



**Экологическое состояние
природной среды**

**и научно-практические
аспекты современных
мелиоративных технологий**

Выпуск 3

Рецензент:

Н.Г. Ковалев, академик Российской академии сельскохозяйственных наук

Редакционная коллегия:

редактор – **И.И. Прохорова**

заместитель редактора – **Ю.А. Томина**

члены редколлегии: – **С.А. Ардашева**

Л.А. Давыдова

оформление обложки – **В.И. Желязко**

Э40 **Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып. 3 / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 579 с.**

ISBN 978-5-902446-16-3

В сборнике опубликованы материалы исследований научных центров, научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений и др. предприятий Российской Федерации, а также отдельных стран ближнего и дальнего зарубежья по теоретическим и практическим аспектам экологического состояния природной среды под влиянием мелиорации и других антропогенных факторов. Предложены технические и технологические решения по комплексной мелиорации земель с экологически безопасным и устойчивым земледелием, особенности растениеводства на деградированных землях, социально-правовые и экономические вопросы в современных условиях.

Сборник рассчитан на широкий круг специалистов проектных, мелиоративных и сельскохозяйственных организаций, почвоведов, экологов и научных работников, занимающихся вопросами охраны окружающей среды.

ISBN 978-5-902446-16-3

ББК 40.6+28.081

© Авторы статей, включенных в сборник, 2008

© Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ
Россельхозакадемии, 2008

© ФГОУ ВПО «Рязанский государственный
агротехнологический университет
имени П.А. Костычева», 2008

А.В. Копытовских
(УО «Полесский государственный университет»,
Республика Беларусь)

**Анализ максимальной эвапотранспирации на минеральных осушенных землях
Белорусского Поозерья при наличии мероприятий по разуклощению
почвенного профиля**

Вопросы расчета испаряемости (максимальной эвапотранспирации) для большинства сельскохозяйственных культур изучены достаточно полно и отражены в работах А.М. и С.М. Адиатьевых [1], А.И. Будоговского [2], М.Г. Голыченко [3], А.И. Михальцевича [4], А.Н. Лихачевича [5], В.Ф. Шебеко [6] и др. Известно, что основными факторами, влияющими на испаряемость, являются метеорологические условия, влажность почвы, биологические особенности культур.

На испаряемость тип почв влияет незначительно, 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 мероприятия по глубокому рыхлению почвы приводят к его увеличению [7]. Очевидно, это обусловлено существенным повышением пористости (в среднем на 20–30 %) и, как следствие, аэрации почвы (в среднем на 60–70 %) при рыхлении, с одной стороны, и более интенсивной транспирацией в силу улучшения водно-физических свойств почвы – с другой, усиления микробиологической активности, улучшения условий питания, роста и развития растений [7].

До настоящего времени детальных исследований в этом направлении не проводилось. При этом игнорирование в расчетах фактора проведения агроландшафтных мероприятий по глубокому рыхлению почвенного профиля неизбежно приводит к погрешностям определения водопотребления, проектирования режимов орошения и укладывания, в том числе орошения животноводческими стоками, внесение которых часто осуществляется

ся с помощью специальных конструкций рыхлителей-внесителей, сочетающих приемы глубокого рыхления или щелевания почв с внесением жидких удобрений.

В соответствии с изложенным была поставлена задача оценить влияние приемов глубокого рыхления на величину испарения. Исследования выполнены на землях Витебского экспериментального хозяйства, расположенного в Сенненском районе 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 высевого агрофона. На опытных участках в весенний период выполняли сплошное глубокое рыхление рыхлителем РИЦ 80 на глубину 60 см. Измерения проводили с помощью испарителей ПИИ 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. Анатольевичами:

$$E_{\max} = K_j d_j a_j, \quad (1)$$

где E_{\max} – максимальная эвапотранспирация культуры в I-м периоде j-го года; K_j – биоклиматический коэффициент в I-м периоде j-го года; d_j – дефицит влажности воздуха в I-м периоде j-го года; a_j – продолжительность I-го периода в j-м году.

К недостаткам модели следует отнести недостаточно высокую ее точность, обусловленную простотой используемой математической зависимости.

В порядке продолжения данных исследований А.И. Михальцевичем была показана значимость использования в линейном уравнении (1) свободного члена, с учетом которого модель приобретает следующий вид:

$$E_{\max} = K_j a_j (a d_j + b), \quad (2)$$

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. Дихачевичем и Е.А. Стельмахом использовано положение О.Д. Сиротенко об инерционности реакций живых, в т.ч. растительных организмов на изменении условий внешней среды [8]. В качестве прообраза некоей зависимости была предложена следующая:

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

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

С учетом (3) получено выражение:

$$E_{\max} = k_0 (d_{\text{ср}})^{\alpha} d_j^{1-\alpha} a_j, \quad (4)$$

в котором k_0 – биологический коэффициент для I-го периода, ориентированный на осредненные условия среды и постоянный по годам; $d_{\text{ср}}$ – осредненный дефицит влажности воздуха за весь период вегетации.

С учетом обозначений $b = (d_{\text{ср}})^{\alpha}$, $c_0 = 1 - \alpha$

Получаем:

$$E_{\text{ис}} = k_{\text{ис}} b d_{\text{ис}}^{-c} n_{\text{ис}} \quad (6)$$

Принимая для упрощения в качестве обобщенного множителя уравнения (6)

$$b_0 = k_{\text{ис}} b$$

и условно принимая в качестве расчетного периода заданный единичный интервал времени, т.е. $n_0 = 1$, получаем

$$E_{\text{ис}} = b_0 d_{\text{ис}}^{-c} \quad (7)$$

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

В таблице 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	0,93	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 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:

$$c_0 = c \cdot c_1, \quad b_0 = b_1 b k_{\text{ис}}, \quad (8)$$

где c - показатель степени в расчетном уравнении (7) при отсутствии мероприятий по глубокому рыхлению; c_1 и b_1 - корректирующие коэффициенты при наличии мероприятий по рыхлению почвенного профиля, принимаемые равными 1 при отсутствии рыхления.

Кроме того, из уравнения (5) следует:

$$c = 1 - \ln b / \ln d_{\text{ис} \text{ ср}} \quad (9)$$

Учитывая, что по статистическим данным Семинской метеорологической станции, т.е. для условий проведения экспериментов $d_{\text{ис} \text{ ср}} = 5,5 \text{ мм}$, с учетом (9) получим:

$$c = 1 - 0,581 \ln b \quad (10)$$

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

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

В таблице 2 приведены рассчитанные значения параметров b , c , b_0 и c_0 .

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

$$E_{\text{э}} = b_0 b k_p d^{1 - b_0 k_p} n \quad (12)$$

Таблица 2

Значения параметров b , c , b_0 и c_0

Сельскохозяйственная культура	Коэффициенты			
	b	c	b_0	c_0
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

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

$$E_{\text{э}} = b d_{\text{эф}}^{1 - b} k_p d^{b_0} n \quad (13)$$

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

В таблице 3 приведены результаты оценки точности определения испаряемости с использованием полученной модели.

Таблица 3

Относительная ошибка расчета испаряемости

Культура	Месяц	Декада	Вариант	Среднесуточный дефицит влажности воздуха, мм	Испаряемость за декаду, 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	1,3	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	июль	1	рыхление	6,6	43,20	40,99	-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	то же	2	рыхление	7,6	41,25	43,82	6,23
			контроль		38,64	38,12	-1,34

По результатам оценки стандартная ошибка уравнений не превышает 3,8 %.

Таким образом, использованный в экспериментальных исследованиях способ, опирающийся на соответствующую теоретическую базу, позволяет повысить точность расче-

та водопотребления, водобалансовых расчетов, проектирования режимов увлажнения и орошения сельскохозяйственных угодий.

Литература

1. *Алишанов А. М.* Влагооборот культурных растений. – Л.: Гидрометеониздат, 1954. – 258 с.
2. *Будыковский А. И.* Испарение почвенной влаги. – М.: Наука, 1964. – 242 с.
3. *Григорьев М. Г.* Влагодобеспеченность и орошение земель в Белоруссии. – Мн.: Ураджай, 1976. – 190 с.
4. *Миньковский А. Н.* О совершенствовании биоклиматического метода расчета испарения с обрабатываемых полей // Мелиорация переувлажненных земель: Сб. науч. раб. БелНИИМирВХ. – Т. XVII. – 1979. – С. 41–65.
5. *Лихачев А. П., Степанов Е. А.* Совершенствование методики расчета водопотребления сельскохозяйственных культур // Мелиорация переувлажненных земель: Сб. науч. раб. БелНИИМирВХ. – Т. XLIII – 1996. – С. 91–98.
6. Методические указания по гидрологическим расчетам при проектировании осушительно-увлажнительных систем Полежья / Сост. В.Ф. Шебеко. – Мн., 1972. – 351 с.
7. *Копытовская А. В.* Оптимизация систем обработки почвы при структурной мелиорации минеральных земель: Монография. – Минск: Учеб.-метод. центр Минсельхозпрода, 2004. – 227 с.
8. *Сиротенко О. Д.* На спяке наук // Человек и стихия. – Л.: Гидрометеониздат, 1977. – С. 48–50.