

УДК 631.559: 633.11 "324": 631.6

ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ОСУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПООЗЕРЬЯ НА ВЕЛИЧИНУ ИСПАРЯЕМОСТИ

А.В. Копытовских, доцент
УО «Полесский государственный университет»

Ключевые слова: испаряемость, дефицит влажности воздуха, глубокое рыхление, биоклиматический коэффициент, биологический коэффициент, моделирование

Введение

В настоящее время вопросы расчета испаряемости (максимальной эвапотранспирации) для большинства сельскохозяйственных культур изучены достаточно полно и отражены в работах А.М. и С.М. Алпатьевых, А.И.Будаговского, М.Г.Голченко, А.И.Михальцевича, А.П.Лихацевича, В.Ф.Шебеко [1-6] и др. Известно, что основными факторами, влияющими на испаряемость, являются метеорологические условия, влажность почвы, биологические особенности культур.

На испаряемость несущественно влияет тип почв. Однако физическое состояние испаряющей поверхности, определяющее тепло- и влагообмен между почвой и воздухом в приземных слоях, может оказывать определенное влияние на величину испарения. В частности, установлено, что проведение мероприятий по глубокому рыхлению почвы приводит к его увеличению [7]. Очевидно, это обусловлено существенным увеличением пористости (20-30%) и, как следствие, аэрации почвы (в среднем на 60-70%) при рыхлении, с одной стороны, и, с другой стороны, к более интенсивной транспирации в силу улучшения водно-физических свойств почвы, усилению микробиологической активности, улучшению условий питания, роста и развития растений [7].

Однако, до настоящего времени детальных исследований в этом направлении не проводилось. При этом игнорирование в расчетах фактора проведения агромелиоративных мероприятий по глубокому рыхлению почвенного профиля неизбежно приводило к погрешностям определения водопотребления, проектирования режимов орошения и увлажнения, в том числе орошения животноводческими стоками, внесение которых зачастую осуществляется с помощью специальных конструкций рыхлителей-вносителей, сочетающих приемы глубокого рыхления или щелевания почв с внесением жидких удобрений.

Методика исследований

В соответствии с изложенным была поставлена задача оценить влияние приемов глубокого рыхления на величину испарения. Исследования выполнены на землях Витебского экспериментального хозяйства (Сенненский район Витебской области) в 1996-2001 гг. на дерново-подзолистых почвах в диапазоне гранулометрического состава от

связных супесей до тяжелых суглинков для различных сельскохозяйственных культур в условиях высокого агрофона. На опытных участках в весенний период выполнялось сплошное глубокое рыхление рыхлителем РЩ-80 на глубину 60 см. Измерения выполнялись с помощью испарителей ГГИ-500 с площадью испаряющей поверхности 500 см² по стандартной методике [6]. В качестве контрольного принят вариант без мероприятий по глубокому рыхлению.

При обработке результатов экспериментов принято во внимание известное положение о том, что наиболее репрезентативным фактором, оказывающим влияние на величину испарения, является дефицит влажности воздуха, при использовании которого коэффициент корреляции с испаряемостью достигает 0,88-0,90 [3].

При разработке зависимостей, отражающих связь между исследуемыми факторами, важное значение имеет правильный выбор математической модели. Наиболее простая линейная связь предложена А.М. и С.М. Алпатьевыми:

$$E_{mij} = K_{ij} d_{ij} n_{ij}, \quad (1)$$

где E_{mij} – максимальная эвапотранспирация культуры в i -м периоде j -го года; K_{ij} – биоклиматический коэффициент, d_{ij} – дефицит влажности воздуха в i -м периоде j -го года; n_{ij} – продолжительность i -го периода в j -м году.

К недостаткам модели следует отнести недостаточно высокую ее точность, что обусловлено использованием простой математической зависимости.

В порядке продолжения данных исследований А.И. Михальцевичем была показана значимость использования в линейном уравнении (10) свободного члена, с учетом которого модель приобретает следующий вид:

$$E_{mij} = K_{ij} n_{ij} (a d_{ij} + b), \quad (2)$$

где a – коэффициент пропорциональности; b – свободный член уравнения.

Практическое использование уравнения (2) позволило повысить точность расчетов до вполне приемлемого уровня. Однако более детальные исследования показали большую правомерность применения в расчетах эвапотранспирации степенных зависимостей, что подтверждается соответствующими теоретическими разработками.

При создании теоретической базы А.П. Лихацевичем и Е.А. Стельмахом использовано положение О.Д. Сиротенко об инерционности реакций живых, в том числе растительных, организмов на изменение условий внешней среды [8]. В качестве прообраза искомой зависимости была предложена следующая [5]:

$$dK / dM = -\alpha K / M, \quad (3)$$

где K – биоклиматический коэффициент; M – любая репрезентативная характеристика внешней среды, например дефицит влажности воздуха; α – параметр пропорциональности.

С учетом (3) получено выражение

$$E_{mij} = k_{di} (d_{cp, cp})^\alpha d_{ij}^{(1-\alpha)} n_{ij}, \quad (4)$$

в котором k_{di} – биологический коэффициент для i -го периода, ориентированный на осредненные условия среды, постоянный по годам; $d_{cp, cp}$ – осредненный дефицит влажности воздуха за весь период вегетации.

С учетом обозначений

$$b = (d_{cp, cp})^\alpha, \quad c_0 = 1 - \alpha \quad (5)$$

получаем

$$E_{mij} = k_{di} b d_{ij}^{c_0} n_{ij}.$$

Принимая для упрощения в качестве обобщенного множителя уравнения (6) (6)

$$b_0 = k_{di} b$$

и условно принимая в качестве расчетного периода заданный единичный интервал времени, т.е. $n_{ij} = 1$, получаем

$$E_m = b_0 d^{c_0}. \quad (7)$$

Таким образом, теоретически доказано, что зависимость испаряемости от дефицита влажности воздуха может быть представлена степенной зависимостью (7).

В табл. 1 приведены показатели b_0 и c_0 , коэффициенты корреляции и стандартная ошибка уравнения (7), полученные в результате регрессионного анализа данных полевых экспериментов.

Таблица 1. Эмпирические коэффициенты для определения максимальной эвапотранспирации в условиях Поозерья

Сельскохозяйственная культура	Вариант	Коэффициенты		Коэффициент корреляции	Стандартная ошибка уравнения
		b_0	c_0		
Озимая рожь	Рыхление	1,42	0,59	0,96	0,14
	Контроль	1,26	0,61	0,95	0,16
Овес	Рыхление	1,42	0,68	0,92	0,28
	Контроль	1,23	0,71	0,90	0,30
Клевер 1-го года	Рыхление	1,62	0,55	0,95	0,16
	Контроль	1,42	0,57	0,96	0,15
Клевер 2-го года	Рыхление	1,65	0,51	0,94	0,17
	Контроль	1,45	0,54	0,94	0,16
Луг	Рыхление	1,54	0,48	0,96	0,09
	Контроль	1,41	0,50	0,97	0,07
Кормовая свекла	Рыхление	1,57	0,42	0,92	0,25
	Контроль	1,44	0,43	0,92	0,23
Кукуруза	Рыхление	1,69	0,44	0,94	0,16
	Контроль	1,52	0,46	0,93	0,17

Сопоставление коэффициентов регрессии в табл. 1 по вариантам свидетельствует о влиянии глубокого рыхления на их численные значения, а именно: параметр b_0 на почвах, где использован данный агрометеорологический прием, увеличивается, параметр c_0

уменьшается. Данное обстоятельство позволяет выделить в них составляющую, связанную с изменением физических свойств почвенного профиля в результате рыхления. Так, параметры b_0 и c_0 можно представить в виде

$$c_0 = c_r c, \quad b_0 = b_r b k_{di}, \quad (8)$$

где c – показатель степени в расчетном уравнении (7) при отсутствии мероприятий по глубокому рыхлению;

c_r и b_r – корректирующие коэффициенты при наличии мероприятий по рыхлению почвенного профиля, принимаемые равными 1 при отсутствии рыхления.

Кроме того, из уравнения (5) следует

$$c = 1 - \ln b / \ln d_{cp, cp}. \quad (9)$$

Учитывая, что по статистическим данным Сенненской метеорологической станции, т.е. для условий проведения экспериментов $d_{cp, cp} = 5,5$ мб, с учетом (9) получим:

$$c = 1 - 0,58 \ln b. \quad (10)$$

Анализ уравнения (10) показывает, что в диапазоне действующих значений параметра b вполне допустима линейная аппроксимация с коэффициентом корреляции $R=0,98$, т.е.

$$c = 1,13 - 0,27 b. \quad (11)$$

Таблица 2. Значения параметров b , c , b_r и c_r

Сельскохозяйственная культура	Коэффициенты			
	b	c	b_r	c_r
Озимая рожь	1.94	0.61	1.13	0.97
Овес	1.64	0.71	1.15	0.96
Клевер 1-го года	2.08	0.57	1.14	0.96
Клевер 2-го года	2.19	0.54	1.14	0.94
Луг	2.35	0.50	1.09	0.96
Кормовая свекла	2.64	0.43	1.10	0.98
Кукуруза	2.51	0.46	1.11	0.96

В табл. 2 приведены рассчитанные значения параметров b , c , b_r и c_r .

С учетом уравнений (6), (8) и (10) можно записать:

$$E_m = b_r b k_d d^{(1 - 0,58 \ln b)} n. \quad (12)$$

Принимая во внимание выражение (5), расчетная зависимость для определения максимальной эвапотранспирации приобретает вид:

$$E_m = b_r d_{\text{ф.ф.}}^{(1-c_r c)} k_d d^{c_r c} n. \quad (13)$$

Выражение (13) по структуре соответствует аналогичной зависимости, полученной А.П. Лихацевичем и Е.А. Стельмахом [5], но дополнительно учитывает изменение физических свойств почвенного профиля при проведении мероприятий по сплошному глубокому рыхлению.

В табл. 3 приведены результаты оценки точности определения испаряемости с использованием полученной модели. По результатам оценки стандартная ошибка полученных уравнений не превышает 3,8%.

В табл. 4 приведены результаты оценки абсолютных и относительных отклонений измеренных величин водопотребления на вариантах с рыхлением и без него.

Таблица 3. Относительная ошибка расчета испаряемости

Культура	Месяц	Декада	Вариант	Среднесуточный дефицит влажности воздуха, d, мБ	Испаряемость за декаду E _m , мм		Относительная ошибка, %
					вычисленная	измеренная	
Озимая рожь	Июль	1	Рыхление	4,4	34.03	33.95	-0.25
			Контроль		31.11	32.41	4.18
Овес	Август	3	Рыхление	3,3	31.98	33.56	4,94
			Контроль		28.71	27.56	-4.01
Клевер 1-го года	То же	2	Рыхление	5,0	39.26	38.10	-2.95
			Контроль		35.54	36.24	1.97
Клевер 2-го года	Июнь	1	Рыхление	6,6	43.20	40.79	-5.57
			Контроль		40.17	40.54	0.92
Кормовая свекла	То же	2	Рыхление	7,6	36.80	36.12	-1.85
			Контроль		34.44	33.54	-2.62
Кукуруза	»	2	Рыхление	7,6	41.25	43.82	6,23
			Контроль		38.64	38.12	-1.34

Таблица 4. Влияние мероприятий по глубокому рыхлению на водопотребление

Культура	Месяц	Декада	Испаряемость за декаду E _m , мм		Отклонение	
			рыхление	контроль	абсолютное, мм	относительное, %
Озимая рожь	Июль	1	33.95	32.41	1,54	4,8
Овес	Август	3	33.56	27.56	6,00	21,8
Клевер 1-го года	Тот же	2	38.10	36.24	1,86	5,1
Клевер 2-го года	Июнь	1	40.79	40.54	0,25	0,6
Кормовая свекла	Тот же	2	36.12	33.54	2,58	7,7
Кукуруза	»	2	43.82	38.12	5,7	15,0

Анализ табл. 4 свидетельствует об увеличении испаряемости при проведении мероприятий по глубокому рыхлению. Более высокие отклонения, составляющие от 2...6 мм за декаду, или от 5 до 22 % по отношению к контролю, характерны для культур весеннего сева и осуществлению мероприятий по рыхлению в весенний период при прове-

дении основной обработки почвы перед началом сева. В меньшей степени различия проявляются для озимых культур и клевера второго года. Это можно объяснить частичным уплотнением почвы за период, прошедший от начала рыхления до времени проведения измерений водопотребления в последующем году.

Вывод

Использованный при проведении экспериментальных исследований способ, опирающийся на соответствующую теоретическую базу, позволяет повысить точность расчета водопотребления, водобалансовых расчетов, проектирования режимов увлажнения и орошения сельскохозяйственных угодий.

Литература

1. Алпатьев, А. М. Влагооборот культурных растений. / А. М. Алпатьев – Л.: Гидрометеоиздат, 1954. – 258 с.
2. Будаговский, А. И. Испарение почвенной влаги. / А. И. Будаговский – М.: Наука, 1964. – 242 с.
3. Голченко, М. Г. Влагообеспеченность и орошение земель в Белоруссии./ М. Г. Голченко. – Мн.: Ураджай, 1976. – 190 с.
4. Михальцевич, А. И. О совершенствовании биоклиматического метода расчета испарения с орошаемых полей / А. И. Михальцевич // Мелиорация переувлажненных земель. Сб. научн. раб. БелНИИМВХ. Т. XVII. – 1979. – С. 41-65.
5. Лихацевич, А.П. Совершенствование методики расчета водопотребления сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич, Е. А. Стельмах// Мелиорация переувлажненных земель. Сб. научн. раб. БелНИИМил. Т. XLIII. – 1996. – С. 91-98.
6. Методические указания по гидрологическим расчетам при проектировании осушительно-увлажнительных систем Полесья / Сост. Шебеко В.Ф. – Мн., 1972. – 351 с.
7. Копытовских, А. В. Оптимизация систем обработки почвы при структурной мелиорации минеральных земель: Монография. / А. В. Копытовских – Мн.: УМЦ Минсельхозпрода, 2004. – 227 с.
8. Сиротенко, О. Д. На стыке наук / Сиротенко О. Д. // Человек и стихия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – С. 48-50.

Summary

Results of measurements of the maximal evaporation for of some agricultural crops on the mineral reclaimed grounds in conditions of the Belarus lake grounds in view of carrying out of actions on deep loosening are resulted. Empirical settlement dependences are received. It is established, that loosening promotes increase in the maximal evaporation. Deviations from a variant with use of standard processing can make up to 6 mm for a decade that makes 122 % in relation to the control. Results of experiment allow to raise accuracy of calculations of water consumption, water-balance calculations, designing of modes of humidifying and an irrigation of the agricultural grounds at use of actions on deep loosening.

Поступила 05 июня 2007 г.