Оптимизация поливной нормы сельскохозяйственных культур на основе использования энергетических ресурсов**Ниятбай Нуржанович Хожанов¹, Юрий Германович Безбородов²**¹Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, г. Тараз, Республика Казахстан

khozhanov55@mail.ru

²ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

ubezborodov@rgau-msha.ru

Аннотация. Представлены результаты методологических исследований по расчету суммарного водопотребления и поливной нормы сельскохозяйственных культур на основе анализа использования энергетических ресурсов, радиационного баланса аридной зоны Республики Казахстан. Предлагается рассчитывать фактическое суммарное водопотребление и размер поливной нормы сельскохозяйственных культур через радиационный коэффициент местности (K_{rd}), который определяется функциональной зависимостью с суммарным дефицитом влажности воздуха за вегетационный период (Σd) и радиационным показателем конкретной местности (R). Полученные в результате расчетов размеры поливных норм составляют в среднем 838,9 м³/га, что на 76,40–83,90 м³/га превышает опытные данные и рассчитанные по формуле А.Н. Костякова. Вычисленные на метеостанциях Кордай, Тараз, Тюкен размеры поливной нормы ниже, чем опытные данные. Установленный факт дает основание считать, что на протяжении многих лет недостаточное обоснование при назначении поливных норм, и, следовательно, экономия оросительной воды способствовали деградации орошаемых массивов. Проведены расчеты суммарного водопотребления по показаниям 6 областных метеостанций. Расчет показателя суммарного водопотребления по абсолютной отметке не отличается от расчетного по методу С.М. Алпатьева более чем на 10%. Такую же разницу показывает расчет показателя суммарного водопотребления по радиационному показателю. Проведенные расчеты радиационного коэффициента местности показывают, что имеются энергетические возможности по оптимизации не только поливных норм и режима орошения, но и всей системы земледелия аридной зоны Республики Казахстан, которые обусловлены прежде всего, несовершенством эксплуатируемых гидромелиоративных систем, низким качеством поливов и другими причинами.

Ключевые слова: водопотребление; дефицит влажности воздуха; радиационный баланс; коэффициент водопотребления; оросительная норма; поливная норма.

Для цитирования: Хожанов Н. Н., Безбородов Ю. Г. Оптимизация поливной нормы сельскохозяйственных культур на основе использования энергетических ресурсов. Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 108–112. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp108-112>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Optimization of the irrigation rate of agricultural crops based on the use of energy resources**Nyetai N. Khozhanov¹, Yuri G. Bezborodov²**¹Taraz regional university named after M.KH. Dulaty, Taraz, Republic of Kazakhstan

khozhanov55@mail.ru

²Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

ubezborodov@rgau-msha.ru

Abstract. The results of methodological studies on the calculation of the total water consumption and irrigation rate of agricultural crops, based on the analysis of the use of energy resources, the radiation balance of the arid zone of the Republic of Kazakhstan are presented. It is proposed to determine the actual total water consumption and the size of the irrigation norm of agricultural crops through the radiation coefficient of the area (K_{rd}), which is determined by the functional dependence with the total lack of air humidity for the growing season (Σd) and the radiation indicator of a specific area (R). The dimensions of irrigation norms obtained as a result of calculations are on average 838.9 м³/ha, which is 76.40–83.90 м³/ha higher than the experimental data calculated according to the formula of A. N. Kostyakov. The dimensions of the irrigation norm calculated at the Kordai, Taraz, and Tyuken weather stations are lower than the experimental data. The established fact gives reason to believe that for many years insufficient justification for the appointment of irrigation standards, and, consequently, the saving of irrigation water contributed to the degradation of irrigated massifs. The calculations of the total water consumption according to the indications of 6 regional weather stations were carried out. The calculation of the total water consumption indicator by the absolute mark does not differ from the calculated one by the method of S. M. Alpatiev by more than 10%. The same difference is shown by the calculation of the total water consumption indicator for the radiation indicator. The calculations of the radiation coefficient of the area show that there are energy opportunities to optimize not only irrigation norms and irrigation regime, but also the entire farming system of the arid zone of the Republic of Kazakhstan, which are primarily due to the imperfection of the operated irrigation systems, low quality of irrigation and other reasons.

Keywords: evaporation; air humidity deficit; radiation balance; water consumption coefficient; irrigation rate; rate of watering.

For citation: Khozhanov N. N., Bezborodov Yu. G. Optimization of the irrigation rate of agricultural crops based on the use of energy resources. Agrarny nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(11):108–112. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp108-112>.

Введение. Путь к высокой продуктивности орошаемых полей лежит через широкое применение индустриальных технологий при возделывании сельскохозяйственных культур.

Сущность этих технологий состоит в создании оптимальных режимов – теплового, водного, питательного и других, при возделывании сельскохозяйственных культур, проведения полного комплекса выработанных наукой при-

емов обработки почвы и проведения поливов. Природно-хозяйственные условия юга Казахстана в целом обладают необходимым потенциалом и позволяют получать здесь высокие и гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур.

Дальнейшая интенсификация орошаемого земледелия заключается в целенаправленном управлении всеми факторами жизни растений и особенно водным режимом почв в условиях дефицита водных ресурсов. Решение поставленных задач связано с естественным разнообразием почвенно-климатических и хозяйственно-экономических условий основных зон орошаемого земледелия. В этой связи, появляется необходимость глубокого изучения процессов и закономерностей формирования мелиоративного режима почвогрунтов орошаемого массива.

Целью исследований является разработка и внедрение учитывающей разнообразие природно-климатических условий и агротехники возделывания, ландшафтно-восстановительной системы земледелия, обеспечивающей получение стабильного урожая сельскохозяйственных культур и повышение почвенного плодородия.

Методика исследований. Многочисленные результаты проведенных исследований свидетельствуют, что дифференциация по почвенно-климатическим зонам четко прослеживается по совокупности тепловых (энергетических) ресурсов и атмосферных осадков. Энергетическая составляющая ресурсов при определении влагообеспеченности географических зон выражается функцией испаряемости [1, 7, 8, 10].

Теоретические методы расчета эвапотранспирации, принятые ФАО (Продовольственной и сельскохозяйственной организацией), основанные на физических законах испарения, а также большинство эмпирических методов отражают функциональную зависимость испарения от различных показателей: климатических – температуры и относительной влажности воздуха, биологических – урожая.

По А.М. Алпатыеву эвапотранспирация связана с дефицитом влажности воздуха [2]:

$$E = K_6 \sum d, \quad (1)$$

где K_6 – биоклиматический коэффициент; $\sum d$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха для расчетного года в гПа.

Исследованиями установлено, на сероземных почвах Жамбылской области величина эвапотранспирации имеет прямую зависимость от размера оросительной нормы и в совокупности от режима орошения [5]. За три года орошения кукурузы в условиях, когда грунтовые воды не участвовали в водном балансе, оросительная норма, при уровне предполивной влажности 60-70-80 % НВ, составила 75,6, 76,6, 88 % соответственно. Величина остальных приходных статей уравнения водного баланса составила: использование осадков – от 9,6 до 14,3 % от суммарного водопотребления, почвенные влагозапасы – от 2,4 до 13,1 % суммарного водопотребления [5].

Основным показателем эффективности использования оросительной воды является коэффициент водопотребления, который по мере оптимизации водного и питательного режима почвы, совершенствования агротехнических приемов, эксплуатации оросительных систем адекватно этому снижается, а урожайность сельскохозяйственных культур значительно возрастает.

Коэффициент водопотребления культуры в пределах одной природно-географической зоны изменяется и зависит от режима орошения, свойств почвы, погодных условий и величины урожая [2, 5, 6].

С.И. Исабай определил коэффициенты водопотребления кукурузы в зависимости от предполивного порога влажности почвы и различном уровне грунтовых вод (табл. 1) [5].

В этих условиях водопотребление кукурузы изменялось от 3666 до 5417 м³/га.

Результаты исследований. Анализ многочисленных исследований показал, что в условиях дефицита оросительной воды назрела острая необходимость изыскания новых резервов технологий возделывания сельскохозяйственных культур [9]. Одним из возможных и приоритетных вариантов является капельное орошение, с соответствующим ему адекватным вариантом оценки эвапотранспирации.

В качестве универсального критерия оценки технологии возделывания сельскохозяйственных культур и адекватности эвапотранспирации предлагается радиационный коэффициент местности K_{Ra} , который вычисляется как отношение суммарного дефицита влажности воздуха за вегетационный период $\sum d$ к радиационному показателю местности R [3]. Предлагаемый коэффициент в отличие от коэффициента водопотребления K_v более точно указывает фактическую эвапотранспирацию географического местоположения (табл. 2).

Таблица 1

Значение коэффициента водопотребления кукурузы

Вариант опыта	Коэффициент водопотребления, м ³ /т		
	максимальный	минимальный	средний
Глубокое залегание грунтовых вод			
60 % НВ	1,89	1,11	1,38
70 % НВ	1,57	1,08	1,25
80 % НВ	1,46	1,07	1,21
Близкое залегание грунтовых вод			
60 % НВ	2,61	1,28	1,75
70 % НВ	1,75	1,07	1,30
80 % НВ	1,68	0,92	1,18
среднее	1,82	1,08	1,34

Расчет радиационного коэффициента местности

Метеостанции	$\sum d$, мм	K_{Rd} по отметке местности	K_{Rd} по дефициту влажности воздуха	K_{Rd} по R , кДж/см ²
Кордай	2214	13,4	12,7	8,5
Акыр-тобе	2560	11,4	11,4	9,8
Кулан	2519	11,6	14,7	10,7
Тараз	2309	11,4	11,5	10,2
Мерке	2513	11,7	11,5	10,3
Жуалы	2022	12,7	13,5	13,8
Среднее		12,0	12,6	10,6

Выявлена связь радиационного коэффициента местности K_{Rd} с суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха (2), радиационным показателем местности (3) и высотой местности (4):

$$K_{Rd} = 21,64 - 0,004\sum d, \quad (2)$$

$$K_{Rd} = 36,3 - 0,15R, \quad (3)$$

$$K_{Rd} = 0,004H + 8,9, \quad (4)$$

где R – радиационный показатель конкретной местности, кДж/см²; H – высота местности, м.

Далее, приравняв правые стороны уравнений, получим:

$$\sum d = 37,5 R - 3665; \quad (5)$$

$$\sum d = 3185 - H. \quad (6)$$

Рассчитанные по уравнениям (5) и (6) суммы дефицитов влажности воздуха по различным метеостанциям приведены в табл. 3.

Основываясь на данных С.М.Алпатьева ($E = K_{Rd}\sum d$), можно выделить показатель суммарного водопотребления в новой редакции.

$$E = K_{Rd}(37,5R - 3665); \quad (7)$$

$$E = K_{Rd}(3185 - H). \quad (8)$$

Расчеты показателей суммарного водопотребления по метеостанциям представлены в табл. 4.

Таблица 3

Расчетные суммы дефицитов влажности воздуха по метеостанциям

Метеостанция	$\sum d$ по метеоданным	$\sum d$ по H	$\sum d$ по R
Уланбель	3050	2919	3141
Мойынкум	2553	2835	2875
Толеби	2605	2730	3058
Умбет	3013	2673	3086
Отар	2035	2443	2391
Кордай	2214	2044	2283

Таблица 4

Расчет показателя суммарного водопотребления

Метеостанция	E по С.М. Алпатьеву, мм	E по H , мм	Разница с С.М. Алпатьевым	%, к С.М. Алпатьеву	E по R , мм	Разница с С.М. Алпатьевым	%, к С.М. Алпатьеву
Уланбель	28975	28898	-77	-0,26	28584	-391	-1,35
Мойынкум	26040	29200	+3160	+12,14	29037	+2997	+11,51
Толеби	26050	29211	+3161	+12,13	28751	+2701	+10,37
Умбет	30130	29135	-995	-3,30	28397	-1737	-5,77
Отар	24216	28827	+4611	-15,99	28684	+4468	+18,45
Кордай	24132	27389	+3257	-11,89	19411	-4721	-19,56
Среднее по абсолютной величине				9,29			11,17

Отсюда следует, что показатели суммарного водопотребления, рассчитанные по вышеприведенным эмпирическим формулам, мало отличаются друг от друга, но отличаются от расчетных по формуле С.М. Алпатьева в среднем на 10%. Поэтому в целях эффективного использования природно-ресурсных ресурсов и дальнейшего повышения продуктивности сельскохозяйственных культур следует вести исследовательские работы, направленные на снижение коэффициента водопотребления, вернее, показателя радиационного коэффициента местности K_{Rd} .

Как известно, режим орошения определяется нормами, сроками и числом поливов. Точное установление размеров поливных норм повышает продуктивность сельскохозяйственных культур и имеет исключительное значение, так как от размера поливной нормы зависит технологическая цепочка организационно-хозяйственных мероприятий на орошаемых землях, а именно установление сроков проведения поливов, продолжительность межполивных периодов, количество после поливных обработок и др.

Размер подаваемой при поливе воды рассчитывают по формуле А.Н. Костякова [6]

$$m = 100 h \alpha (\gamma_{нв} - \gamma_{исх}) \quad (9)$$

где m – поливная норма нетто, м³/га; α – плотность расчетного слоя почвы, т/м³; h – расчетный слой увлажнения почвы, м; $\gamma_{нв}$ – $\gamma_{исх}$ – влажность соответствующая наименьшей влагоемкости предполивная влажность почвы соответственно.

Для определения размера поливной нормы, основанной на показателях энергетических ресурсов, предложена формула

$$m = \frac{\sum d}{K_{Rd} R_H} \quad (10)$$

где m – поливная норма нетто, м³/га; K_{Rd} – радиационный коэффициент местности; R_H – радиационный индекс альтитуды местности.

Результаты расчета поливной нормы по предлагаемой формуле (10) в зависимости от географического местоположения представлены в табл. 5.

Заключение. Вычисленные суммы дефицитов влажности воздуха $\sum d$ по метеостанциям различны, вследствие чего расчетные поливные нормы для различных регионов также различны. По нашему мнению, данный факт обусловлен неравномерностью поступления энергетических ресурсов.

Кроме того, данные табл. 5 показывают, что средний размер расчетной поливной нормы составляет 838,9 м³/га, который на 76,40–83,90 м³/га ($\pm 10\%$) превышает опытные данные и расчеты по формуле А.Н. Костякова. На протяжении многих лет недостаток поливных норм в размере 10 % способствовал деградации орошаемых массивов. В целях стабилизации экологической ситуации орошаемого массива следует внедрять приемы ландшафтно-восстановительного земледелия, которые позволят в кратчайшие сроки устранить дисбаланс в ризосферной зоне.

В условиях аридного климата и низкого плодородия орошаемых земель для повышения продуктивности орошаемого гектара следует направить внимание на оптимизацию режима орошения сельскохозяйственных культур с учетом энергетических ресурсов региона.

Таблица 5

Сравнительные значения поливных норм

Метеостанция	$\sum d$, мм	K_{Rd}	R_H	m , м ³ /га
Кордай	2214	12,7	0,27	645,6
Кулан	2519	11,5	0,24	912,6
Тараз	2309	12,4	0,27	689,6
Мерке	2513	11,5	0,24	910,5
Жуалы	2022	13,5	0,16	936,1
Шокпак	2141	13,0	0,13	1266,8
Тюкен	2434	11,9	0,40	511,3
Среднее				838,9
Расчет по формуле А.Н. Костякова				
h , м	α , т/м ³	$\gamma_{нв}$, %	$\gamma_{исх}$, %	m , м ³ /га
0,70	1,52	21,6	14,5	755,4
Опытные данные [1]				
Люцерна первого года при 70 % НВ				900-1050
Люцерна 2–3 года при 70 % НВ				950-1200
Кукуруза на силос				600
Кукуруза на зерно				600
Среднее				762,5

1. Алпатыев А. М. О принципиальных основах охраны природы Земли (3-я часть) // Развитие и преобразование природной среды: Межвуз. сб. науч. тр. Л., 1980. С. 3–17.
2. Алпатыев А. М. Водопотребление культурных растений и климат // Режим орошения сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1965. С. 55–68.
3. Безбородов Ю. Г., Хожанов Н. Н., Ауганбаева Ж. С. Оценка продуктивности мелиоративных агроландшафтов Жамбылской области // Природообустройство. 2020. № 4. С. 22–27.
4. Данильченко Н. В. Методы определения суммарного водопотребления и расчет поливных режимов сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1965.
5. Исабай С. И. Водосберегающая технология орошения сельскохозяйственных культур на юге Казахстана. Тараз, 2002. 256 с.
6. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М., 1960. 621 с.
7. Кушнарев А. С. Методические предпосылки выбора способа обработки почвы // Техника в АПК. 2008. №1. С. 17–21.
8. Никольский Ю. Н., Шабанов В. В. Расчет проектной урожайности в зависимости от водного режима мелиорируемых земель // Гидротехника и мелиорация. 1986. № 9. С. 52–56.
9. Харченко С. И., Азарий М. С. Методика расчета суммарного водопотребления и оросительных норм по уравнениям водного и теплового балансов // Тр. ГТИ. 1966. Вып. 135. С. 24–27.
10. Шабанов В. В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. Л., 1981. 141 с.

REFERENCES

1. Alpatyev A.M. About the fundamental principles of nature protection of the Earth. *Development and transformation of the natural environment*. Interuniversity Herald: Collection of Articles. Leningrad; 1980: 3-17. (In Russ.).
2. Alpatyev A.M. Evaporation cultivated plants and climate. *Irrigation regime of agricultural crops*. Moscow; 1965: 55–68. (In Russ.).
3. Bezborodov Yu.G., Khozhanov N.N., Auganbayeva Zh.S. Assessment of the productivity of the reclamation agro-landscapes of Zhambyl region. *Environmental management*. 2020; 4: 22–27. (In Russ.).
4. Danilchenko N.V. Methods for determining the total water consumption and calculation of irrigation regimes of agricultural crops. Moscow; 1965. (In Russ.).
5. Isabay S.I. Water-saving technology of irrigation of agricultural crops in the south of Kazakhstan. Taraz; 2002: 256 p. (In Russ.).
6. Kostyakov A.N. Basics of land reclamation. Moscow; 1960: 621 p. (In Russ.).
7. Kushnarev A.S. Methodological prerequisites for selecting a method of tillage. *Technics in the agro-industrial complex*. 2008; 1: 17–21. (In Russ.).
8. Nicolsky Yu.N., Shabanov V.V. Calculation of the project yield depending on the water regime of reclaimed land. *Hydraulic engineering and land reclamation*, 1986; 9: 40–42. (In Russ.).
9. Kharchenko S.I., Azariy M.S. The method of calculating the total water consumption and irrigation norms according to the equations of water and heat balances. Leningrad; 1966: 135: 24–27. (In Russ.).
10. Shabanov V.V. Moisture availability of spring wheat and its calculation. Leningrad; 1981: 141 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 23.07.2021; одобрена после рецензирования 12.08.2021; принята к публикации 21.08.2021.
The article was submitted 23.07.2021; approved after reviewing 12.08.2021; accepted for publication 21.08.2021.