

ЗАВИСИМОСТЬ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ ОТ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А.П. Лихацевич, доктор технических наук

Г.В. Латушкина, кандидат технических наук

И.В. Ополько, младший научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации»

г. Минск, Беларусь

Ключевые слова: дождевание, водный баланс, поливная норма, норма орошения, эвапотранспирация, режим орошения, открытый и защищенный грунт

Введение

Результаты исследований режимов орошения сельскохозяйственных культур в регионах с недостатком естественной влагообеспеченности свидетельствуют о существенной зависимости урожая от степени увлажнения почвы. Однозначно установлено, что с повышением уровня увлажненности почвы пропорционально растет и урожайность орошаемой культуры, если при этом отсутствует переувлажнение и обеспечен свободный воздухообмен в корнеобитаемой зоне.

Повышение влагообеспеченности растений при орошении достигается за счет проведения более частых поливов меньшими нормами. При этом, естественно, число поливов в течение вегетационного периода возрастает. Соответствующим образом это влияет и на величину оросительной нормы. В свою очередь, от оросительной нормы зависят проектные и эксплуатационные показатели оросительных систем, включая затраты на поливы и величину орошаемой за сезон площади.

В настоящее время при назначении величины поливной нормы принято учитывать только мощность корнеобитаемого слоя орошаемой культуры и водоудерживающую способность почвы, ориентируясь на нижний предел ее «оптимальной» влажности – так называемую критическую влагоемкость [1]. Однако при таком подходе «за скобками» остается вопрос ожидаемой экономической эффективности при таком «нормативном» режиме поливов. Ведь нельзя гарантировать, например, что полив меньшими нормами (но чаще) не улучшит экономические показатели и не повысит эффективность орошения.

Безусловно, на конечный результат орошения, кроме величины поливной нормы, влияют погодные условия и, прежде всего, теплообеспеченность и количество выпадающих атмосферных осадков, а также их распределение в течение вегетационного периода. Поэтому установилась практика определения экономически обоснованных норм полива

для любой культуры путем проведения краткосрочных (обычно в течение 3-4 лет) полевых опытов (как правило, в рамках выполнения аспирантских исследований), на основании результатов которых определяется экономическая эффективность и разрабатываются конкретные рекомендации по эксплуатационным режимам орошения. Проектные режимы орошения при этом вообще не рассматриваются.

Нарушим установившуюся традицию и с помощью водобалансовых расчетов за многолетний период установим, каким же образом влияет величина поливной нормы на норму орошения при поливе одной и той же культуры. Отметим что, несмотря на очевидную актуальность данного вопроса, до настоящего времени подобных исследований ни в Беларуси, ни в странах СНГ не проводилось.

Методика исследований

В соответствии со стандартными подходами оросительная норма определяется путем проведения последовательных ретроспективных расчетов за установленные интервалы времени с использованием простейшего уравнения водного баланса для корнеобитаемого слоя орошаемой культуры [1]

$$W_K = W_H + P - E + m - C, \quad (1)$$

где W_K – конечные влагозапасы; W_H – начальные влагозапасы; P – атмосферные осадки; E – эвапотранспирация; m – поливная норма; C – потери влаги на внутрипочвенный сток.

Размерность элементов водного баланса в (1) принимается в мм или в м³/га. Расчетный интервал равен декаде. Мощность корнеобитаемого слоя, для которого рассчитывается водный баланс, устанавливается в соответствии с рекомендациями применительно к конкретной культуре [1]. Начало расчетного периода зависит от гидролого-климатической зоны и принимается в соответствии с действующим нормативом [1]. Продолжительность оросительного периода соответствует рекомендациям нормативного документа и принимается в пределах вегетации за минусом двух декад до ее завершения.

Основным условием использования уравнения (1) является глубокое расположение уровня грунтовых вод и отсутствие влагообмена расчетного слоя почвы с нижележащими почвенными слоями.

Полвиная норма вводится в расчет при выполнении условия

$$W_K \leq W_{HB} - m, \quad (2)$$

где W_{HB} – верхний предел равновесного влагосодержания почвы, соответствующий почвенным влагозапасам при насыщении до наименьшей влагоемкости.

Потери влаги на внутрипочвенный сток возникают, если атмосферные осадки насыщают почву выше верхнего предела равновесного влагосодержания, т.е.

$$\text{если } W_K > W_{HB}, \text{ то } C = W_K - W_{HB}; \text{ если же } W_K \leq W_{HB}, \text{ то } C = 0 \quad (3)$$

Таким образом, задача орошения состоит в том, чтобы в течение оросительного периода поддерживать почвенные влагозапасы в пределах

$$W_{НВ} - m \leq W_K \leq W_{НВ} \quad (4)$$

Неравенство (4) интерпретируется следующим образом: в течение вегетации орошаемой культуры при превышении верхнего предела влажности почвы после выпадения атмосферных осадков возникает внутрпочвенный сток (3) за пределы расчетного слоя, а при сработке почвенных влагозапасов в бездождный период ниже заданного предела (2) появляется необходимость полива культуры заданной нормой m .

В итоге водобалансового расчета оросительная норма определяется как сумма поливных норм, выданных за сезон, т.е.

$$M = \sum m \quad (5)$$

С использованием приведенного выше алгоритма для определения зависимости оросительной нормы от величины нормы полива расчет проводился для разных m , изменяемых в последовательности 1, 20, 50, 100, 150, 200 м³/га за один полив и т.д. до предельной величины m , рекомендуемой для данного типа почв и исключающей непродуктивные потери поливной воды из расчетного слоя почвы на сток.

Результаты и обсуждение

Анализ зависимости норм орошения от величин поливных норм был выполнен по данным трех метеостанций Беларуси (Брест, Марьина Горка и Езерище) на примере капусты, моркови и свеклы столовой, возделываемых в открытом грунте на песчаных, супесчаных и суглинистых дерново-подзолистых почвах. В расчетах задавались значения поливных норм (за один полив) 1, 20, 50, 100, 150, 200 и т.д. с шагом в 50 м³/га до 300 м³/га на песчаных, до 350 м³/га на супесчаных и до 400 м³/га на суглинистых почвах.

Водобалансовые расчеты показали, что в указанных диапазонах поливных норм справедлива простейшая линейная зависимость:

$$M_i = M_{max} - b m_i, \quad (6)$$

где M_i – i -я оросительная норма (нетто), м³/га; M_{max} – максимальная оросительная норма (нетто) при норме полива, стремящейся к минимальному значению, м³/га; b – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность «полив»; m_i – задаваемая i -я поливная норма (нетто), м³/га*полив.

Для подтверждения справедливости формулы (6) в качестве примера на рис. 1 приведены графики зависимости норм орошения от норм полива для моркови, возделываемой на супесчаных почвах в районе метеостанции Брест.

Отметим, что подобные графики получены в открытом грунте и для других овощных культур (капусты, свеклы) на песчаных, супесчаных и суглинистых дерново-подзолистых почвах в южном, центральном и северном регионах Беларуси в окрестностях метеостанций Брест, Марьина Горка и Езерище.

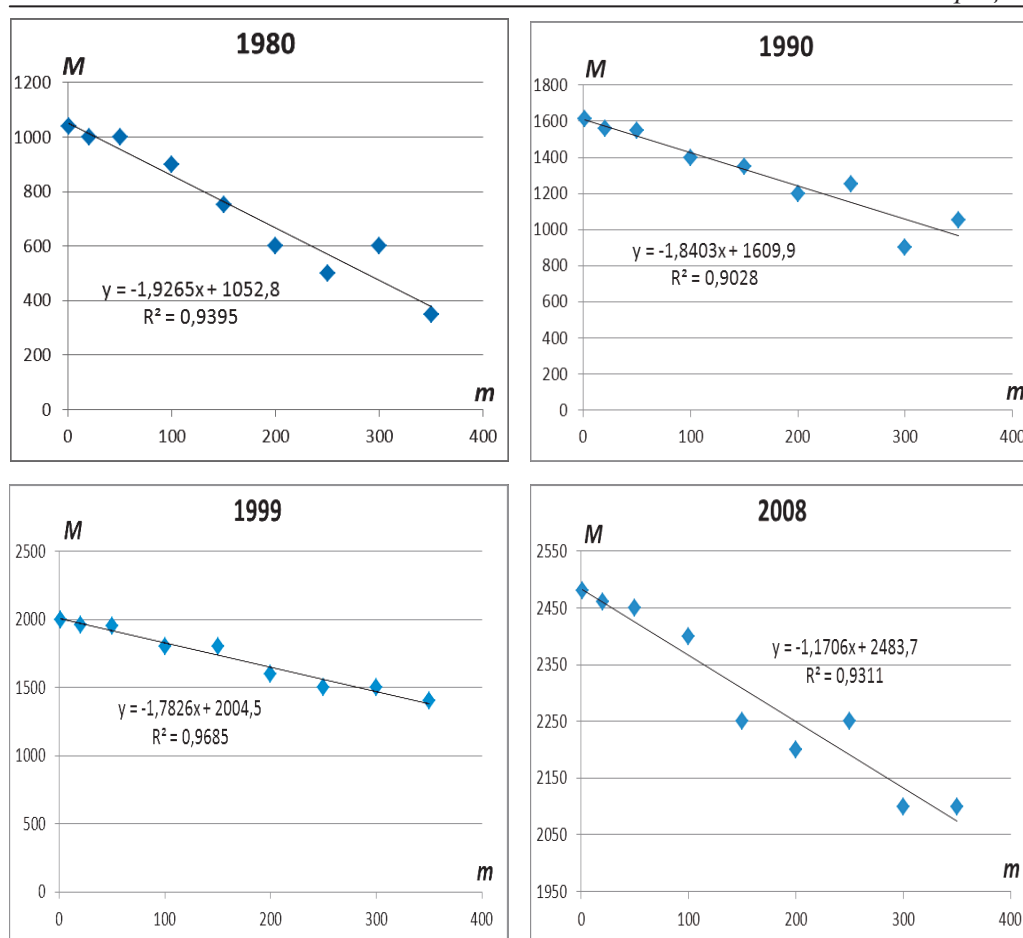


Рис. 1. Зависимость норм орошения от норм полива в годы различной влаготеплообеспеченности для моркови на супесчаных почвах в южном регионе Беларуси (открытый грунт, по данным метеостанции Брест)

Очевидно, что в зависимости (6) величина максимальной оросительной нормы (M_{max}) определяется влаготеплообеспеченностью вегетационного периода. Определим, зависит ли от величины поливной нормы наклон прямой $M(m)$, характеризуемый величиной коэффициента « b ».

Для оценки зависимости коэффициента пропорциональности « b » от поливных норм была исследована форма связи:

$$b = A_0 + A_1 m_i, \quad (7)$$

где A_0 , A_1 – эмпирические коэффициенты.

Расчеты показали, что коэффициент A_1 может принимать как положительные, так и отрицательные значения, причем его величина близка к нулю. Характеристики зависимости (7), установленные по результатам водобалансовых расчетов для моркови на супесчаных почвах в регионах Беларуси за многолетний период приводятся в табл.1.

Таблица 1 – Характеристики эмпирической зависимости (7)

Годы	Брест			Марьяна Горка			Езерище		
	A_0	A_1	R^2	A_0	A_1	R^2	A_0	A_1	R^2
1980	1,414	0,017	0,173	1,682	0,022	0,404	2,061	-0,005	0,014
1981	1,330	0,026	0,195	1,619	-0,008	0,055	1,001	0,006	0,024
1982	0,817	-0,002	0,006	1,563	-0,015	0,079	0,938	0,010	0,107
1983	2,049	-0,033	0,630	0,579	0,031	0,591	1,107	0,019	0,359
1984	2,620	-0,029	0,391	1,518	-0,030	0,607	1,617	-0,009	0,127
1985	0,761	-0,003	0,029	0,973	0,021	0,305	1,407	0,013	0,118
1986	1,973	-0,028	0,361	1,410	-0,005	0,025	2,234	-0,013	0,164
1987	1,000	-0,008	0,151	0,813	0,007	0,164	1,191	0,003	0,008
1988	1,630	-0,010	0,055	1,193	0,008	0,185	1,561	0,017	0,067
1989	0,801	0,006	0,039	2,369	-0,010	0,090	1,185	0,034	0,204
1990	2,071	-0,008	0,041	1,709	-0,012	0,211	1,555	0,008	0,103
1991	1,000	0,003	0,005	0,896	-0,004	0,009	1,093	-0,008	0,175
1992	1,153	-0,002	0,007	0,574	0,008	0,093	0,244	0,021	0,417
1993	1,567	-0,004	0,008	1,286	0,006	0,044	2,362	-0,048	0,806
1994	1,303	0,005	0,060	0,998	0,004	0,031	1,074	0,014	0,396
1996	1,413	-0,002	0,004	0,803	0,001	0,003	1,301	0	0
1997	1,922	0,009	0,026	1,728	0,005	0,016	1,290	-0,009	0,101
1998	2,875	-0,007	0,021	2,944	-0,010	0,040	2,258	-0,012	0,133
1999	1,521	0,009	0,076	1,004	0,017	0,293	1,770	-0,007	0,095
2000	1,449	0,010	0,110	0,937	0,008	0,044	0,998	0,022	0,306
2001	1,184	0,013	0,079	1,116	-0,007	0,037	2,580	0,020	0,232
2002	0,518	0,026	0,452	1,272	0,003	0,007	0,800	0,015	0,308
2003	1,288	-0,001	0,001	2,422	-0,026	0,322	2,177	-0,016	0,435
2004	1,334	0	0	0,955	0,007	0,032	2,001	-0,010	0,051
2005	2,191	-0,032	0,430	1,414	0,008	0,042	1,142	0,004	0,017
2006	0,904	0,021	0,330	0,777	0,027	0,359	2,141	-0,010	0,138
2007	1,946	0,015	0,110	0,965	0,007	0,168	1,260	-0,014	0,168
2008	0,891	0,010	0,156	1,679	-0,016	0,233	2,586	-0,038	0,523
2009	0,951	0	0	1,751	0	0	1,102	0,016	0,141
Среднее	1,444	0	0,136	1,343	0,002	0,155	1,518	0,001	0,198

Осредненные за многолетие значения коэффициентов детерминации (R^2) эмпирического уравнения (7) указывают на полное отсутствие связи коэффициента пропорциональности « b » с величиной поливной нормы по всей территории Беларуси. Причем, как показывают данные таблицы, наклоном прямой (7) к горизонтальной оси, характеризуемым ничтожно малой средней величиной коэффициента (A_1), можно пренебречь. Следовательно, коэффициент пропорциональности « b » в зависимостях (6), (7) можно приравнять среднему значению свободного члена (A_0), которое согласно данным таблицы колеблется в пределах 1,343-1,518. Данный вывод позволяет уточнить зависимость нормы орошения для культур в открытом грунте от величины поливной нормы, принимая коэффициент пропорциональности в (6) величиной постоянной.

Вместе с тем, как следствие осреднения коэффициента пропорциональности « b », могут появляться отклонения (ΔM) оросительных норм, вычисленных по зависимости (6), от рассчитанных по водному балансу (1)-(5). Оценка возможных отклонений (ΔM) проведена по стандартной методике путем вычисления их среднеквадратических величин за многолетний период (1980-2009 гг.).

На рис. 2 показана зависимость от величины коэффициента пропорциональности « b » среднеквадратических отклонений между нормами, вычисленными по зависимости (6) и полученными по водобалансовому расчету (1)-(5).

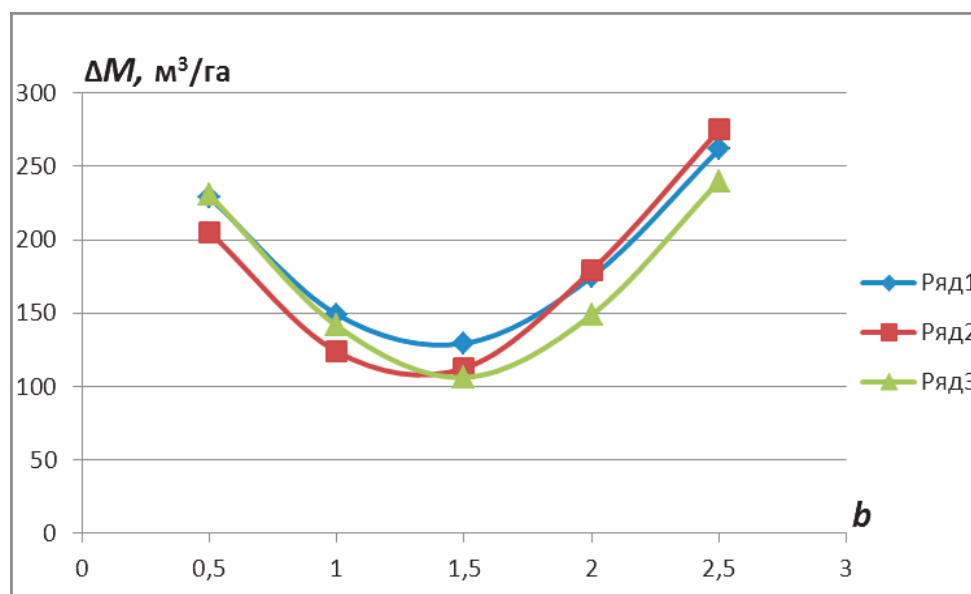


Рис. 2. Распределение среднеквадратических отклонений оросительных норм, вычисленных по (6), от полученных по водобалансовому расчету (1)-(5) для моркови, возделываемой в открытом грунте.

Примечание: Ряд 1 – расчет по данным метеостанции «Брест»; Ряд 2 – расчет по данным метеостанции «Марьина Горка»; Ряд 3 – расчет по данным метеостанции «Езерище».

Как видим из рисунка, наименьшая ошибка при расчете оросительных норм по зависимости (6) достигается при коэффициенте пропорциональности « b », близком по величине к 1,5. Среднеквадратическое отклонение при этом не превышает 130 м³/га, что при значительной средней величине оросительной нормы за многолетие (рис. 1) соответствует относительной ошибке 5-9%, что вполне приемлемо для результатов водобалансовых расчетов.

Таким образом, согласно результатам исследований коэффициент пропорциональности « b » в зависимости (6) для моркови на супесчаных почвах (открытый грунт) в южном регионе Беларуси можно принимать величиной постоянной, равной 1,5. Аналогичный результат получен и для других овощных культур на всех типах дерново-подзолистых почв по всей территории республики.

Полученные выше выводы справедливы только для культур, возделываемых в открытом грунте. Исследуем, каким же образом влияют поливные нормы на нормы орошения при дождевании культур в защищенном грунте.

Очевидно, что основным отличием защищенного грунта является полное отсутствие атмосферных осадков и необходимость их компенсации подачей поливной воды. Кроме того, защищенный грунт может отличаться характеристиками корнеобитаемого слоя, тепловым и световым режимами, искусственно создаваемыми для возделываемых культур. Но для чистоты проводимого «численного эксперимента», следуя правилу единственного различия, из водобалансового расчета исключим только один показатель – атмосферные осадки. Методику расчета оставим прежней.

Очевидно, что в защищенном грунте (при отсутствии атмосферных осадков) верхним пределом оросительной нормы будет являться суммарное испарение (водопотребление, эвапотранспирация) орошаемой культуры, а нижним пределом – разность между суммарным испарением и поливной нормой, т.е.

$$E_i - m_i \leq M_i \leq E_i, \quad (8)$$

где E_i , M_i – эвапотранспирация и оросительная норма, соответственно, рассчитанные при режиме орошения с нормой полива m_i .

На рис. 3 приведены графики зависимости норм орошения (дождеванием) от норм полива для моркови в защищенном грунте, рассчитанные по данным метеостанции Брест в те же годы, что и для открытого грунта (рис. 1). При этом на рис. 3 обозначены верхний (ряд 1) и нижний (ряд 3) пределы изменения оросительных норм. Как видим, полученные графики подтверждают справедливость ограничений (8).

Графики зависимости оросительных норм от норм полива (ряды 2) продублированы аппроксимирующими функциями с указанием их коэффициентов детерминации. Эти коэффициенты, как и для открытого грунта (рис. 1), указывают на тесную связь между оросительными и поливными нормами. Заметим, что приведенные на рис. 3 графики яв-

ляются криволинейными функциями (в данном случае полиномами второй степени), в отличие от аналогичных графиков для открытого грунта, представленных линейными функциями (рис. 1).

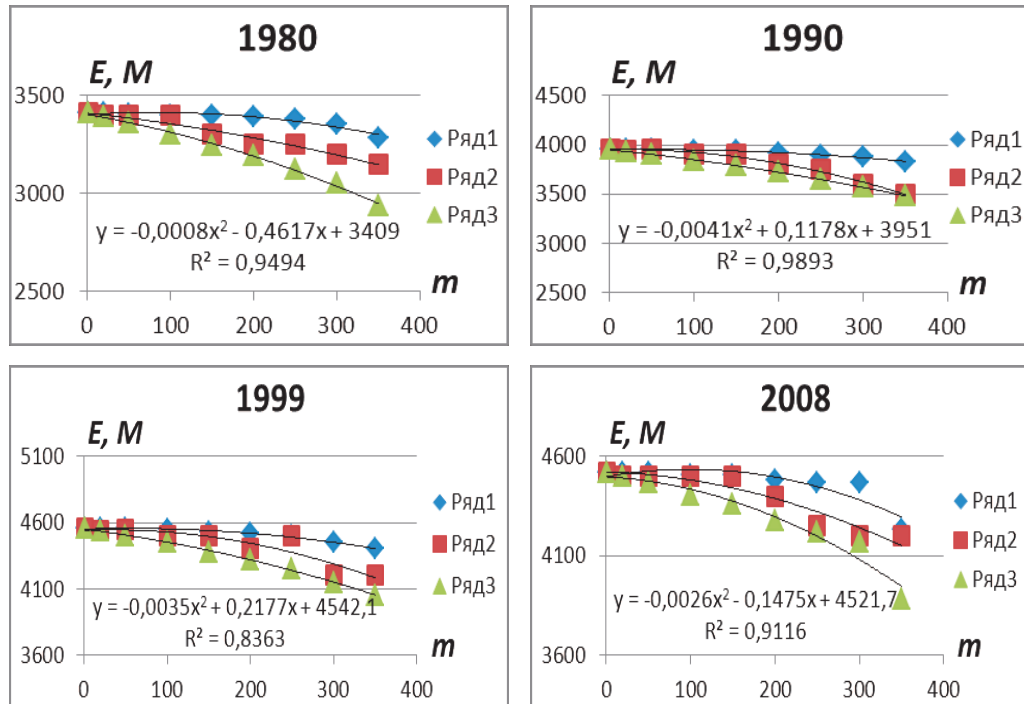


Рис. 3. Зависимость норм орошения (дождеванием) от норм полива в годы различной теплообеспеченности для моркови (защищенный грунт, по данным метеостанции Брест): ряд 1 – верхний предел оросительной нормы; ряд 2 – оросительная норма; ряд 3 – нижний предел оросительной нормы.

Аналогичные зависимости получены и для других культур в защищенном грунте. Таким образом, можно считать доказанным, что зависимость (6) справедлива только для открытого грунта и не может быть использована при расчете оросительных норм для культур в защищенном грунте.

Установить зависимость оросительных норм от норм полива культур в защищенном грунте можно на основе ограничений (8), осреднив пределы возможных колебаний оросительных норм. В таком случае получим

$$M_{расч} = E_i - 0,5m_i \quad (9)$$

На рис. 4 приведены графики соответствия рассчитанных по формуле (9) и вычисленных по водному балансу (1)-(5) оросительных норм для культур защищенного грунта. Для сохранения возможности совместного анализа всех приведенных выше зависимостей и графиков (рис. 1, 3) расчет по формуле(9) выполнен для тех же лет на примере все той

же культуры – моркови. Аналогичные расчеты, выполненные за многолетие для других орошаемых дождеванием овощных культур, дают подобные результаты. Относительная ошибка расчета не превышает 1-2% (рис. 4).

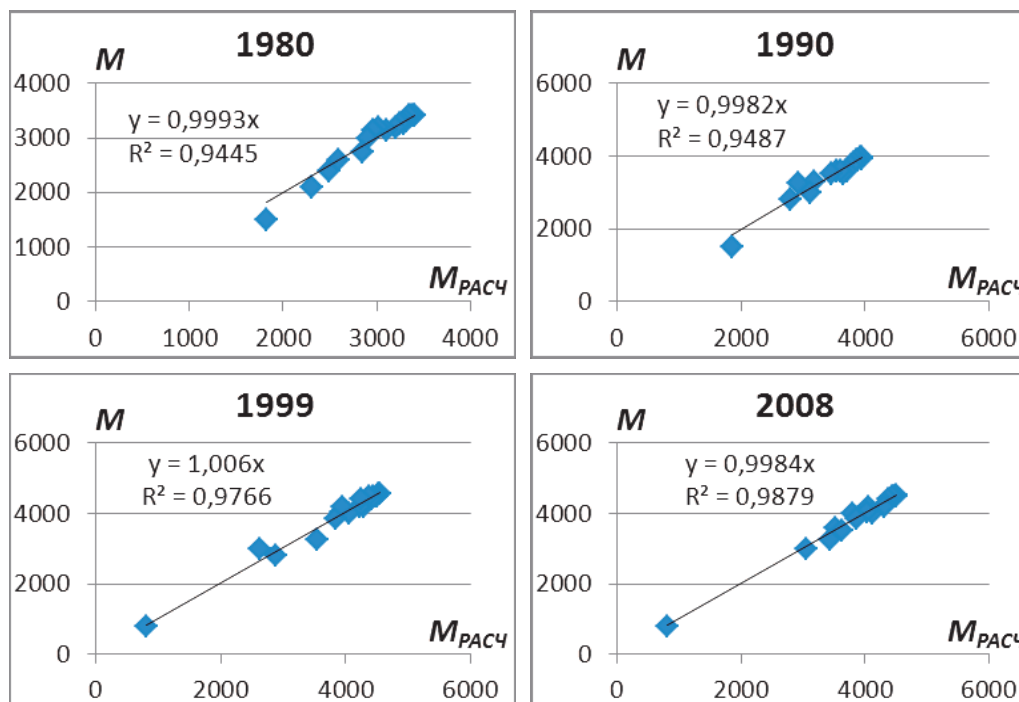


Рис. 4. Соответствие рассчитанных по формуле (9) и вычисленных по водному балансу (1)-(5) оросительных норм для культур защищенного грунта.

Таким образом, зависимость оросительных норм от норм полива для культур открытого и защищенного грунта может быть аппроксимирована линейными уравнениями (6) и (9). Причем, как следует из данных зависимостей, главным аргументом в этих связях является поливная норма. Но возникает вопрос, какую величину поливной нормы следует выбирать при определении составных элементов проектного или эксплуатационного режимов орошения.

Ответом на данный вопрос является правило установившейся практики [1]: все параметры режимов орошения и, прежде всего, их основной исходный показатель – поливная норма – должны обосновываться технико-экономическим расчетом.

Выводы

1. Водобалансовые расчеты показали, что зависимость оросительных норм (M) от норм полива (m) для культур, возделываемых в открытом грунте, может быть аппроксимирована линейной функцией M(m) вида (6).

2. Согласно результатам исследований значение коэффициента пропорциональности «b» в линейной функции (6) для условий Беларуси можно принимать постоянным, рав-

ным 1,5. Среднеквадратическое отклонение при расчете по (6) не превышает 130 м³/га, что за многолетие соответствует относительной ошибке 5-9% и вполне приемлемо для водобалансовых расчетов.

3. Для культур, возделываемых в защищенном грунте, зависимость оросительных норм от норм полива имеет криволинейную форму. Оросительные нормы в данном случае зависят не только от норм полива, но и от эвапотранспирации (E). Общая форма связи $M(E,m)$ может быть аппроксимирована линейной функцией вида (9).

4. Принимаемая в расчетах по линейным уравнениям (6) и (9) величина основного исходного показателя режимов орошения – поливной нормы – должна ориентироваться на получение максимального экономического эффекта от поливов и обосновываться технико-экономическим расчетом.

Библиографический список

1. Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП/ПР 45-3.04.2009 (02250). – Введ. 29.12.2009. – Минск, 2010. – 74 с.

Summary

A. Likhatchevich, G. Latushkina, I. Opolko

THE INFLUENCE OF CROP IRRIGATION REGIMES ON THE SYSTEM OF IRRIGATION STANDARDS

The justification of calculated dependences concerning irrigation standards and irrigation norms for vegetable crops irrigated by sprinkling on the open and protected ground is accomplished. Statistical characteristics of empirical equations are presented.

Поступила 31.03.2015