

УДК 631.671.1:635.1/.7:633.2

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЙ РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР И МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ БЕЛАРУСИ

А.П. Лихацевич, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук

Г.В. Латушкина, кандидат технических наук

Л.Н. Осирко, младший научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: режим орошения, почвенные влагозапасы, водопотребление растений, поливная норма, оросительная норма

Введение

В условиях Беларуси имеет место значительная изменчивость естественной влаготеплообеспеченности вегетационных периодов по годам. Наряду с прохладными и дождливыми в течение вегетации ежегодно встречаются жаркие и засушливые периоды разной продолжительности. Возникающий дефицит почвенной влаги сдерживает рост и развитие растений и, в конечном итоге, является причиной снижения урожайности [1]. С повышением интенсификации производства растениеводческой продукции в этих условиях возрастает интерес к применению орошения. Орошение является кардинальным мелиоративным мероприятием, призванным восполнить в засушливые периоды вегетации недостаток влаги для растений и обеспечить условия для получения запланированных урожаев.

Важнейшей характеристикой режима орошения является оросительная норма. Она суммирует количество воды, поданной на единицу орошаемой площади за оросительный период, и зависит от естественной влаготеплообеспеченности растений, имеющей вероятностный характер. В связи с этим проектные режимы орошения рассчитываются за многолетний период по данным метеорологических станций в разных климатических зонах. В результате водобалансовых расчетов для орошаемых культур получают нормы водопотребности заданной вероятности повторения.

Методика и объекты исследований

По признакам естественного увлажнения и теплообеспеченности на территории Беларуси традиционно выделяют три гидролого-климатические зоны — северную, центральную и южную. При анализе многолетних колебаний этих признаков по территории Беларуси были использованы данные наблюдений 42 метеостанций, приблизительно равномерно распределенных по данным гидролого-климатическим зонам республики. Для расчета оросительных норм сформирована соответствующая база данных, вклю-

чающая метеорологические показатели за три последних десятилетия [1].

В табл. 1 приведены исходные почвенно-гидрологические показатели режима орошения, установленные по результатам многолетних полевых исследований, проведенных в разных почвенно-климатических условиях.

Таблица 1 — Почвенно-гидрологические показатели проектного режима орошения

Показатели	Почвы по гранулометрическому составу		
	Песчаные	Супесчаные	Суглинистые
Мощность увлажняемого (расчетного) слоя почвы, см	50	45	40
Верхний предел — наименьшая влагоемкость в расчетном слое почвы (НВ), мм	65	105	140
Нижний предел — влажность, соответствующая разрыву водных капиллярных связей в почве, мм / (% от НВ)	35 / 54	65 / 62	90 / 64

Оптимальная для растений амплитуда колебаний почвенных влагозапасов ($\Delta W_{\text{опт}}$) определялась по формуле [2]:

(1)

$$\Delta W_{\text{опт}} = h(\beta_{\text{В}}^{\text{об}} - \beta_{\text{Н}}^{\text{об}}),$$

где h — мощность расчетного слоя, см; $\beta_{\text{В}}^{\text{об}}$, $\beta_{\text{Н}}^{\text{об}}$ — соответственно верхняя и нижняя границы оптимальной для растений влажности почвы, в % от объема почвы.

Важнейшим показателем, от которого зависят режим и нормы орошения, является водопотребление растений. Процесс водопотребления обусловлен множеством факторов, основными из которых являются метеорологические условия, увлажненность корнеобитаемого слоя почвы, биологические особенности культур, фазы их развития. Интенсивность водопотребления изменяется для каждой культуры в течение вегетационного периода по характерной кривой, координаты которой представлены биоклиматическими коэффициентами, установленными на основе многолетних экспериментов, выполненных при оптимальной влажности почвы (табл. 2). В свою очередь, поливные нормы зависят от фазы развития сельскохозяйственных культур и вододерживающей способности почв орошаемых участков [2]. В целях рационального использования водных ресурсов поливные нормы в условиях Беларуси, как доказано многочисленными исследованиями, должны быть небольшими. В разработанном в 2009 г. нормативном документе ТКП «Оросительные системы. Правила проектирования» средние вегетационные поливные нормы ранжированы по почвам и составляют: 15—20 мм для песчаных почв; 20—25 мм — для супесчаных почв; 25—30 мм — для суглинистых почв. В расчетах норм орошения использованы поливные нормы, рекомендованные для дерново-подзолистых почв [2]. При этом, в соответствии с

Таблица 2 — Биоклиматические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур

Культура	Период	Биоклиматические коэффициенты K_b по декадам от начала вегетации												Среднее за весь период
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Капуста поздняя	Декада	0,83	0,98	1,06	1,13	1,19	1,24	1,23	1,06	0,91	0,78	0,64	0,55	0,97
Морковь	-«-	0,49	0,59	0,72	0,8	0,97	1,16	1,22	1,44	1,16	0,91	0,72	0,43	0,88
Свекла столовая	-«-	0,48	0,56	0,74	0,9	1,03	1,06	1,22	1,11	0,98	0,88	0,7	-	0,88
Многолетние травы (пастбище)	Цикл стравливания	0,85	0,91	1,06	0,94	0,72	-	-	-	-	-	-	-	0,90

известной закономерностью, величина поливной нормы увязывалась с водоудерживающей способностью почв и мощностью корнеобитаемого слоя. Поскольку в ТКП указано, что поливные нормы должны изменяться в процессе роста и развития растений, нами выполнена дифференциация поливных норм по периодам: начало, середина, завершение вегетации. Для этого использованы хронологические графики биоклиматических коэффициентов рассматриваемых культур. Наступление среднего и завершающего периодов вегетации определялось путем осреднения значений биоклиматических коэффициентов по возрастающей и ниспадающей ветвям этих графиков. Для каждого периода вегетации эти сроки соответствовали

$$K_{\text{бср.}} = \frac{K_{\text{бmin}} + K_{\text{бmax}}}{2}, \quad (2)$$

где $K_{\text{бср.}}$, $K_{\text{бmin}}$, $K_{\text{бmax}}$ — соответственно, средний, минимальный и максимальный за период вегетации биоклиматические коэффициенты.

Методика осреднения биоклиматических коэффициентов по возрастающей и ниспадающей ветвям биологических кривых показана на рис. 1 на примере капусты поздней.

Для определения оросительной нормы (при условии глубокого залегания уровней грунтовых

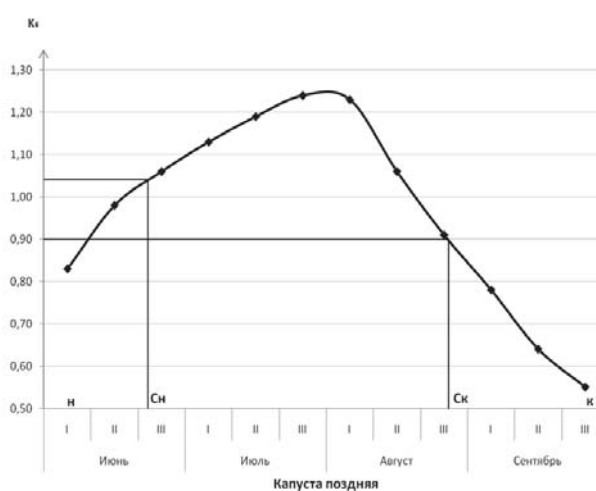


Рисунок 1 — Хронологический график биоклиматических коэффициентов для капусты поздней.

вод на орошаемых участках) по декадам вегетационного периода последовательно рассчитывались влагозапасы в расчетном слое почвы на конец каждой декады:

$$W_{ki} = W_{ni} + P_i - \varphi_i E_i - C_i, \quad (3)$$

где W_{ki} — влагозапасы в расчетном (корнеобитаемом) слое почвы на конец i -й декады, мм; W_{ni} — влагозапасы в расчетном (корнеобитаемом) слое почвы на начало i -й декады, мм; P_i — осадки за i -ю декаду по данным ближайшей метеостанции, мм; φ_i — коэффициент корректировки водопотребления, зависящий от влагозапасов почвы на начало i -й декады; E_i — водопотребление культуры за i -ю декаду при оптимальной влажности почвы, мм; C_i — потери влаги атмосферных осадков на сток за пределы корнеобитаемого слоя в течение i -й декады, мм.

Коэффициент корректировки водопотребления вычислялся в каждой декаде по формуле А.П. Лихацевича [2]

$$\varphi_i = \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{W_{nb}}{W_{ni}} - 1 \right)^2 \right], \quad (4)$$

где W_{nb} — влагозапасы почвы при наименьшей влагоемкости, мм.

Водопотребление сельскохозяйственных культур определялось с использованием биоклиматического метода [2]

$$E_i = 1,35 n_i K_{\phi_i} d_i^{0,5}, \quad (5)$$

где n_i — число суток в i -декаде; K_{ϕ_i} — биоклиматический коэффициент в i -й декаде, соответствующий оптимальной влажности почвы, принимался по данным табл. 2; d_i — среднесуточные дефициты влажности воздуха в i -й декаде, мб/сут, по данным ближайшей к орошаемому участку метеостанции.

При переходе от конечных влагозапасов (W_{ki}) к влагозапасам на начало следующей декады (W_{ni+1}) возможны следующие случаи:

- 1) Если $W_{ki} > W_{nb}$, влагозапасы на начало следующей декады рассчитываются как

$$W_{ni+1} = W_{ki} - C_i, \quad (6)$$

$$C_i = K_c (W_{ki} - W_{nb}), \quad (7)$$

где K_c — коэффициент, учитывающий продолжительность стока в зависимости от морфометрических характеристик и гранулометрического состава почвы [2], принимается:

- 1,0 — для песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почв;
 0,95 — для среднесуглинистых почв;
 0,90 — для тяжелосуглинистых и глинистых почв.
- 2) Если $W_{\text{пi}} < W_{\text{ки}} \leq W_{\text{нв}}$, то $C_i = 0$ и влагозапасы на начало следующей декады равны

$$W_{\text{пi+1}} = W_{\text{ки}}, \quad (8)$$

где $W_{\text{пi}}$ — предполивные влагозапасы в i -й декаде, мм, рассчитываемые по формуле:

$$W_{\text{пi}} = W_{\text{нв}} - 1,5 m_i, \quad (9)$$

где m_i — поливная норма в i -й декаде, мм.

В соответствии с (9) после проведения полива в почве сохранялась (резервировалась) свободная емкость, в среднем равная $0,5 m_i$, способная удерживать выпадающие в межполивной период атмосферные осадки.

- 3) Если $W_{\text{вз}} < W_{\text{ки}} \leq W_{\text{пi}}$, то при определении влагозапасов на начало следующей декады учитывались поливы

$$W_{\text{пi+1}} = W_{\text{ки}} + m_i n_i, \quad (10)$$

где $W_{\text{вз}}$ — влагозапасы завядания, мм; n_i — количество поливов в i -й декаде (шт.), вычисляется по формуле

$$n_i = \frac{1}{m_i} (W_{\text{пi}} - W_{\text{ки}}). \quad (11)$$

- 4) Если $W_{\text{ки}} \leq W_{\text{вз}}$, расчетные влагозапасы на начало следующей декады устанавливались равными влагозапасам завядания

$$W_{\text{пi+1}} = W_{\text{вз}}, \quad (12)$$

при этом число поливов в i -й декаде равно

$$n_i = \frac{1}{m_i} (W_{\text{пi}} - W_{\text{вз}}). \quad (13)$$

Оросительная норма определялась как сумма поливных норм за вегетационный период:

$$M = \sum_{i=1}^k m_i, \quad (14)$$

где k — количество расчетных интервалов (декад) в оросительном периоде.

Оросительные нормы, вычисленные по приведенному выше алгоритму с использованием метеорологической информации за 30-летний период (1980—2009 гг.) по 42 метеостанциям Беларуси, сравнивались с оросительными нормами, вычисленными по тем же данным, но по общепринятой методике без резервирования свободной емкости в почве в процессе полива.

Результаты и обсуждение

В нормативном документе ТКП «Оросительные системы. Правила проектирования» приведены оросительные нормы, рассчитанные по методике, исключая резервирование в процессе полива свободной емкости в почве для приема атмосферных осадков, вероятность выпадения которых в условиях Беларуси достаточно велика. Недостатком является то, что при таком режиме орошения все выпадающие сразу же после полива атмосферные осадки идут на непродуктивный сброс из корнеобитаемого слоя.

Повышение эффективности использования водных ресурсов при орошении с резервированием в процессе полива свободной емкости в почве поясняется данными табл. 3, в которой приведены подекадные показатели водного баланса на примере оросительного периода 2004 года для поля с капустой на супесчаных почвах. Как видим,

Таблица 3 — Показатели водного баланса за оросительный период 2004 года для поля с капустой на супесчаных почвах в Минском районе

Показатели водного баланса	Июнь			Июль			Август		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Атмосферные осадки, мм	6	30	38	23	4	104	14	24	68
Поливная норма, мм	10	-	-	-	20	-	-	25	-
Количество поливов	1	-	-	-	2	-	-	1	-
Задержано дополнительно в почве атмосферных осадков (резервная емкость), мм	-	-	-	-	-	20,0	-	-	12,5
Внутрипочвенный сток за вычетом задержанных в почве атмосферных осадков, мм	-	-	-	-	-	32,8	-	-	18,5
Внутрипочвенный сток при отсутствии резервной емкости в почве, предназначенной для приема и удержания атмосферных осадков, мм	-	-	-	-	-	52,8	-	-	31,0

при двух поливах нормой 20 мм, проведенных во второй декаде июля, в почве был сохранен резерв величиной 20 мм для приема и удержания атмосферных осадков, что позволило на эту же величину снизить внутрипочвенный сток после интенсивных дождей, выпавших сразу же после полива в 3-й декаде июля. Аналогично, во второй декаде августа при проведении одного полива была зарезервирована свободная емкость, способная принять и удержать 12,5 мм атмосферной влаги, что сохранило от непродуктивного сброса соответствующую часть атмосферных осадков, выпавших сразу же после полива

в 3-й декаде августа. Заметим, что при этом водно-солевой режим растений даже несколько улучшился за счет снижения вымыва инфильтрационным потоком питательных веществ из корнеобитаемого слоя.

Таким образом, суммарные непродуктивные потери атмосферной влаги на внутр-рипочвенный сток в течение оросительного периода 2004 г. при назначении поливов с использованием усовершенствованной методики расчета режима орошения оказались на 32,5 мм меньше, что позволило соответственно уменьшить оросительную норму.

В качестве примера в табл. 4 приведены результаты сравнения среднееголетних оросительных норм, рассчитанных по усовершенствованной и общепринятой методикам, для капусты на супесчаных почвах в южной гидролого-климатической зоне Беларуси. Результаты сравнения показывают, что сохранение при поливе резервной емкости в

Таблица 4 – Экономия поливной воды в южной гидролого-климатической зоне при орошении капусты на супесчаных почвах с использованием усовершенствованной методики назначения поливов

Метеостанции	Среднееголетние оросительные нормы, мм		Среднееголетняя экономия поливной воды, мм
	рассчитанные по общепринятой методике	рассчитанные по усовершенствованной методике	
Слуцк	150	127	23
Гродно	156	138	18
Ганцевичи	147	127	20
Ивацевичи	169	143	26
Пружаны	151	129	22
Высокое	172	156	16
Полеская	155	128	27
Брест	186	159	27
Пинск	171	147	24
Жлобин	174	146	28
Октябрь	160	143	17
Гомель	178	154	24
Василевичи	151	126	25
Житковичи	158	126	32
Мозырь	172	151	21
Лельчицы	168	145	23
Брагин	167	144	23
В среднем по зоне	164	140	24

почве, предназначенной для приема и удержания выпадающих в течение вегетации атмосферных осадков, является достаточно эффективным приемом, способствующим рациональному использованию атмосферной влаги. В среднем по Беларуси экономия составляет 21—24 мм, что приблизительно соответствует одной поливной норме (табл. 4).

В табл. 5 приведены результаты сравнения среднееголетних оросительных норм для овощных культур (капуста поздняя, морковь, свекла столовая) и многолетних трав пастбищного использования, рассчитанных по гидролого-климатическим зонам Беларуси по общепринятой и усовершенствованной методикам. Данные табл. 5 наглядно

Таблица 5 — Сравнительный анализ значений среднееголетних оросительных норм (мм), рассчитанных по разным методикам для овощных культур и многолетних трав на дерново-подзолистых почвах, мм

Гидролого-климатические зоны	Культура	Методика расчета		Экономия поливной воды
		общепринятая	усовершенствованная	
Северная	Капуста	127	107	21
	Морковь	110	87	23
	Свекла	98	79	19
	Многолетние травы (пастбище)	114	91	23
Центральная	Капуста	149	128	21
	Морковь	135	108	27
	Свекла	117	95	22
	Многолетние травы (пастбище)	135	111	24
Южная	Капуста	162	140	22
	Морковь	148	120	28
	Свекла	128	106	22
	Многолетние травы (пастбище)	177	148	29

Таблица 6 — Оценка экономической эффективности использования усовершенствованной методики расчета режима орошения капусты на дерново-подзолистых почвах

Гидролого-климатические зоны Беларуси	Оросительные нормы (мм)		Ежегодные эксплуатационные затраты на орошение (долл. США/га)		Снижение затрат при усовершенствованном режиме орошения (долл. США/га)
	Общепринятая методика расчета	Усовершенствованная методика расчета	При общепринятом режиме орошения	При усовершенствованном режиме орошения	
Северная	120	100	95,8	80,1	15,7
Центральная	140	119	112,2	95,1	17,1
Южная	153	131	122,5	104,7	17,8

показывают, что сохранение при поливе резервной емкости, предназначенной для приема и удержания в почве выпадающих в течение вегетации атмосферных осадков, способствует, во-первых, экономии поливной воды. В целом по Беларуси эта экономия для разных культур колеблется от 18 до 31 мм. Во-вторых, в соответствующей пропорции экономятся и энергоресурсы, затрачиваемые на подачу воды от водосточника к орошаемым участкам.

В табл. 6 на примере капусты на супесчаных почвах выполнена оценка экономической эффективности орошения при использовании усовершенствованной методики расчета режима орошения. В соответствии с приведенными данными в среднем за многолетний период экономия в денежном выражении оценивается в размере 15,7—17,8 долл. США/га.

Заключение

Оросительные нормы для овощных культур и многолетних трав распределяются по территории Беларуси в соответствии с установленной зональностью, повышаясь по направлению с севера на юг. Наибольшего количества влаги дополнительно к выпадающим атмосферным осадкам требуется при выращивании капусты (от 104—111 мм в северной зоне до 142 мм в южной). Несколько меньше воды требуется при орошении моркови (от 81—93 мм в северной зоне до 115—126 мм в южной) и свеклы (от 74—83 мм в северной зоне до 101—110 мм в южной). Многолетние травы также относятся к влаголюбам, потребляя в среднем поливной воды от 84—97 мм в северной зоне до 140—154 мм — в южной.

За счет сохранения при поливе резервной емкости в почве, способной принимать и удерживать выпадающие в течение оросительного периода атмосферные осадки, обеспечивается экономия около 10—15 % поливной воды и пропорционального количества энергии, расходуемой на подачу воды от водосточника к орошаемому полю. Эту экономию можно оценить в среднем в размере 16,0—17,5 долл. США/га. Кроме того, дополнительного повышения урожайности орошаемых культур можно ожидать за счет уменьшения их переувлажнения атмосферными осадками, выпадающими сразу же после полива и соответственного снижения эрозии и вымыва инфильтрационным потоком питательных веществ из корнеобитаемого слоя. Общий эффект от улучшения влагообеспеченности за счет более рационального режима орошения будет зависеть от экономики производства орошаемой культуры.

Литература

1. Лихацевич, А.П., Латушкина, Г.В., Вага, А.В., Осирко, Л.Н. Оценка изменения засушливости вегетационных периодов на территории Беларуси // Мелиорация. — 2011. — №2(66). — С. 67—74.

2. ТКП 45-3.04-178-2009 (02250) Оросительные системы. Нормы проектирования: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Введены в действие с 29.12.2009 г. — Минск. — 2010. — 74 с.

Summary

Likhatsevich A., Latushkina G., Oskirko L.

RESOURCE-SAVING IRRIGATION MODE FOR VEGETABLES AND PERMANENT GRASSES ON SOD-PODZOL SOILS OF BELARUS

The report on improved calculation methods of project irrigation mode is presented. It is proved that the preservation while watering with overhead irrigation of backup capacity, intended for intake and keeping of fall out precipitation during vegetation, is an effective method which help to use water resources rationally. Calculations show that on the average, while watering at the expense of saving backup capacity, 10-15 % of irrigation water are economized during vegetation in soil and proportional amount of energy is saved for water feed from irrigation head to the filed.

Поступила 6 декабря 2012 г.