

УДК 631.6

UDC 631.6

СУММАРНОЕ ИСПАРЕНИЕ И РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

TOTAL EVAPORATION AND CROP IRRIGATION MODES

Цекоева Фатима Касполовна
к.с.-х.н., доцент

Tsekoeva Fatima Kaspolovna
Cand.Arg.Sci., associate professor

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

В статье представлены результаты исследований суммарного испарения, режимов орошения и урожайности кукурузы на зерно в условиях степной зоны Республики Северная Осетия-Алания. Представлены эмпирические зависимости, характеризующие причинно-следственные связи в системе: «гидрометеорологические условия - орошаемый агробиоценоз», позволяющие усовершенствовать методологию планирования орошения и повысить точность планирования орошения с учетом пространственно-временной изменчивости климатических факторов

In the article, the results of the researches of total evaporation, the modes of irrigation and the productivity of corn on grain in the conditions of a steppe zone of the Republic of Northern Ossetia-Alania are presented. The empirical dependences characterizing relationships of cause and effect in system: "hydroweather conditions - an irrigated agrobiocenosis", allowing to improve methodology of irrigation planning and to increase accuracy of irrigation planning, taking into account existential variability of climatic factors are presented

Ключевые слова: ПЛАНИРОВАНИЕ ОРОШЕНИЯ, ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ, СУММАРНОЕ ИСПАРЕНИЕ, ДЕФИЦИТ ВОДНОГО БАЛАНСА, ОСАДКИ, КОЭФФИЦИЕНТ ПРИРОДНОГО УВЛАЖНЕНИЯ, УРОЖАЙНОСТЬ, РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ, ГИДРОМЕЛИОРАТИВНАЯ СИСТЕМА, МЕТОДОЛОГИЯ, ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ

Keywords: IRRIGATION PLANNING, HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS, EXISTENTIAL VARIABILITY, TOTAL EVAPORATION, DEFICIENCY OF WATER BALANCE, PRECIPITATION, FACTOR OF NATURAL MOISTENING, PRODUCTIVITY, IRRIGATION MODE, HYDROMELIORATIVE SYSTEM, METHODOLOGY, WATER MODE OF SOIL

Развитие орошения способствует решению целого ряда социально-экономических проблем села: получение гарантированных объемов сельскохозяйственной продукции, снижение в условиях орошаемого земледелия экономических рисков, связанных с потерями урожая из-за нестабильности погодных условий; увеличение базы налогообложения за счет прироста продукции у сельскохозяйственных производителей, в перерабатывающих отраслях и у реализующих организаций; создание новых рабочих мест для сельского населения; благоустройство населенных пунктов. Однако, как показывает опыт эксплуатации гидромелиоративных систем (ГМС), широкому развитию ирригации

сопутствует ухудшение экологической обстановки из-за подъема уровня грунтовых вод (УГВ), вторичного засоления, водной эрозии, подтопления, ухудшения качества природных вод. Во многом экологические проблемы вызваны нерациональной стратегией и тактикой эксплуатации оросительных систем, несовершенством технологий полива и планирования орошения. Необходимость рационального использования воды при орошении обусловлено растущим дефицитом пресной воды и стоимостью энергоресурсов, а также экологическими требованиями [1,2].

Повышение точности планирования водопользования на основе совершенствования методов нормирования орошения как основы оперативной деятельности оросительной системы, является одним из главных направлений, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов, повышение эффективности и экологической безопасности сельскохозяйственного производства на орошаемых землях. Точная оценка составляющих водного баланса, закономерностей формирования водного режима почвы в различных гидрометеорологических условиях необходима для оптимизации нормирования орошения. Суммарное испарение, являясь одной из главных расходных составляющих водного баланса, определяет динамику водного режима почвы, а тем самым нормы поливов и сроки их проведения [3,4].

Поэтому для реализации водосберегающих режимов орошения важное значение имеет наличие надежной и достоверной информации о влиянии гидрометеорологических условий на суммарное испарение, водный режим и урожайность сельскохозяйственных культур (Константинов А.Р., 1971, Алпатьев А.М., 1973, Харченко С.И., 1985, Ольгаренко Г.В., 1998).

В Республике Северная Осетия из общей площади пашни в 182,7 тыс. гектаров орошаемые земли занимают 76,7 тыс. гектаров, из которых на долю кормовых культур приходится более 30% площадей, кукурузы на

зерно-35%, овощей-10%, плодово-ягодные занимают до 5%.

Полевые исследования по изучению влияния режимов орошения сельскохозяйственных культур на качество планирования водопользования проводились в 1984-2010 гг. на орошаемых землях сельскохозяйственного предприятия "Красная Осетия", расположенного в зоне недостаточного увлажнения Республики Северная Осетия-Алания. Общая площадь орошаемых земель в хозяйстве составляет 5033 га, из них кукуруза на зерно занимает 3025 га (60,1 %), овощи - 500 гектаров, кормовые - 1450 гектаров.

На первом этапе исследования влияния влагообеспеченности на водный режим почвы, суммарное испарение, рост и развитие растений проводились на посевах кукурузы на зерно, т.к. в структуре посевных площадей на орошаемых землях кукурузе отведена ведущая роль.

По данным метеостанции Моздок, среднегодовая температура воздуха составляет 10,1 °С, сумма среднесуточных температур выше 10° равна 3400°, среднегодовое количество осадков 420 мм, относительная влажность воздуха 78 %. Климатические условия в годы проведения исследований были различны по температурному режиму и количеству осадков.

За годы исследований, по дефициту водного баланса (ДВБ), гидрометеорологические условия вегетационных периодов изменялись от «сухого» до «средневлажного», например: 1984 и 1988 годы были близки к «средневлажному»; 1985, 1990, 1995 годы – к «среднему»; 1986, 1987 годы – к «среднесухому», 2009 и 2010 годы - к «сухому».

Опытный участок представлен каштановыми и темно-каштановыми почвами, маломощными, с низким содержанием гумуса, по механическому составу, в основном, могут быть отнесены к легким суглинкам и тяжелосуглинистые. Они характеризуются высоким валовым содержанием азота, фосфора, калия, подвижными формами средне обеспечены и типичны для степной зоны Северной Осетии.

Опыт по изучению влияния гидрометеорологических условий на динамику водного баланса, суммарное испарение и продуктивность кукурузы закладывался в 6 вариантах. За контроль был принят 3 вариант (М), где поливы проводились расчетной поливной нормой, а влажность корнеобитаемого слоя почвы ($H = 0,6$ м) поддерживалась не ниже 80 % от наименьшей влагоемкости (НВ). На 1 и 2 вариантах поливы проводились в те же сроки, что и на 3 варианте, но поливные нормы снижались, соответственно, на 40 и 20 %; на 4 варианте поливы проводились в те же сроки, что и на 3 варианте, но поливная норма была увеличена на 20 % от расчетной. На вариантах 5 и 6 поливы проводились при снижении запасов доступной влаги в почве на 40% и 60% соответственно.

Опыты закладывались в четырехкратной повторности методом организованных повторений, по Б.А. Доспехову. Общая площадь опытной деланки – 0,15 га, учетной – 0,03 га. На экспериментальном участке высевался районированный гибрид кукурузы Краснодарский-427. Поливы проводились дождеванием, модернизированным агрегатом ДДА-100МА.

В «среднесухой» год, для поддержания влажности (W) корнеобитаемого слоя почвы не ниже 80 % от наименьшей влагоемкости (НВ), потребовалось: проведение 8 поливов оросительной нормой 360 мм, при суммах выпавших осадков 140 мм. Оросительные нормы по вариантам опыта изменялись от 220 до 500 мм при коэффициенте вариации 34,8%, суммарное испарение зависело от величины оросительных норм и изменялось от 437 до 570 мм, составив на контрольном варианте 537 мм (табл.1).

Таблица 1 - Составляющие водного баланса и урожайность кукурузы в «среднесухой» по ДВБ период вегетации (75%)

Варианты опыта	Составляющие водного баланса и урожайность							
	W _н , мм	W _к , мм	P, мм	M, мм	ET, мм	У, т/га	K _в , мм/т	K _м , мм/т
1. «0,6М»	205	128	140	220	437	3,34	130,8	65,9
2. «0,8М»	208	161	140	290	477	3,98	119,8	72,9
3. «М»	215	178	140	360	537	4,45	120,6	80,9
4. «1,2М»	207	206	140	430	571	4,70	121,5	91,5
Среднее	209,0	168	140	325	506	4,12	123,2	77,8
S, мм	4,35	32,6		90,3	82,9	0,6	5,13	10,95
V, %	2,08	19,4		27,8	16,4	14,6	4,16	14,07
НСР₀₅ = 0,41 т/га								

Пояснения к таблице:

S-стандартное отклонение; V-коэффициент вариации.

В структуре суммарного испарения в «среднесухой» по обеспеченности год на варианте «М» на долю оросительной воды пришлось 67,0%, осадков – 26,0 %, почвенных влагозапасов – 7%.

Увеличение оросительной нормы на 20% от расчетной обеспечило прибавку урожайности на 6 %. Снижение же оросительной нормы на 20 и 40 % приводило к уменьшению урожайности на 11 и 25 % соответственно.

Таким образом, в «среднесухой» год наибольшая продуктивность кукурузы обеспечена на 3 и 4 вариантах. Однако, наименьшие затраты оросительной воды на единицу урожайности (K_M) были отмечены на варианте «0,6М». Коэффициент водопотребления (K_B) менялся от 119,8 мм/т на варианте «0,8М» до 130,8 мм/т на варианте «0,6М» и на варианте «М» составил 120,6 мм/т.

В «средний» по обеспеченности PW год сумма выпавших осадков составила 203 мм. Для поддержания влажности почвы не ниже 0,8НВ потребовалось провести 6 поливов оросительной нормой 230 мм на контрольном варианте «М» (Суммарное испарение на варианте «М» составило 456 мм, а урожайность 5,3 т/га (табл. 2). В структуре суммарного испарения на контрольном варианте «М» на долю

оросительной воды пришлось более 50,0 %, осадков около 45,0%, почвенных влагозапасов - 5, 0%.

Увеличение оросительной нормы на 20 % от расчетной приводило к росту урожайности на 2,6 %, а снижение оросительной нормы на 20 и 40 % уменьшило этот показатель на 12 и 20 %, соответственно.

Таблица 2 - Составляющие водного баланса и урожайность кукурузы в «средний» по ДВБ период вегетации (50%)

Варианты опыта	Составляющие водного баланса и урожайность							
	W _н , мм	W _к , мм	P, мм	M, мм	ET, мм	У, т/га	K _в , мм/т	K _м , мм/т
1. «0,6М»	207	165	203	140	385	4,25	90,6	32,9
2. «0,8М»	218	184	203	180	417	4,68	89,1	38,5
3. «М»	225	202	203	230	456	5,30	86,0	43,4
4. «1,2М»	217	215	203	270	475	5,44	87,3	49,6
Среднее	217	192	203	205	433	4,92	88,3	41,1
S, мм	7,42	21,77		56,9	40,22	0,51	2,02	7,1
V, %	3,42	11,34		27,8	9,29	10,37	2,29	17,3
НСР₀₅ = 0,44 т/га								

В «Средневлажный» по обеспеченности дефицита водного баланса год, при величине осадков за период вегетации 300 мм, для поддержания влажности почвы ни ниже 0,8НВ потребовалось провести 3 полива оросительной нормой 120 мм на контрольном варианте «М». Изменение оросительных норм от 72 до 144 мм способствовало изменению испарения от 387 до 444 мм, а также урожайности от 4,82 до 5,80 т/га, снижение оросительной нормы на 20 и 40 % от расчетной приводило к снижению урожайности на 11 % и 17 %, а суммарного испарения на 3 % и 4 %, соответственно. Увеличение оросительных норм на 20 % от расчетной на варианте «М» приводило к увеличению урожайности кукурузы на 1,7 %, а суммарного испарения – на 2 %.

В «средневлажный» год наименьшие затраты оросительной воды на единицу урожайности (K_м) были на варианте «0,6М» – 14,9 мм/т, но

наибольшая продуктивность кукурузы была достигнута на вариантах «М» и «1,2М» – 5,78 и 5,88 т/га, соответственно (табл.3).

Таблица 3 - Составляющие водного баланса и урожайность кукурузы в «средневлажный» по ДВВ период вегетации (25 %)

Варианты опыта	Составляющие водного баланса и урожайность						
	Р, мм	М, мм	ΔW , мм	ЕТ, мм	У, т/га	К _В , мм/т	К _М , мм/т
1. «0,6М»	300	72	15	387	4,82	80,3	14,9
2. «0,8М»	300	96	6	402	5,43	74,0	17,7
3. «М»	300	120	6	426	5,78	73,7	20,7
4. «1,2М»	300	144	0	444	5,88	75,5	24,5
Среднее	300	108	6,8	415	5,48	75,9	19,5
S, мм		37,3	4,8	25,3	0,47	3,05	4,12
V, %		34,53	70,6	6,1	8,6	4,02	21,13
НСР₀₅ = 0,49 т/га							

Анализ опытных данных показывает, что для кукурузы, при низкой вариации теплообеспеченности вегетационного периода (менее 5%), сумма активных температур за годы исследований изменялась от 3200 до 3400 °С, уровень естественной влагообеспеченности изменялся от 140 до 300 мм, оросительные нормы от 120 до 360 мм. Коэффициенты вариации для испаряемости (E_0), осадков (Р) и оросительных норм (М) составили, соответственно, 40,7%, 50,1 %, 44,0%, т.е. изменчивость показателей выше средней, что говорит о необходимости учета изменчивости условий влагообеспеченности вегетационного периода и влажности почвы (табл.4,5).

Таблица 4 - Гидрометеорологические условия формирования суммарного испарения и урожайности кукурузы на зерно

Культура	Показатели	Средние	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Ошибка среднего
1	2	3	4	5	6
Кукуруза на зерно (n=25)	E ω	500	55,0	40,7	3,4
	P	114	34,3	50,1	10,3
	ET	440	68,3	25,5	5,16
	ΔW	30	15,0	50,0	16,66
	M	214	73,0	34,1	11,14
	Y	6,9	0,5	10,2	2,4

Таблица 5 - Парные коэффициенты корреляций суммарного испарения и урожайности с основными гидрометеорологическими факторами

Показатели	E ω	t	d ϕ	P	E ω - P	ET	M	Y
E ω (мм)	1	0,94	0,96	-0,84	0,85	0,96	0,72	0,75
T,(°C)	0,34	1	0,82	-0,85	0,93	0,75	0,60	0,08
d ϕ (мм)	0,96	0,92	1	-0,76	0,91	0,88	0,75	0,15
P(мм)	-0,84	-0,85	-0,76	1	-0,95	0,18	0,69	0,10
E ω - P(мм)	0,85	0,93	0,91	-0,95	0,85	1	0,98	0,62
ET(мм)	0,96	0,75	0,88	-0,80	0,95	1	0,80	0,85
M(мм)	0,75	0,60	0,70	0,69	0,98	0,80	1	0,53
Стандартное отклонение, мм	84,9	180,2	179	58,5	98,6	78,0	114	7,6
Коэффициент вариации, %	10,5	6,5	8,4	30,8	12,2	12,4	33,8	12,2

Различный уровень изменчивости гидрометеорологических и водно-балансовых характеристик указывают на отсутствие прямолинейных зависимостей между ними, позволяют сделать вывод о том, что наиболее точная количественная оценка влияния гидрометеорологических условий на рост и развитие растений, суммарное испарение посевов может быть получена с использованием нелинейных математических зависимостей. Главными причинами изменчивости величин суммарного испарения и урожайности являются изменчивость гидрометеорологических условий и влажности почвы.

Следовательно, необходимо получение серии математических уравнений, описывающих влияние изменения гидрометеорологических и гидрологических факторов на величину суммарного испарения, инфильтрации и расхода грунтовых вод в зону аэрации.

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований позволила получить зависимости «урожайность - влагообеспеченность» для кукурузы на зерно.

$$Y_0 = 0,205 + 1,455M_0 - 0,614M_0^2 \quad \eta = 0,92; 0,6 < M_0 < 1,5 \quad (1)$$

где

Y_0 – показатель, представляющий собой отношение фактической урожайности Y_ϕ к Y_{opt} , полученной при регулировании влажности почвы в пределах 0,8НВ-НВ в конкретном году;

M_0 – показатель, представляющий собой отношение фактической оросительной нормы (M_ϕ), обеспечивающей получение урожая Y_ϕ к оросительной норме M_{opt} , обеспечивающей поддержание влажности корнеобитаемого слоя почвы не ниже 0,8НВ-НВ в конкретном году и получение урожайности Y_{opt} .

На основании экспериментальных данных получены математические зависимости, описывающие влияние влагообеспеченности посевов на суммарное испарение, для конкретных фаз развития кукурузы (табл.6):

$$\frac{E\Gamma}{E\omega} = \Phi\left(\frac{W_H + W_K}{2W_{FC}}\right) \quad (2)$$

где

$E\Gamma$ - суммарное испарение за расчетный интервал времени, мм,

$E\omega$ - испаряемость рассчитанная по уравнению Иванова Н.Н. в модификации ВНИИ «Радуга», мм;

W_H, W_K - влагозапасы в почве на начало и конец расчетного периода, мм;

$W_{нв}$ - влагозапасы, соответствующие наименьшей влагоемкости, мм.

Полученные зависимости характеризуются высоким корреляционным отношением, изменяющимся от 0,80 до 0,85, что говорит о существенности связи, наилучшая сходимость экспериментальных и теоретических расчетов для всех фаз развития наблюдается при аппроксимации экспериментальных данных параболическими зависимостями типа:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 X^2 \quad (3)$$

где

Y - зависимая переменная, соответствующая E_T / E_w ;

X - независимая переменная, соответствующая $(W_n + W_k / W_{нв})$;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ - параметры уравнений.

Диапазон применимости полученных зависимостей, определяется диапазоном изменчивости величин экспериментальных точек значений и составляет для всех фаз развития 0,6-1,0. Такие зависимости позволяют достаточно точно, с ошибками, не превышающими 5 %, рассчитывать величины суммарного испарения при изменчивости гидрометеорологических условий вегетационного периода с учетом влагообеспеченности посевов.

Таблица 6 - Параметры зависимостей суммарного испарения кукурузы от влажности расчетного слоя почвы

Культура фаза	Параметры уравнения			Диспер- сия	Диапазон применяемо- сти
	α_0	α_1	α_2		
1	2	3	4	5	6
<u>Кукуруза на зерно</u>					
1 Всходы	-7,700	16,300	-8,2000	0,011	0,6-1,0
2 8-10 листьев	-3,000	8,500	-4,700	0,00018	
3 Выброс метелки	- 6,300	15,000	-7,700	0,0078	
4 Молочная спелость	-0,800	3,000	-1,100	0,00010	
5 Полная спелость	-2,400	6,800	-3,500	0,0010	

Разработка комплексного метода расчета суммарного испарения требует дальнейшего уточнения биологических коэффициентов суммарного испарения и получения закономерностей их изменчивости в зависимости от изменчивости агрометеорологических условий и влажности почвы. В целях дальнейшего совершенствования методики расчетов требуется получение достоверного эмпирического материала на основе проведения комплексных воднобалансовых и агрометеорологических исследований системы: *почва-растение-атмосфера*.

Предложенная методика позволяет учитывать изменчивость условий внешней среды и обеспечивает наиболее точное отражение динамики суммарного испарения, а следовательно, расчет режима орошения, что в итоге позволяет сократить удельные ресурсо-, энергоёмкость и повысить экологическую безопасность технологий орошения.

Литература

1. Ольгаренко В.И., Ольгаренко Г.В., Рыбкин В.Н. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем: Учебник для ВУЗов. - Коломна: ООО «Инлайт», 2006. - 485 с.
2. Ольгаренко Г.В. Совершенствование методики расчетов суммарного испарения // Мелиорация и водное хозяйство. - 1997.- № 2. - С.12.
3. Ольгаренко Г.В. Перспективы развития технологий и техники орошения // Мелиорация и водное хозяйство. - 2004. - № 3. - С.20.
4. Остапчик В.П. и др. Информационно-советующая система управления орошением. - К.: Урожай, 1989. - 248 с.