

УДК 626.810

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЕ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

Доктор техн. наук

Ж.С. Мустафаев

Б.Т. Райымбекова

Приведена методика и методология, проведены опытно-производственные исследования, для эколого-ландшафтного обоснования режима орошения сельскохозяйственных культур, основанные на принципе энергетической сбалансированности тепла, влаги и питательных веществ.

В 20 веке режимы орошения сельскохозяйственных культур в мировой практике научно-исследовательскими организациями разрабатывались исходя из такого увлажнения корнеобитаемого слоя почвы, которое обеспечивало их биологическую потребность с целью получения максимального урожая. На основе этих комплексных исследований разрабатывались дифференцированные режимы орошения сельскохозяйственных культур в пространственно-временных масштабах и были внедрены в производство. Однако во многих случаях такой подход не соответствует экологической целесообразности, так как не обеспечивает эволюционного направления почвообразовательного процесса, т.е. допускает на орошаемых землях формирование лугово-болотных почв.

Потребление сельскохозяйственными культурами воды в настоящее время в основном принято оценивать таким показателем, как суммарное водопотребления (E), то есть суммарным расходом оросительной воды (O_p), атмосферных осадков (O_c) и грунтовых вод (g), с учетом гидрогеохимического состояния орошаемых земель:

$$O_p^M = \frac{O_p - E \cdot K_2 \cdot K_c}{K_M},$$

где O_p^M – оросительная норма, учитывающая почвенно-мелиоративные и гидрогеологические условия орошаемого поля; O_p – оросительная норма (нетто) при благоприятных гидрогеологических и почвенно-

мелиоративных условиях орошаемого поля; E – суммарное водопотребление орошаемого поля; K_2 – коэффициент, учитывающий долю возможного участия грунтовых вод в потреблении сельскохозяйственных культур; K_c – коэффициент, учитывающий размер допустимого участия грунтовых вод в субиригации при изменении их минерализации; K_M – мелиоративный коэффициент, учитывающий суммарное испарение в зависимости от водно-физических свойства почвогрунтов, степень засоления и солесодержания почвы зоны аэрации.

При сохранении существующей системы оценки режима орошения сельскохозяйственных культур, неизбежно дальнейшее развитие неблагоприятных природных процессов лугового и болотного почвообразовательного процесса на орошаемых землях, их засоление и деградация. Стремление к повышению урожайности сельскохозяйственных культур и одновременно необходимость повышения плодородия почв и охраны природы вызывают противоречивые потребности регулирования водного режима почвы. Поэтому возникает необходимость эколого-экономического обоснования адаптивно-ландшафтного режима орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающие качественное улучшение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия, получение оптимального урожая при наименьшем отрицательном воздействии на окружающую среду. Таким образом, сущность мелиорации сельскохозяйственных земель заключается в качественном целенаправленном изменении и в управлении почвенными, гидрогеологическими, геохимическими и биохимическими процессами, что может быть обеспечено за счет регулирования потоков вещества и энергии. Одним из наиболее подходящих для современной практики проектирования мелиорации критериев оценки адаптивно-ландшафтного режима орошения сельскохозяйственных культур и потребности почвообразовательного процесса в орошении земель является гидротермический коэффициент («радиационный индекс сухости»):

$$\bar{R} = R / LO_c,$$

где R – радиационный баланс поверхности почвы (кДж/см² в год); L – скрытая теплота парообразования (2,5 кДж/см² в год на 1 мм слоя воды).

Преимущество этого показателя перед другими очевидно: во-первых, он характеризует условия тепло – и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, т.е. биологические процессы, во-вторых, определяет в значительной степени условия формирования почвенных, гидро-

геологических и геохимических условий и, в третьих, позволяет учесть характер и интенсивность режим орошения:

$$\bar{R} = \frac{R}{L(O_c + \Delta W + g + O_p)},$$

где g – интенсивность влагообмена между почвенными и грунтовыми водами, мм; ΔW – продуктивный запас влаги в расчетном слое почвы, мм.

Для определения изменчивости теплоэнергетического ресурса орошаемых земель можно использовать сумму температур воздуха ($\sum t, ^\circ\text{C}$), накопленную за вегетационный период сельскохозяйственными культурами или биологически активный период года, и на ее основе определить радиационный баланс (R) за i – ый год по формуле В.В. Шабанова (1988):

$$R = (13,93 + 0,0079 \sum t) \cdot 4,5,$$

в которой R измеряется в кДж/см² год.

Основными показателями биологического круговорота на сельскохозяйственных землях являются урожайность (\bar{Y}) и энергия почвообразования (Q):

$$\bar{Y} = (Y_i / Y_{max}) \cdot \int (\bar{R}) dt \quad \text{и} \quad Q = R \cdot \exp(-\alpha \cdot \bar{R}),$$

где α – коэффициент, учитывающий состояние поверхности почвы; Y_{max} – максимально возможная урожайность при данной радиации (R), данном уровне обеспеченности питательными веществами конкретной почвы при оптимальной для растений влажности почвы; Y_i – фактическая урожайности сельскохозяйственных культур.

Для лучшего понимания сказанного продемонстрируем это на примере орошения кукурузы на зерно в условиях Кызылординской области (табл. 1).

Надо отметить, что систематические исследования эколого-экономического обоснования адаптивно-ландшафтного режимов орошения в Центральной Азии практически не проводились или они имели случайный характер. Поэтому, на запросы производственных организации и фермерских хозяйств дать предложения такому режиму орошения сельскохозяйственных культур научно-исследовательские институты, не располагая опытными данными, часто затрудняются дать соответствующие рекомендации или дают на основе анализа производственных испытаний и на основе теоретических исследований.

Таблица 1

Экологически приемлемые нормы орошения кукурузы на зерно в условиях
Кызылординской области

Показатель	Месяц						Поливной период
	4	5	6	7	8	9	
Природно-энергетические ресурсы							
$t, ^\circ\text{C}$	16,3	22,7	28,4	29,9	27,5	20,3	24,1
$\sum t_M, ^\circ\text{C}$	489	704	852	927	852	609	4433
$K_t = \sum t_M / \sum t$	0,11	0,16	0,19	0,21	0,19	0,14	1,00
$R_M = K_t \cdot R,$ КДж/см ²	5,40	7,80	9,30	10,3	9,30	6,80	48,9
Экологически безопасные нормы орошения кукуруза на зерно при $\bar{R}=1$							
$E, \text{м}^3/\text{га}$		1130	1580	1700	1540		5950
$O_C, \text{м}^3/\text{га}$		198	80	40	37		355
$\Delta W, \text{м}^3/\text{га}$	400	-	-	-	-	-	400
$O_p, \text{м}^3/\text{га}$		532	1500	1660	1503		5195
t_{cp} / t_i	1,48	1,06	0,84	0,80	0,88	1,19	-
$T, \text{сут}$		16	13	12	13		
n		1	1	2	2		6
Экологически безопасные нормы орошения кукуруза на зерно при $\bar{R}=0,8$							
$E, \text{м}^3/\text{га}$		1412	1975	2125	1925		7437
$O_C, \text{м}^3/\text{га}$		198	80	40	37		355
$\Delta W, \text{м}^3/\text{га}$	400	-	-	-	-	-	400
$O_p, \text{м}^3/\text{га}$		814	1895	2085	1888		6682
t_{cp} / t_i	1,48	1,06	0,84	0,80	0,88	1,19	
$T, \text{сут}$		16	13	12	13		
n		1	2	2	2		7
Экологически безопасные нормы орошения кукуруза на зерно при $\bar{R}=1,2$							
$E, \text{м}^3/\text{га}$		941	1316	1416	1283		4856
$O_C, \text{м}^3/\text{га}$		198	80	40	37		355
$\Delta W, \text{м}^3/\text{га}$	400	-	-	-	-	-	400
$O_p, \text{м}^3/\text{га}$		343	1236	1376	1246	-	4181
t_{cp} / t_i	1,48	1,06	0,84	0,80	0,88	1,19	
$T, \text{сут}$		16	13	12	13		
n		1	1	2	1		5

В последние годы в Таразском государственном университете имени М.Х. Дулати ведутся исследования по эколого-экономическому обоснованию адаптивно-ландшафтного (гидротермического) режима орошения земель. На основе их разработана схема опыта, где режим орошения кукурузы на зерно назначается при различных значениях гидротермического коэффициента («радиационный индекс сухости»): поливные нормы каждого варианта принимаются исходя из сбалансированной обеспеченности теплового и водного режима орошаемых земель (табл. 2).

Таблица 2

Рекомендуемая схема опыта для изучения адаптивно-ландшафтного (гидротермического) режима орошения кукурузы на зерно

Варианты опыта	Расчетный слой увлажнения, м	Число поливов	Норма полива	Поливы проводят в фазы развития кукурузы или сроки полива
Контрольный	0,6			Полив проводят от всходов до начала восковой спелости при снижении влажности в слое 0,6 м до 80 % НВ
$\bar{R} = 0,8$	0,6	1	800	Посев – всходы – (7...8) листьев
		1	800	(7...80) листьев – выметывание
		1	800	Выметывание – цветение
		1	800	Цветение – молочная спелость
		2	995...1000	Молочная спелость – восковая спелость зерна
$\bar{R} = 1,0$	0,6 м	1	900	Посев – всходы – (7...8) листьев
		1	900	(7...80) листьев – выметывание
		1	900	Выметывание – цветение
		2	1000	Цветение – молочная спелость
		2	1000	Молочная спелость – восковая спелость зерна

Варианты опыта	Расчетный слой увлажнения, м	Число поливов	Норма полива	Поливы проводят в фазы развития кукурузы или сроки полива
$\bar{R} = 1,2$	0,6	1	800	Посев – всходы - (7...8) листьев
		1	800	(7...80) листьев – выметывание
		1	800	Выметывание – цветение
		1	900	Цветение-молочная спелость
		1	900	Молочная спелость - восковая спелость зерна

Разовая почвенно-экологическая норма техногенных нагрузок на орошаемых землях (m) определяется с учетом водно-физических свойств почвы и биологических особенностей сельскохозяйственных культур:

$$m = 100 \cdot H \cdot d(\beta_{не} - \beta_o),$$

где $\beta_{не}$ – наименьшая влагоемкость, % от массы абсолютно сухой почвы; d – плотность почвы, г/см³; β_o – предполивная влажность почвы, соответствующая оптимальному пределу испарения влаги из почвы; H – мощность корнеобитаемого слоя сельскохозяйственных культур.

При этом, параметры ($\beta_{не}$) и (d) характеризуют водно-физические свойства почвы, а (β_o) и (H) – биологическую особенность сельскохозяйственных культур.

Продолжительность межполивного периода определяется с учетом термического режима декады или месяцев вегетационного периода:

$$T = \frac{m \cdot L}{R_i} \left(\frac{t_{cp}}{t_i} \right),$$

где R_i – среднесуточный радиационный баланс за вегетационный период, кДж/см²; t_{cp} – среднесуточная температура воздуха в вегетационный период; t_i – среднесуточная температура воздуха i -ой декады или месяцы.

Анализ результатов опытов, выполненных по этим схемам, позволит всесторонне подойти к эколого-экономическому обоснованию адаптивно-ландшафтных режимов орошения сельскохозяйственных культур в

годы с различной тепло- и влагообеспеченностью и затратами энергии на почвообразование в различных природно-климатических условиях. При этом критерием оценки оптимального эколого-ландшафтного режима орошения является: урожайность сельскохозяйственных культур (Y_j) или стоимостная оценка полученных от реализации продукции (B_t), затраты энергии почвообразовательного процесса (Q), компенсационные затраты на поддержание плодородия почв (C_i^{np}), биологическая продуктивность почвы (\bar{P}_i) и оросительной воды ($O_p = O_{pi} / Y_i$) на единицу получаемого урожая (m^3/t или m^3/c).

Стоимостная оценка эколого-экономической эффективности орошения определяется по В.Н. Краснощекову [1]:

$$B_t = \sum_{i=0}^n Y_j^{op} \cdot K_{wj} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot F \cdot \alpha_j \cdot KЗИ \cdot \varphi_j,$$

где Y_j^{op} – потенциальная урожайность j -й культуры на орошаемых землях при оптимальных сочетаниях всех факторов внешней среды, т/га; K_{wj} – коэффициент, учитывающий отклонение влажности корнеобитаемого слоя почвы от оптимального значения для j -й культуры; K_1 – коэффициент, учитывающий равномерность увлажнения земель различной поливной техникой; K_2 – коэффициент снижения урожайности из-за осолонцевания почв из-за низкого качества оросительной воды; K_3 – коэффициент несоответствия фактического содержания элементов минерального питания в почве оптимальному, в долях от максимально возможного в данных условиях; K_4 – коэффициент отклонения теплового режима корнеобитаемого слоя почвы от оптимального; K_5 – коэффициент, учитывающий влияние агролесомелиораций на урожайность сельскохозяйственных культур; K_6 – коэффициент, характеризующий не оптимальность для растений глубины грунтовых вод при близком их расположении; F – площадь земель, на которой проводится орошение; α – доля j -й культуры в севообороте; $KЗИ$ – коэффициент земельного использования; φ – цена реализации продукции j -й культуры в году t , тенге за 1 тонну.

Компенсационные затраты на поддержание плодородия почвы (C_t^{np}) определяются по следующей формуле [1]:

$$C_t^{np} = C_t^{zym} + C_t^{gipc} + C_t^{zn} + C_t^{пром} + C_t^{dp} + C_t^{cb} + C_t^a,$$

где C_t^{zym} – ежегодные затраты на восстановление плодородия почвы, снижение которого произошло в результате нарушения биологических, гидрологических и геохимических процессов, хозяйственно-экономических условий, а также влагообмена между почвенными и грунтовыми водами; C_t^{gipc} – ежегодные затраты на гипсование (или промывку, в зависимости от природно-климатической зоны) орошаемых земель с целью предотвращения угрозы осолонцевания; C_t^{zn} – земельный налог, размер которого зависит от уровня плодородия почвы; C_t^{dp} – затраты на эксплуатацию дренажа; C_t^{cb} – плата за сброс коллекторно-дренажных вод; C_t^a – плата за использование водных ресурсов.

Предложенная методика исследования эколого-экономической обоснования адаптивно-ландшафтного режима орошения, в основу которой положен принцип энергетической сбалансированности тепла, влаги и питательного вещества, может быть использована для проведения исследований по водосберегающим технологиям орошения в аридной зоне.

Таким образом, теоретическое и экспериментальное эколого-экономическое обоснование адаптивно-ландшафтного (гидротермического) режима орошения сельскохозяйственных земель позволяет:

- обосновать состав комплексных мелиорации, включающих технику и технологию орошения, обеспечивающих целенаправленное регулирование биологического и геологического круговорота воды и химических веществ;

- определить экологически безопасные нормы орошения, т.е. пределы антропогенной нагрузки на ландшафты, обеспечивающих экологическую устойчивость природной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснощеков В.Н. Эколого-экономическое обоснование эффективности комплексных мелиораций в системах адаптивно-ландшафтного земледелия // Мелиорация и водное хозяйство, №1. – 2003. – С. 18-21.

