

Жатканбаева А.О., Козыкеева А.Т., Мустафаев Ж.С.

*Казахский национальный аграрный университет,
Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ПАРАМЕТРА КОНТУРОВ УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

Аннотация

На основе полевых исследований режима орошения сельскохозяйственных культур при капельном поливе определены линейные параметры контуров увлажнения почвы и получены математические зависимости, позволяющие рационально использовать материальные, энергетические и природные ресурсы.

Ключевые слова: капельное орошение, контур увлажнения, глубина увлажнения, радиус контура, влажность, интенсивность, водоподача, поливная норма.

Актуальность

В практике орошаемого земледелия в конце XX века большое значение придается применению экологически безопасной и безотходной технологии и технических средств полива, одним из них является капельное орошение. В настоящее время в ведущих странах мира при орошении сельскохозяйственных культур все больше предпочтение отдается таким способам полива, где режим водоподачи совпадает с водопотреблением, который обеспечивается способом малообъемного орошения.

В агроклиматических условиях Республики Казахстан возделывания сельскохозяйственных культур с высокой реализацией возможно только за счет орошения требующих безвозвратное водопотребление, которые в определенной степени создают дефицит водных ресурсов, особенно в условиях ожидаемого изменения климата региона. Поэтому, внедрение в сельскохозяйственное производство водосберегающей технологии капельного орошения позволяют в определенной степени уменьшить напряженность возникающих в области водного хозяйства.

Целью исследования являлась разработка математической модели, позволяющей рассчитать водосберегающий режим полива сельскохозяйственных культур при капельном орошении, что позволяет рационально использовать материальные, энергетические и природные ресурсы и получить модель контура увлажнения почв.

Методика и материалы исследования

Методология исследований характеризуется корректной, научно обоснованной постановкой проблемы исследования, построением предмета и теории исследований основанной на использовании известных законов и методов математического анализа. При исследованиях контуров увлажнения, формирующихся в почвогрунтовой(ом) толще (пространстве) при капельном орошении, разными специалистами рассматриваются различные факторы влияния на их геометрические и «водораспределительные» характеристики. Среди таких факторов в известных публикациях упоминаются: регулируемые факторы, определяющие собственно капельный полив (расход или производительность капельницы – q_k , л/час), продолжительность водоподачи (полива) или «капания» – t_{bn} , час), поливную норму – « m_n », измеряемую в мм, $m^3/га$, л/ m^2 , л/растение); физико-механические и водно-физические характеристики почвогрунтов (плотность, пористость (скважность), наименьшая влагоёмкость – $w_{нв}$), начальная (дополивная) влажность почвы (вид грунтов по гранулометрическому составу с данными по процентному содержанию в них глинистых частиц размером менее 0,01 мм) – « β_n »), измеряемая по фактическому состоянию (в долях НВ) [1].

В связи с использованием в качестве фактора влияния поливной нормы отметим, что её величина определяется соотношением $m_n = q_k / t_{bn}$, то есть зависит от производительности (расхода) капельницы (q_k) и продолжительности водоподачи (t_{bn}). При этом значения q_k и t_{bn} могут изменяться в значительных диапазонах (q_k – в пределах от 1 л/час до 12 и даже 20 л/час, а t_{bn} может изменяться от (1–2) часов до 12 и даже 24 часов). При этом из-за временного фактора (продолжительности водоподачи – t_{bn}) к концу капельного полива можно зафиксировать разные линейные, площадные и объёмные размеры единичного контура увлажнения почвы. С учётом вышеуказанного предлагается в качестве отдельных факторов влияния на контур увлажнения рассматривать расход капельницы

(q_k , л/час) и продолжительность полива водоподачи (t_{bn} , час) в форме (« $q_k^{a1} \cdot t_{bn}^{a2}$ ») [1].

Полевые исследования проводились на территории производственного кооператива «Тастобе» Жамбылского района, Жамбылской области Республики Казахстан [2-4].

Посадка томатов осуществлялась рассадой в начале мая по междурядьям 70 см и с расстоянием в ряду 40 см. Поливы осуществлялись низконапорной капельной системой (вариант 2) и по бороздам (вариант 1)[2-4].

Площадь делянки 28 м². Повторность опыта 3-х кратная. В каждом варианте имелись по 100 растений томата, расположенных в два ряда.

Для изучения контура увлажнения, развития корневой системы и продолжительности полива был заложен лизиметрический опыт (опытный участок №2) с шестью вариантами: 1а – полив с одной капельницей при 70% НВ; 1б – полив с двумя капельницами при 70% НВ.

Результаты исследования.

При разработке технологии и режимов капельного орошения основополагающим моментом является изучение формирующихся контуров увлажнения, которые зависят от влагопроводности почвы и интенсивности водоподачи, которые нередко приводят к специфическим почвенным эффектам, имеющих важное практическое значение.

При капельном орошении вода поступает в почву в форме капель, впитываясь в почву, она становится составной частью последней и далее передвигается по законам, общим для всех способов полива. Вода, поступающая из капельницы под действием капиллярных сил, проходит определённое расстояние, при этом создаётся постоянная зона увлажнения почвы, величина и конфигурация которой зависят от почвы, интенсивности водоподачи и поливной нормы. Остаётся не ясным, на сколько изменяется контур увлажнения при различных интенсивностях водоподачи и поливных нормах, как распределяется влага в почве после полива, которые связаны, прежде всего, с оптимизацией капельного способа полива.

Результатами исследований нами обнаружено, что при орошении суглинистых почв средне механического состава орошения как при одной, так и при двух капельницах образуются контуры увлажнения примерно одинаковой эллиптической параболоиды (таблица 1 и рисунок 2), так как при большой интенсивности водоподачи, влага рассеивается с поверхности почвы в горизонтальном направлении в сравнении с вертикальным, которые образуются за счет силы тяжести воды.

Таблица 1 – Контуры увлажнения и объемы вылитой воды при капельном орошении томата.

Диаметр увлажнения поверхности (D), см	Глубина увлажнения (H), см	Продолжительность полива		Расход капельниц, л/час	Элементарная поливная норма на 1 куст, м ³ /куст	Поливная норма на 1 га, м ³ /га	Контур увлажнения, см ²
		час	мин				
Вариант 1а – 70 % НВ (при одиночной капельнице)							
22	20	1	10	1,2	0,00132	47	0,037
26	30	2	20	1,2	0,00264	94	0,053
34	50	3	30	1,2	0,00396	140	0,091
Вариант 1б. – 70 % НВ (при двойной капельнице)							
25	20	-	50	2,4	0,0012	43	0,049
34	30	1	30	2,4	0,00312	111	0,091
36	50	2	30	2,4	0,00552	197	0,101

Как видно, из таблицы 1, основными факторами формирования контура увлажнения (w) в почвенном профиле от точечного источника являются: q_k - расход водосточника, H - глубина насыщения влагой в почве; t - время распределения влаги в почве (время полива), R - ширина контура увлажнения, то есть $w = f(q_k, H, t, R)$ и на основе их можно определить линейный параметр контура увлажнения почвы при капельном орошении.

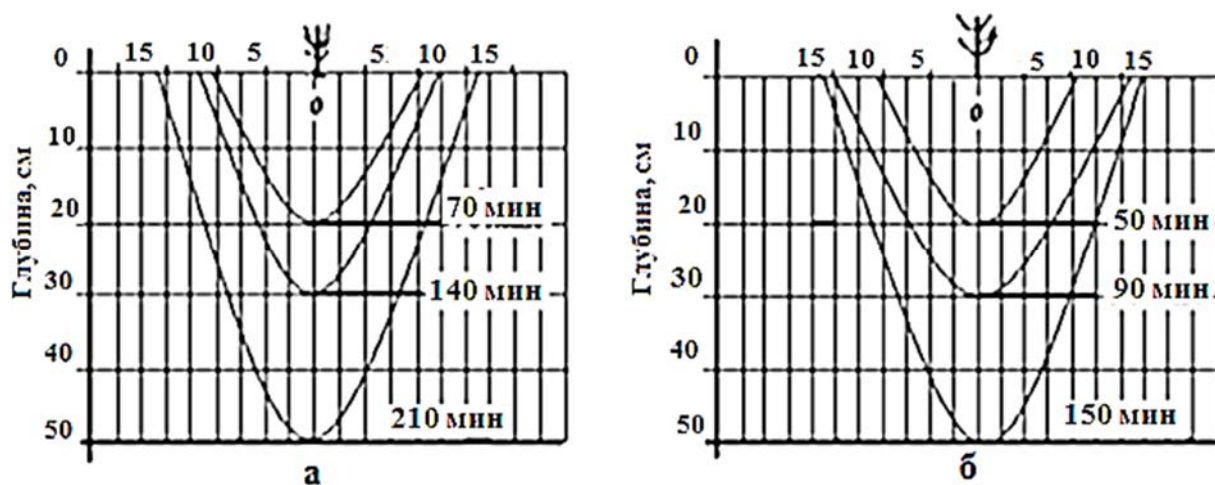


Рисунок 3 – Контуры увлажнения при капельном орошении (а – при одиночной капельнице; б- при двойной капельнице)

При капельном орошении для сравнения полученных контуров увлажнения с достаточно большой интенсивностью с малой интенсивностью водоподачи использовались результаты исследования проведенных в ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области на светло-каштановых почвах, где плотность почвы грунтов в метровом слое 1.53 т/м³, а наименьшая влагоемкость – 22.91 % массы сухой почвы (таблица 2 и рисунок 2) [5].

Таблица 2 – формирование и динамика контура увлажнения в зависимости от величины поливной нормы при капельном поливе

Предполивная влажность почвы, % НВ	Параметры контура увлажнения					
	Время после полива, сут	Высота контура (H), м	Ширина контура (L), м	Площадь контура (S), м ²	$K_{эф}$	$K_{эф}^{ср}$
Поливная норма 220 м ³ /га						
60	0	1.23	0.63	0.70	1.90	1.84
	0.5	1.36	0.71	0.88	1.82	
	1	1.44	0.82	1.04	1.70	
	3	0.83	0.44	0.33	1.87	
	5	0.39	0.19	0.06	1.93	
Поливная норма 120 м ³ /га						
80	0	0.69	0.36	0.22	1.85	1.77
	0.5	0.87	0.49	0.39	1.73	
	1	1.00	0.60	0.55	1.63	
	3	0.45	0.22	0.10	1.86	
	5	0.25	0.12	0.03	1.77	

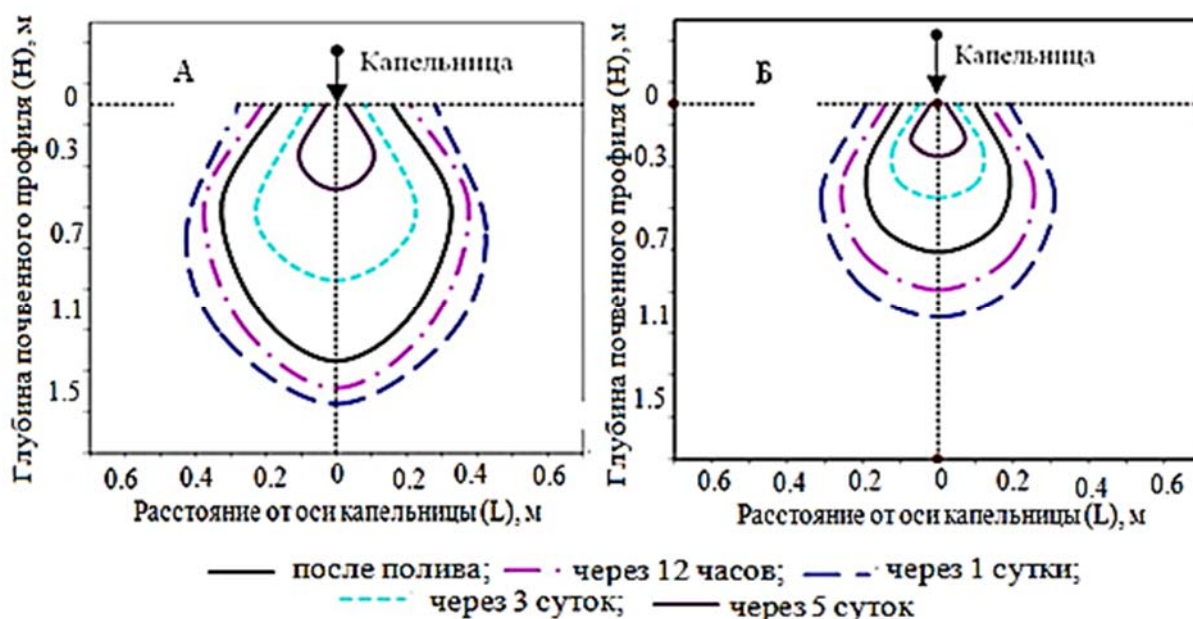


Рисунок 2 – Контур увлажнения при капельном поливе
(а - нормой 220 м³/га; б- нормой 120 м³/га)

Анализ полученных данных показывает, что с уменьшением поливной нормы уменьшается высота и ширина контура увлажнения. Так, при норме 220 м³/га высота контура увлажнения через 12 часов после полива увеличивается до 1.36 м, а при 120 м³/га – 0.87 м. При этом через 12 часов после полива наблюдается заметное увеличение площади контура увлажнения, но наибольшая площадь контура увлажнения, как видно из таблицы 2 и рисунка 2, для всех исследуемых поливных норм наблюдается через 1 сутки после окончания полива, то есть площадь контура увлажнения в зависимости от поливной нормы 220 и 120 м³/га составляет соответственно 1.04 и 0.55 м².

Для оценки параметров контуров увлажнения при различных поливных нормах можно использовать коэффициент эффективности ($K_{эф}$), который характеризует оптимальность распределения влаги при капельном поливе. Коэффициент эффективности ($K_{эф}$) оценивает равномерность горизонтального распределения влаги относительно вертикального, то есть отношение высоты контура увлажнения к ширине, который определяется по формуле [5]: $K_{эф} = H/L$, где H - вертикальный диаметр (высота) контура увлажнения, м; L - горизонтальный диаметр (ширина) контура увлажнения, м.

Как видно из таблицы 2, коэффициент эффективности распределения влаги показал, что $K_{эф}$ увеличивается в течение первых суток после проведения полива, затем наблюдается его уменьшение для всех исследуемых поливных норм.

Таким образом, при большой интенсивности водоподачи в капельном поливе контуры увлажнения почвы имеют одинаковые эллиптические параболоиды [2]: $V = 0.5 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H$ (где H - высота, м; R - радиус вращения, м) (рисунок 3а), а с малой интенсивностью водоподачи в капельном орошении контуры увлажнения почвы имеют эллипсоидные формы, имеющих следующий вид [6]: $V = 11 \cdot \pi \cdot H \cdot R/3$ (где H - расчетная глубина увлажняемого слоя почвы, считая от поверхности земли, м; R - наибольший радиус увлажнения почвогрунта, м) (рисунок 3б).

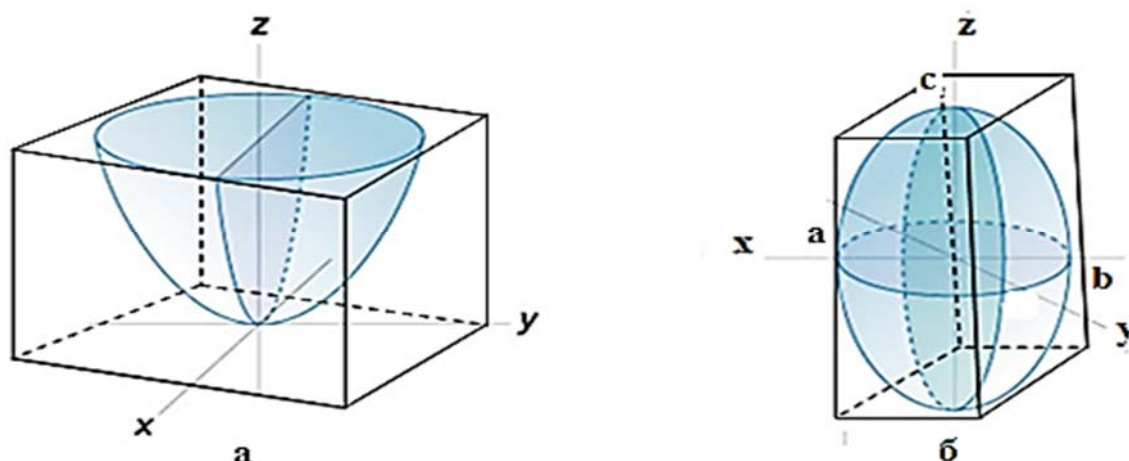


Рисунок 3- Схематические изображения ожидаемого контура увлажнения почвы при капельном орошении (а- с большой интенсивностью водоподачи; б- с малой интенсивностью водоподачи)

Влагоемкость любого пористого тела (W , м³) во многом зависит от плотности пористого тела (d , т/м³) и наименьшей влагоемкости ($\beta_{нв}$) выраженных в процентах от сухой массы, то есть $W = V \cdot d \cdot \beta_{нв}$. На основе такого предположения сформирована классическая формула А.Н.Костякова для определения поливной нормы [7]: $m = 100 \cdot H \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{пн})$, где $\beta_{нв}$ и $\beta_{пн}$ - наименьшая и предполивная влагоемкости расчетного слоя, %; H - глубина расчетного слоя почвы, м; d - плотность расчетного слоя почвы, т/м³; m - поливная норма, м³/га.

Для одиночного растения (контура) расчетная поливная норма будет принимать следующий вид [5]: $m = 10 \cdot F \cdot H \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{пн})$, где F - площадь питания растения, м².

Значение поливной нормы при капельном орошении с учетом формы контура увлажнения определяют следующим образом:

- при малой интенсивности водоподдачи, где контуры увлажнения почвы имеют эллипсоидные формы: $m = 0.115 \cdot H \cdot R \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{nn})$;

- при большой интенсивности водоподдачи, где контуры увлажнения почвы имеют одинаковые эллиптические параболоидные формы: $m = 1.57 \cdot H \cdot R^2 \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{nn})$.

При этом, как видно из рисунка 3, экономия воды при капельном орошении в сравнение с поверхностным поливом, можно определить следующим образом:

- при малой интенсивности водоподдачи, где контуры увлажнения почвы имеют эллипсоидные формы: $\Delta m = (100 - 0.115 \cdot R) \cdot [H \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{nn})]$;

- при большой интенсивности водоподдачи, где контуры увлажнения почвы имеют одинаковые эллиптические параболоидные формы: $\Delta m (=100-1.57 \cdot R^2) \cdot [H \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{nn})]$

Высоту эллиптической параболоиды и эллипсоиды (H) можно определить по формуле [8]:

$$H = [(\beta_{нв} - \beta_i) / (\beta_{нв} - \beta_o)] \cdot [(V_o - K\phi) / K_b] \cdot [1 - \exp(-K_b \cdot t)] + K\phi \cdot t,$$

где $K\phi$ - коэффициент фильтрации почвы при полном насыщении; β_i - начальная влажность почвы; $\beta_{нв}$ - наименьшая влажность почвы; β_o - содержание связанной влаги в единице объема почвы, принимаемое равным максимальной молекулярной влагоемкости; V_o - скорость впитывания в конце первого часа; K_b - коэффициент, зависящий от свойства и влажности почвы; t - время впитывания воды в почву.

Радиус эллиптической параболоиды и эллипсоидной (R) можно определить по формуле [8]:

$$R = [(\beta_{нв} - \beta_i) / (\beta_{нв} - \beta_o)] \cdot [(V_o - K\phi) / K_b] \cdot [1 - \exp(-K_b \cdot t)].$$

При этом количество капельницы (n) расположенной в одном гектаре поливного участка можно определить по формуле: $n = 10000 / (b_p \cdot l_k)$, где b_p - расстояние между капельницами, м; l_k - расстояние между рядками, м.

Тогда, поливная норма рассчитанная на один гектар поливного участка при капельном орошении определяется по следующей формуле:

- при малой интенсивности водоподдачи, где контуры увлажнения почвы имеют эллипсоидные формы: $m = 0.115 \cdot H \cdot R \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{nn}) \cdot n$;

- при большой интенсивности водоподдачи, где контуры увлажнения почвы имеют одинаковые эллиптические параболоидные формы: $m = 1.57 \cdot H \cdot R^2 \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_{nn}) \cdot n$.

Обсуждение

Таким образом, капельное орошение весьма экономично: вода расходуется только на транспирацию растений, не утекает в глубокие слои почвы и почти не испаряется с ее поверхности. Однако, это закономерность не соблюдается в начале вегетационного периода, где почвенный слой орошаемого участка имеет одинаковое увлажнение и во время выпадения атмосферных осадков за вегетационный период, что требует в определенной степени уточнить величину суммарного водопотребления.

При капельном орошении структура величины суммарного испарения имеет свои особенности, то есть испарение происходит: с неувлажненной почвы ($E_{ну}$); с увлажненной почвы ($E_{ув}$) и с растительного покрова (E_{pn}), то есть при капельном орошении увлажняется менее 30% поверхности поля.

Следовательно, необходима методика расчета для физического испарения с поверхности почвы ($E_{вф}$) и зависимости от времени транспирации с листевой поверхности растений (T). При этом для определения физического испарения с

поверхности почвы можно использовать формулы Н.В. Данильченко [9], следующим дополнением: $E_{v\phi} = E_o \cdot k_{\delta} \cdot k_o \cdot k_{v\phi}$, где k_{δ} - биологический коэффициент; k_o - микроклиматический коэффициент; $k_{v\phi}$ - коэффициент, учитывающий площадь неувлажненной почвы, который определяется как отношение неувлажненной площади почвы (f_{ny}) от общей единичной площади (f_o); E_o - испаряемость (потенциальная эвапотранспирация).

Транспирационную способность растений с листевой поверхности растений (T) можно определить по формулам [8]:

$$T = K_{\delta} \cdot K_o \cdot E_o [1 - \exp(-0.74 \cdot LC)] \cdot \beta_t ;$$

$$T = (R / L \cdot \bar{R}) [1 - \exp(-0.74 \cdot LC)] \cdot \beta_t ;$$

где R - радиационный баланс земной поверхности, кДж/см²; L - удельная теплота парообразования, принятая постоянной и равная 2.5 кДж/см²; \bar{R} - радиационный индекс сухости или показатель гидротермического режима; LC - площадь листьев посева; β_t - влажность корнеобитаемого слоя почвы.

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных полей при капельном орошении (E_v) будет равно:

$$E_v = K_{\delta} \cdot K_o \cdot E_o \{k_{v\phi} + [1 - \exp(-0.74 \cdot LC)] \cdot \beta_t\} .$$

Оросительная норма сельскохозяйственных полей при капельном орошении (O_p) определяется на основе уравнения водного баланса:

$$O_p = E_v - (O_c + \Delta W \pm g) ,$$

где O_c - атмосферные осадки; $\pm g$ - вертикальный водообмен между почвой и грунтовыми водами; ΔW - величина баланса почвенной влаги.

Таким образом, модель геометрических параметров контура увлажнения активного слоя почвы при капельном орошении позволяет определить поливной режим сельскохозяйственных культур и комплексное регулирование урожая образующих факторов природной системы.

Литература

1. *Обумахов Д.Л.* Линейные параметры контуров увлажнения при капельном поливе // Научный журнал КубГАУ, 2014.- № 100(06).- С. 1-13.
2. *Зубаиров О.З., Жатканбаева А.О.* Исследования контура увлажнения и режима орошения почвы при капельном орошении // Водное хозяйство Казахстана, 2006. -№1(9).- С.9-12
3. *Жатканбаева А.О.* Исследование режима орошения томата при капельном способе полива в условиях Жамбылской области // Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства в России / Мелиорация, рекультивация и охрана земель. – Москва, 2015.- часть 1.- С.402-407.
4. *Козыкеева А.Т., Жатканбаева А.О.* Системы капельного орошения для орошения сельскохозяйственных культур на предгорных зонах с небольшим поверхностным перепадом // Материалы Международного научного форума / Проблемы управления водными и земельными ресурсами.- Москва, 2015.-часть 2.- С.3-12.
5. *Ахмедов А.Д., Галиуллина Е.Ю.* Контуров увлажнения почвы при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. - № 3(270). – С. 183-188.
6. *Мелихова Е.В.* Математическое моделирование и оптимизация режима орошения корнеплодов на светло-каштановых почвах Волгоградской области //

7. Костяков А.Н. Основы мелиорации.- М.: Сельхозгиз, 1960.-622 с.

8. Козыкеева А.Т., Абдикеримов С.А., Жатқанбаева А.О. Капельная система для орошения сельскохозяйственных культур в аридной зоне Казахстана // Труды международной научно-практической конференции: «АУЕЗОВСКИЕ ЧТЕНИЯ-13: «НҮРЛЫ ЖОЛ» стратегический шаг на пути индустриально-инновационного и социально-экономического развития страны».- Шымкент, 2015.- С. 144-149.

9. Данильченко Н.В. Оазисное орошение подземными водами.- М.:Колос, 1983.-95 с.

Жатқанбаева А.О., Козыкеева Ә.Т., Мұстафаев Ж.С.

ТАМШЫЛАТЫП СУҒАРУ КЕЗІНДЕГІ ЫЛҒАЛДАНУ БЕТІНІҢ СЫЗЫҚТЫҚ ӨЛШЕМДЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҮЛГІЛҮ

Аңдатпа

Ауылшаруашылық дақылдарын тамшылатып суғарудың тәртібін өрістік зерттеудің нәтижесін пайдалана отырып топырақтың ылғалдану бетінің сызықтық өлшемдері анықталған және заттық, қуаттық және табиғи қорларды тиімді пайдалануды қамтамасыз ететін, оның математикалық байланысы табылған.

Кілт сөздер: тамшылатып суғару, ылғалдану беті, ылғалдану тереңдігі, ылғалдану бетінің радиусы, ылғал, қарқын, суды беру, суармалау мөлшері.

Zhatkanbaeva A.O., Kozykееva A.T., Mustafaeв Zh.S.

MATHEMATICAL MODELING LINEAR PAREMETRA LOOP HUMIDIFICATION DRIP

Annotation

Irrigation on the basis of field studies irrigation regime of crops under drip irrigation line parameters defined contours and soil moisture derived mathematical relationships, making rational use of material, energy and natural resources.

Keywords: drip irrigation, humidification circuit humidification depth contour range, humidity, intensity, water supply, irrigation norm.

УДК 633.1:911.2

Жидекулова Г.Е., Мұстафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Адильбектеги Г.А.,
Есенгельдиева П.Е.

*Казахский национальный аграрный университет,
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ГИДРОАГРОЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация

Разработана модель оценки агроклиматических ресурсов сельскохозяйственных культур для управления и регулирования основных факторов их среды обитания в гидроагроландшафтных системах, которая имеет блочную структуру, содержащую шесть блоков, то есть агроклиматические ресурсы, регулирование и управление водного,