажнения (> 110 % НВ)		Зона нормального увлажнения (90... 110 % НВ)		Зона пониженного увлажнения (75... 90 % НВ)		Общая зона увлажнения, см ² (> 75 % НВ) 100%	Площадь зоны кротового увлажнения почвы, %
	см ²	% от общей площади	см ²	% от общей площади	см ²	% от общей площади		
100 м ³ /га	511	7,5	2377	35,1	3886	57,4	6774	33,9
200 м ³ /га	1706	19,4	2812	32,0	4264	48,6	8782	43,9
300 м ³ /га	2106	19,8	4171	39,3	4334	40,8	10611	53,1

При возрастании поливной нормы от 100 до 300 м³/га площадь зоны переувлажнения возрастала от 511 до 2106 см², зоны нормального увлажнения – от 2377 до 4171 см², зоны пониженного увлажнения – от 3886 до 4334 см². В результате, общая площадь зоны увлажнения увеличилась от 6774 до 10611 см².

Зона пониженного увлажнения будучи самой большой на 40,8...57,4 % формировала общую площадь увлажнения. Промежуточное положение занимала зона нормального увлажнения, которая занимала 32,0...39,3% общей площади увлажнения в почвенном профиле 100*200 см. Наименьшую долю 7,5...19,8% занимала зона переувлажнения.

Таким образом, исследования показали, что временно переувлажнённая зона на следующий день после полива составляла не более 20%. Занимаемая площадь зоны кротового увлажнения почвы в почвенном профиле 100*200 см при возрастании поливной нормы от 100 до 300 м³/га возрастала от 33,9 до 53,1%.

В ходе дальнейшего анализа результатов исследований был проведён однофакторный дисперсионный анализ по значениям площадей 3-х зон увлажнения при трёх вариантах поливной нормы – 100, 200 и 300 м³/га. Расчет наименьшей существенной разности (НСР₀₅) для статистической обработки данных показал, что площади трёх зон увлажнения по вариантам опыта при подаче трёх вариантов поливных норм различались существенно, поскольку F фактическое (F_ф) было больше F критического (F₀₅):

- для зоны переувлажнения (> 110% НВ) – F_ф=16,5 > F₀₅=7,709;
- для зоны нормального увлажнения (90...110% НВ) – F_ф=28,9 > F₀₅=7,709;
- для зоны пониженного увлажнения (75...90% НВ) – F_ф=691,4 > F₀₅=7,709.

То есть для значений площади зоны переувлажнения НСР₀₅ составляла 324 см², а фактическая разница находилась в пределах 400...1595 см². Для зоны нормального увлажнения НСР₀₅ составляла 386 см² при фактической разнице между значениями 435...1794 см². Площади зоны пониженного увлажнения так же различались существенно: НСР₀₅ составляла 64 см², а фактическая разница – 70...448 см².

Дальнейшая статистическая обработка результатов исследований позволила выразить зависимость между величиной поливной нормы (X) и площадью увлажнения (Y) в виде уравнения множественной регрессии:

$$Y = 9028,1944 - 68,0083 * X$$

Коэффициента детерминации (R²) данного уравнения составлял 0,763, что говорит нам о том, что полученная модель с высокой степенью достоверности описывает исходные данные (т. к. 0,7 < |R²| < 1). Установлено, что в исследуемой ситуации 76.3% общей вариальности Y (площадь увлажнения) объясняется изменением факторов X (величиной поливной нормы).

Если рассмотреть контур увлажнения (площадь увлажнения), как функцию от рассматриваемой зоны увлажнения (влажность почвы, приняв 100% НВ за единицу) и величины поливных норм при кротовом орошении, то эту поверхность регрессии можно изобразить в виде представленного графика и уравнения (см. рис. 6).

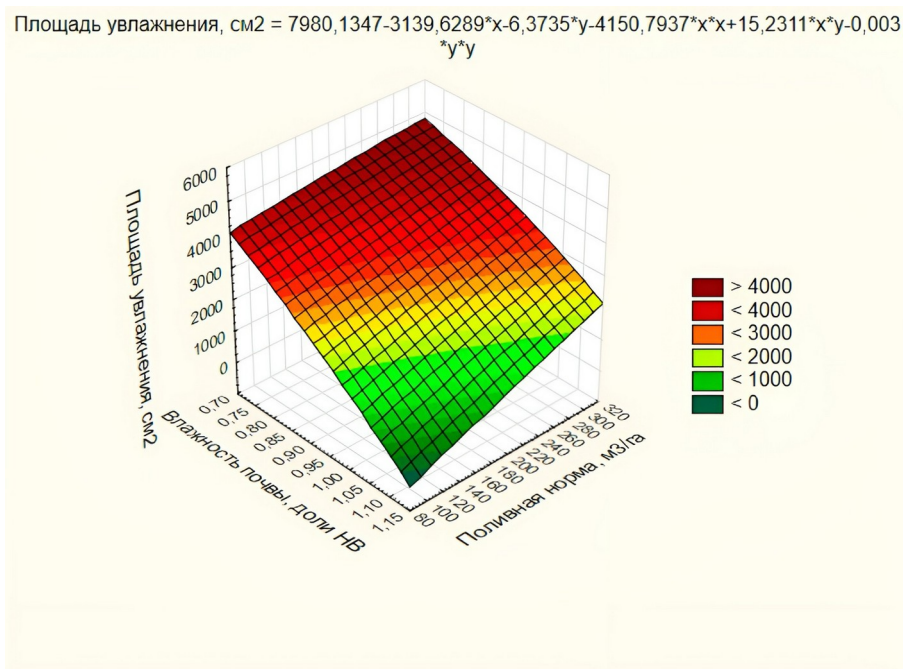


Рисунок 6 - График поверхности для площади увлажнения, величины поливной нормы и влажности почвы

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.4.9>

Заключение

Таким образом, проведенные на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья в 2022 г. исследования показали, что при подаче поливных норм от 100 до 300 м³/га в кротовые оросители длиной 75 м снижение напора по длине составляло 2,7...8,3 %, что говорит нам о высокой равномерности создаваемого напора на всём протяжении кротового оросителя независимо от поливной нормы.

Изучение режима работы кротового оросителя при дробной подаче различных поливных норм показало, что с увеличением нормы полива от 100 до 300 м³/га объём водоподачи в 1 кротовину и продолжительность полива соответственно возрастали суммарно от 0,75 до 2,25 м³ и от 3,7 до 12,1 ч, а средний расход в 1 кротовину и на 1 га снижались от 0,056 до 0,052 л/сек и от 27,03 до 24,79 м³/ч соответственно.

При изучении динамики контуров увлажнения было установлено, что верхняя граница зоны нормального увлажнения на следующий день после полива при возрастании поливной нормы от 100 до 300 м³/га поднималась ближе к поверхности земли от глубины 18 до 15 см, а нижняя граница перемещалась вниз от глубины 75 до 95 см. Слева и справа от кротовины границы этой зоны распространились на 34 и 29 см при 100 м³/га, а при 300 м³/га на 54 и 56 см. В результате площадь зоны нормального увлажнения возрастала от 2377 до 4171 см², занимая 32,0...39,3% от общего контура увлажнения. Граница общего контура увлажнения при возрастании количества поливной воды от 100 до 300 м³/га сверху кротовины достигала глубины 3...6 см, а снизу – 87...100 см. Влево эта граница распространялась на 62...79 см, а вправо – на 54...83 см. В результате чего площадь общей зоны увлажнения увеличивалась от 6774 до 10611 см².

Таким образом, исследования показали, что с увеличением величины поливных норм от 100 до 300 м³/га границы зон увлажнения изменялись равномерно с отклонением вправо и влево от средних значений $\pm 2...4$ см, в то время, как по вертикали наблюдалась иная закономерность. Граница зоны переувлажнения (> 110% НВ) выше кротователя снижалась от 35 до 26 см, то есть, на 9 см и на 2...3 см – в зоне нормального (90...110% НВ) и пониженного (75...90 % НВ) увлажнения. Ниже оси кротового оросителя изоплета влажности 110% НВ перемещалась вниз на 16 см, а 90 и 75% НВ – на 20 и более см. Следовательно, с увеличением величины подачи поливных норм от 100 до 300 м³/га контур кротового увлажнения почвы значительно вытягивался вниз, равномерно распределяясь вправо и влево от оси кротового оросителя.

Также проведенные опыты показали, что временно переувлажнённая зона на следующий день после полива составляла не более 20%, а занимаемая площадь зоны кротового увлажнения почвы в почвенном профиле 100*200 см при возрастании поливной нормы от 100 до 300 м³/га возрастала от 33,9 до 53,1%.

Математическая обработка результатов исследований показала, что площади рассматриваемых трёх зон увлажнения существенно изменялись при возрастании поливных норм от 100 до 200 и далее до 300 м³/га.

Финансирование

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>.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The 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>.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Bereslavskii E. N. The Forcing Out of Saline Water by Fresh Water During Filtration from a Mole Irrigator / E. N. Bereslavskii // *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. — 1989. — 3(53). — p. 350-355.
2. Harris G. L. Effect of Mole Submergence on the Life of Mole Channels / G. L. Harris // *Agricultural Water Management*. — 1984. — 4(8). — p. 361-374.
3. Rodgersa M. A Model Study of Mole Drain Spacing and Performance / M. Rodgersa, J. Mulqueenb, J. McHalea // *Agricultural Water Management*. — 2003. — 1(60). — p. 33-42.
4. Wit J. A. Development of Subsurface Drainage Systems: Discharge – Retention – Recharge / J. A. Wit, C. J. Ritsema, J. C. Dam et al. // *Agricultural Water Management*. — 2022. — 269. — p. 107677.
5. Исакова З.Х. Полив хлопчатника по кротовинам / З.Х. Исакова // *European Research*. — 2017. — 4 (27). — с. 17-19.
6. Jha M. K. Mole Drainage: Prospective Drainage Solution to Bangkok Clay Soils / M. K. Jha, K. Koga // *Agricultural Water Management*. — 1995. — 3(28). — p. 253-270.
7. Jafari S. Relationship between Drainage Composition and Clay Minerals Evolution under Heavily Irrigated Sugarcane Cultivation in Southwest Iran / S. Jafari, H. Bazrekar // *CATENA*. — 2022. — 213. — p. 106088.
8. Feng G. 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 et al. // *Agricultural Water Management*. — 2017. — 193. — p. 205-213.
9. Mahmoud E.M. The Effect of Irrigation and Drainage Management on Crop Yield in the Egyptian Delta: Case of El-Baradi Area / E.M. Mahmoud, M.M. El Din, A.M. El Saadi et al. // *Ain Shams Engineering Journal*. — 2021. — 1(12). — p. 119-134.
10. Lemly A. D. Agriculture and Wildlife: Ecological Implications of Subsurface Irrigation Drainage / A. D. Lemly // *Journal of Arid Environments*. — 1994. — 2(28). — p. 58-94.
11. Liu H. L. 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 et al. // *Agricultural Water Management*. — 2011. — 6(98). — p. 1105-1111.
12. Filipovićabc V. Numerical Simulation of Water Flow in Tile and Mole Drainage Systems / V. Filipovićabc, F. J. Kochem, Y. Coquet et al. // *Agricultural Water Management*. — 2014. — 146. — p. 105-114.
13. Camussia G. F. Hydraulic Performance of Mole Drains and Validation of Steady-state Drainage Spacing Equations for Mollisols / G. F. Camussia, S. Imhoffa, D. L. Antilleb et al. // *Soil and Tillage Research*. — 2022. — 223. — p. 105448.
14. Muirhead W. A. Shallow Subsurface Drainage in an Irrigated Vertisol with a Perched Water Table / W. A. Muirhead, E. Humphreys, N. S. Jayawardane et al. // *Agricultural Water Management*. — 1996. — 3(30). — p. 261-282.
15. Гостищев Д.П. Эксплуатация систем кротово-внутрипочвенного орошения при использовании сточных вод и животноводческих стоков / Д.П. Гостищев // Материалы юбилейной международной научно-практической конференции (Костяковские чтения) «Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования»; — Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2007. — с. 130-136.
16. Гостищев Д.П. Использование животноводческих стоков при кротово-внутрипочвенном орошении / Д.П. Гостищев, Ю.С. Рогозина // Сборник научных докладов международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии и техника орошения»; — Новочеркасск: Радуга, 2004. — с. 142-145.
17. Зербалиев А.М. Внутрипочвенное орошение как способ защиты земель от водной эрозии почв / А.М. Зербалиев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. — 2005. — 11. — с. 162-166.
18. Коломыца А.М. Внутрипочвенное орошение как способ защиты земель от водной эрозии почв / А.М. Коломыца // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. — 2005. — 13. — с. 61-64.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bereslavskii E. N. The Forcing Out of Saline Water by Fresh Water During Filtration from a Mole Irrigator / E. N. Bereslavskii // *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. — 1989. — 3(53). — p. 350-355.
2. Harris G. L. Effect of Mole Submergence on the Life of Mole Channels / G. L. Harris // *Agricultural Water Management*. — 1984. — 4(8). — p. 361-374.

3. Rodgersa M. A Model Study of Mole Drain Spacing and Performance / M. Rodgersa, J. Mulqueenb, J. McHalea // *Agricultural Water Management*. — 2003. — 1(60). — p. 33-42.
4. Wit J. A. Development of Subsurface Drainage Systems: Discharge – Retention – Recharge / J. A. Wit, C. J. Ritsema, J. C. Dam et al. // *Agricultural Water Management*. — 2022. — 269. — p. 107677.
5. Isakova Z.H. Poliv hlopchatnika po krotovinam [Cotton Watering on Molehills] / Z.H. Isakova // *European Research*. — 2017. — 4 (27). — p. 17-19. [in Russian]
6. Jha M. K. Mole Drainage: Prospective Drainage Solution to Bangkok Clay Soils / M. K. Jha, K. Koga // *Agricultural Water Management*. — 1995. — 3(28). — p. 253-270.
7. Jafari S. Relationship between Drainage Composition and Clay Minerals Evolution under Heavily Irrigated Sugarcane Cultivation in Southwest Iran / S. Jafari, H. Bazrekar // *CATENA*. — 2022. — 213. — p. 106088.
8. Feng G. 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 et al. // *Agricultural Water Management*. — 2017. — 193. — p. 205-213.
9. Mahmoud E.M. The Effect of Irrigation and Drainage Management on Crop Yield in the Egyptian Delta: Case of El-Baradi Area / E.M. Mahmoud, M.M. El Din, A.M. El Saadi et al. // *Ain Shams Engineering Journal*. — 2021. — 1(12). — p. 119-134.
10. Lemly A. D. Agriculture and Wildlife: Ecological Implications of Subsurface Irrigation Drainage / A. D. Lemly // *Journal of Arid Environments*. — 1994. — 2(28). — p. 58-94.
11. Liu H. L. 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 et al. // *Agricultural Water Management*. — 2011. — 6(98). — p. 1105-1111.
12. Filipovićabc V. Numerical Simulation of Water Flow in Tile and Mole Drainage Systems / V. Filipovićabc, F. J. Kochem, Y. Coquet et al. // *Agricultural Water Management*. — 2014. — 146. — p. 105-114.
13. Camussia G. F. Hydraulic Performance of Mole Drains and Validation of Steady-state Drainage Spacing Equations for Mollisols / G. F. Camussia, S. Imhoffa, D. L. Antilleb et al. // *Soil and Tillage Research*. — 2022. — 223. — p. 105448.
14. Muirhead W. A. Shallow Subsurface Drainage in an Irrigated Vertisol with a Perched Water Table / W. A. Muirhead, E. Humphreys, N. S. Jayawardane et al. // *Agricultural Water Management*. — 1996. — 3(30). — p. 261-282.
15. Gostishev D.P. Ekspluatatsiya sistem krotovo-vnutripochvennogo oroshenija pri ispol'zovanii stochnyh vod i zhivotnovodcheskih stokov [Operation of Mole-in-soil Irrigation Systems Using Wastewater and Livestock Effluents] / D.P. Gostishev // *Materialy yubilejnoy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Kostyakovskie chteniya) «Problemy ustojchivogo razvitiya melioracii i racional'nogo prirodopol'zovaniya» [Materials of the Anniversary International Scientific and Practical Conference (Kostyakov Readings) "Problems of Sustainable Development of Land Reclamation and Rational Nature Management"]*; — Moscow: All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 2007. — p. 130-136. [in Russian]
16. Gostishev D.P. Ispol'zovanie zhivotnovodcheskih stokov pri krotovo-vnutripochvennom oroshenii [Use of Livestock Wastewater for Mole-in-soil Irrigation] / D.P. Gostishev, Ju.S. Rogozina // *Sbornik nauchnyh dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Resursosberegayushchie ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnika orosheniya» [Collection of scientific reports of the International Scientific and Practical Conference "Resource-saving Environmentally Safe Irrigation Technologies and Techniques"]*; — Novocherkassk: Raduga, 2004. — p. 142-145. [in Russian]
17. Zerbaliyev A.M. Vnutripochvennoe oroshenie kak sposob zashchity zemel' ot vodnoj erozii pochv [In-soil Irrigation as a Method of Land Protection from Water Erosion of Soils] / A.M. Zerbaliyev // *Bulletin of Dagestan State Technical University*. — 2005. — 11. — p. 162-166. [in Russian]
18. Kolomytsa A.M. Vnutripochvennoe oroshenie kak sposob zashchity zemel' ot vodnoj erozii pochv [In-soil Irrigation as a Method of Land Protection from Water Erosion of Soils] / A.M. Kolomytsa // *Polythematic Network Electronic Scientific Journal of Kuban SAU*. — 2005. — 13. — p. 61-64. [in Russian]