

УДК 633.17:632.11(470.44)

## ТРАНСПИРАЦИЯ И ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ У ПРОСА В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И. С. ШАТИЛОВ, В. Л. КЛИМЕНКО

(Кафедра растениеводства)

Установлено, что общий расход воды посевами проса находится в прямой зависимости от увлажненности почвы и дефицита влажности воздуха. Интенсивность транспирации определяется гидротермическими условиями и уровнем фотосинтетического потенциала. Этот показатель достигает максимума в период выметывание метелки — молочная спелость.

Просо относится к засухоустойчивым растениям. Оно меньше других культур страдает от запалов и суховеев, легче переносит почвенную и атмосферную засуху. Экономное расходование воды просом обусловливается особенностями корневой системы, стебля и листьев данного растения. Ткани, проводящие воду от корней к листьям, у проса более развиты, чем у других хлебных злаков, и при засухе лучше обеспечиваются водой. Листья проса имеют мелкие устьица, испаряют влаги значительно меньше, чем листья других культур. Обладая высокой засухоустойчивостью, просо хорошо отзывается на повышенную водообеспеченность [1,5, 12].

Для установления норм потребления воды растениями широко используются транспирационные коэффициенты и коэффициенты эвапотранспирации (суммарное водопотребление). При сравнении транспирационных коэффициентов, полученных в вегетационных и полевых условиях, отмечается их несоответствие [8—11]. Поэтому установленные в полевых условиях транспирационные коэффициенты могут служить основанием для приблизительной оценки потребности культуры в воде, а также для обоснования норм ее потребления при орошении.

### Методика

Полевые опыты проводились в 1985 и 1986 гг. на опытном поле экспериментальной базы Тимирязевской академии «Мумовское» (Правобережье Саратовской области). Они стали продолжением наших работ по изучению транспирации и эвапотранспирации основных полевых культур

[4, 9]. Почвы — выщелоченный суглинистый чернозем, содержание гумуса 4,9 %,  $P_2O_5$  по Кирсанову — 11,7 г,  $K_2O$  по Бровка — 21,4 г, легкогидролизуемого азота по Тюрину — 5,7 мг на 100 г. Наименьшая влагоемкость почвы (НВ) — 25 %, влажность разрыва капиллярных связей

(ВРК) — 17, влажность устойчивого выщелачивания (ВЗ) — 8 %. Годовое испарение воды значительно выше, чем приход ее за этот период с осадками. Баланс воды (средние многолетние данные) следующий: приход с осадками за год 474 мм, в том числе со снегом 140 мм, за вегетационный период зерновых культур — 172 мм, от уборки зерновых до зимы—120 мм. Расход: потери воды из снега — 63 мм (сносится с поля ветром 20 %, сток талых вод 20—25 % запасов снега), непрочувствительное испарение из почвы — 102 мм (25 % запасов), потребление посевами — 309 мм (65 % годовой суммы осадков).

Для изучения транспирационного коэффициента и коэффициента эвапотранспирации проса использовали гидравлический почвенный испаритель (ГПИ, малая модель) и весовые почвенные испарители (ГПИ-500-50). С помощью первого определяли эвапотранспирацию (испарение растения + почва), а с помощью последних — испарение только почвой (непродуктивное). По разнице между эвапотранспирационным и непродуктивным испарением определяли собственно транспирацию. На почвенном испарителе и опытном участке были созданы практически одинаковые условия для вегетации, фотосинтетической деятельности и использования воды растениями.

Просо высевали по пласту многолетних трав. Перед севом пахотный слой монолита заменяли почвой, взятой с поля, где высевали просо. До предпосевной культивации на 1 га вносили 1,5 ц аммиачной селитры и в рядки при севе — 0,5 ц гранулированного суперфосфата; норма высева — 4,5 млн. всхожих зерен на 1 га. Сев проводили в оптимальные сроки.

В период вегетации через каждые 10 сут с двух постоянных площадок в посевах проса отбирали растительные пробы с площади 0,25 м<sup>2</sup>. При этом определяли накопление сырой массы и сухого вещества, площадь листьев. Одновременно на данных площадках отбирали пробы почвы для определения ее влажности. Показатели приборов снимали ежедневно в определенное время. Для учета количества выпавших осадков использовали почвенный дождемер. Остальные метеорологические показатели получали с Аткарской метеостанции, которая находится в 18 км от опытного поля. Условия увлажнения по периодам роста проса выражали в виде гидротермических коэффициентов — ГТК по Селянинову. Значения ГТК 1,2—1,4 свидетельствуют об удовлетворительном увлажнении, ниже 0,6 — о засухе и выше 1,4 — о хорошем увлажнении.

Таблица 1

Метеорологические показатели в 1985 г. (числитель) и 1986 г. (знаменатель)

Месяц	Декада	Среднесуточная температура, °С	Сумма положительных температур (> +5 °С)	Средний дефицит влажности мм	Количество сухих дней	Сумма осадков, мм	ГТК
Май	1	16,7	21	12	7	—	—
		7,6	26	—	—	—	—
	2	14,5	95	12	9	1,3	0,1
		13,4	84	8	4	4,5	0,5
	3	16,3	124	8	4	7,9	0,6
		18,0	143	11	6	3,5	0,2
Июнь	1	17,3	123	11	4	7,1	0,6
		23,4	184	17	8	—	0
	2	17,2	122	7	1	3,9	0,3
		18,4	134	10	3	—	0
	3	17,8	128	5	—	113,5	8,8
		18,3	133	9	—	12,0	0,9
Июль	1	18,3	133	7	—	52,8	3,9
		20,7	157	14	6	3,7	0,2
	2	18,2	132	7	—	8,8	0,7
		17,8	128	9	—	4,0	0,3
	3	17,6	139	7	—	5,9	0,4
		21,1	177	14	—	—	0
Август	1	21,6	166	12	1	—	—
		21,6	166	15	6	—	—
За вегетационный период		17,5	1283	7,1	26	201,2	1,6
		18,0	1332	11,9	33	27,7	0,2
Среднее многолетнее		17,7	1251			172	1,4

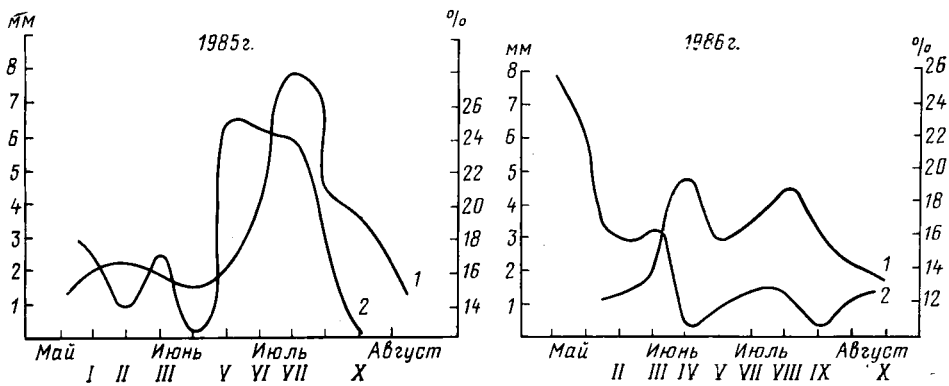


Рис. 1. Расход воды в день, мм (1) и влажность пахотного слоя почвы, % (2).

I — фаза 3-го листа; II — кушение; III — выход в трубку; IV — рост стеблей; V — выметывание; VI — цветение; VII — формирование семян; VIII — молочная спелость; IX — восковая спелость; X — созревание семян.

Метеорологические условия в годы опытов значительно различались. Вегетационный период в 1985 г. был влажным, прохладным, в июне—июле выпало большое

количество осадков; 1986 год оказалась засушливым, с повышенными температурами и сильной засухой в июне—август» (табл. 1).

### Результаты

Исследования показали, что общее расходование воды (без подразделения на транспирацию и испарение из почвы) находилось в линейной зависимости от увлажненности пахотного слоя почвы (рис. 1). Во влажном 1985 г. период максимального потребления воды был коротким. После выметывания метелки кривая потребления влаги круто поднималась вверх и достигала максимума в фазу формирования семян, а затем резко опускалась вниз. Такой ход водопотребления характерен для влажных лет или при орошении, когда продуктивность прося высокая. В засушливом 1986 г. влажность почвы была низкой и характер водопотребления оказался иным. Из-за недостатка влаги процессы водообмена сильно замедлялись и среднесуточный расход воды колебался не так заметно, как в 1985 г., период максимального расходования влаги был более продолжительным и максимальное испарение наполовину меньше.

В 1985 г. отмечена четкая зависимость испарения воды посевом от влажности воздуха (рис. 2). В засушливом 1986 г. недостаток воды в почве стал ограничивающим фактором ее потребления и испарения

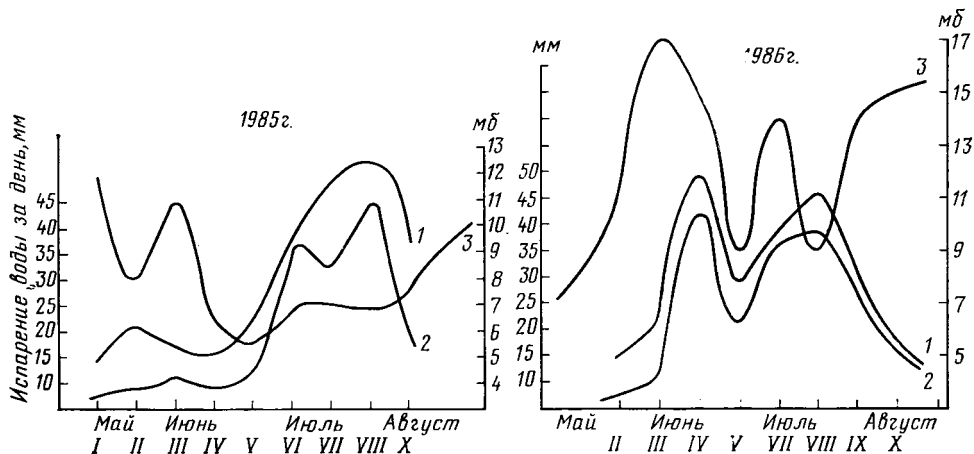


Рис. 2. Зависимость эвапотранспирации и транспирации, мм (1 и 2) от дефицита влажности воздуха, мб (3).

Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

Эвапотранспирационное ( $E_{этр}$ ) и транспирационное ( $E_{тр}$ ) испарение воды по фазам развития проса и за период вегетации

Дата и фаза развития	Урожай сухого вещества, г/м <sup>2</sup>	Испарение, мм		Непродуктивный, % к $E_{этр}$	Расход воды по периодам, %		Коэффициент		
		$E_{этр}$	$E_{тр}$		$E_{этр}$	$E_{тр}$	эвапо-транспирации	транспирации	
1985 г., влажный (сев — 5/V, всходы — 13/V)									
20/V — 3-го листа		14,0	4,7	66,4	4,9	2,5			
30/V — кушение		22,7	9,9	56,4	7,9	5,2			
10/VI — выход в трубку	63,1	17,6	10,9	38,0	6,2	5,7	860,3	404,0	
20/VI — рост стебля	31,6	15,9	9,7	39,0	5,6	5,1	503,2	307,0	
30/VI — выметывание	35,1	23,3	13,2	43,3	8,2	6,9	663,8	376,0	
10/VII — цветение	90,2	43,3	36,3	16,2	15,2	19,1	480,2	402,6	
25/VII — формирование семян	341,2	80,0	58,1	27,4	28,0	30,5	234,5	170,0	
30/VII — начало молочной спелости	209,0	45,1	35,2	21,9	15,8	18,5	222,1	173,4	
13/VIII — полная спелость	131,4	23,5	12,3	47,6	8,2	6,5	171,1	89,6	
За вегетацию	901,6	285,4	190,3	33,3	100	100	316,5	211,1	
Урожайность зерна — 39,9 ц/га, водопотребление на 1 ц зерна и соответствующее количество соломы — 71,5 м <sup>3</sup>									
1986 г., засушливый (сев — 13/V, всходы — 22/V)									
30/V — кушение		15	5,5	63,3	6,2	2,9			
10/VI — выход в трубку	67,2	21,5	12,0	44,2	8,8	6,2	543,0	260,0	
20/VI — рост стебля	92,0	48,4	42,4	12,11	19,9	21,8	526,0	461,0	
30/VI — выметывание	30,4	29,8	20,8	30,2	12,3	10,8	980,0	684,0	
10/VII — формирование семян	94,4	38,6	36,9	4,4	15,9	19,0	409,0	391,0	
20/VII — молочная спелость	100,0	46,0	39,0	15,2	18,9	20,0	460,0	390,0	
30/VII — восковая спелость	137,6	30,8	25,9	15,9	12,7	13,3	224,0	188,0	
10/VIII — полная спелость	72,4	12,9	11,7	9,3	5,3	6,0	178,0	167,0	
За вегетацию	594,0	243,0	194,2	20,1	100,0	100,0	410,0	327,0	
Урожайность зерна — 19,7 ц/га, водопотребление на 1 ц зерна и соответствующее количество соломы — 123,3 м <sup>3</sup>									
Среднее за 2 года									
Кушение		25,9	10,1	61,0	9,8	5,3			
Выход в трубку	65,1	19,5	11,9	40,5	7,4	6,0	697,4	333,3	
Рост стебля	61,8	32,1	26,2	18,4	12,2	13,6	519,4	423,9	
Выметывание	33,7	26,5	17,0	35,8	10,0	8,9	786,3	504,4	
Формирование семян	262,0	81,0	65,7	18,9	30,6	34,2	309,2	250,8	
Молочная спелость	154,5	45,6	37,1	18,6	17,3	19,3	295,1	240,1	
Полная спелость	170,7	33,6	24,5	27,1	12,7	12,7	196,8	143,5	
За вегетацию	747,8	264,2	192,2	27,3	100	100	353,3	257,0	
Урожайность зерна на площади 6 га — 29,8 ц/га, водопотребление на 1 ц зерна и соответствующее количество соломы — 88,6 м <sup>3</sup>									

растениями. При этом с ростом дефицита влажности воздуха наступал водный дефицит и в растениях. Увеличение дефицита влажности воздуха не вызывало адекватного изменения эвапотранспирации и транспирации (табл. 2). Как правило, при недостатке влаги у растений закрываются устьица, возрастает содержание связанной воды [2].

Следует отметить, что, кроме указанных внешних факторов, на испарение воды почвой и растениями влияли и другие условия внешней среды [4, 6, 7, 10].

Эвапотранспирационное и транспирационное испарение по периодам вегетации зависело от размера испаряющей поверхности растений и затенения ими почвы. В период от полных всходов до выметывания метелки листовая поверхность проса была небольшой (табл. 3), почва слабо затенялась, поэтому в эвапотранспирационном испарении доля непродуктивного (почвенного) испарения оказалась высокой и за вегетационный период 1985 г. составила 48,2 %, в 1986 г. — 37,6 %

Фотосинтетический потенциал (ФП), интенсивность (И<sub>тр</sub>)  
и продуктивность транспирации (П<sub>тр</sub>) проса

Дата и фаза развития	1985 г., влажный				1986 г., засушливый			
	площадь листьев, тыс. см <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	ФП, тыс. см <sup>2</sup> ·сут/м <sup>2</sup>	И <sub>тр</sub> , л/м <sup>2</sup> ·сут	П <sub>тр</sub> , г/л	площадь листьев, тыс. см <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	ФП, тыс. см <sup>2</sup> ·сут/м <sup>2</sup>	И <sub>тр</sub> , л/м <sup>2</sup> ·сут	П <sub>тр</sub> , г/л
10/VI — выход в трубку	5,2	144,2	1,8	2,5	11,8	112,7	1,1	5,6
20/VI — рост стебля	11,3	113,1	0,9	3,2	26,5	191,9	2,2	2,2
30/VI — выметывание	20,2	202,2	0,7	2,7	27,3	269,5	0,8	1,5
10/VII — формирование семян	29,4	193,3	1,9	2,5	23,8	255,5	1,4	2,5
20/VII — молочная спе- лость	31,8	181,7	3,2	5,9	15,3	195,3	2,0	2,6
30/VII — восковая спе- лость	43,7	312,4	1,1	5,9	11,5	133,7	1,9	5,3
10/VIII — созревание	19,4	232,4	0,5	10,6	1,9	66,9	1,7	6,2
За вегетационный период	1679,4		1,1	4,7		1225,1	1,6	3,1

(табл. 2). В засушливом году вследствие низкой влажности поверхностного слоя почвы доля испарения влаги из почвы была значительно меньше.

С увеличением площади листовой поверхности и соответственно затененности почвы доля почвенного испарения снижалась. В целом за вегетацию непродуктивное испарение достигало больших размеров: во влажном 1985 г. — 33,3 %, в засушливом 1986 г. — 20,1 % к эвапотранспирационному, или соответственно 951 и 488 м<sup>3</sup>/га.

Снижение непродуктивного расхода влаги из почвы является существенным резервом повышения урожайности проса. Максимальный расход воды на транспирацию в благоприятном 1985 г. приходился на короткий период вегетации цветение — молочная спелость. За 30 дн расходовалось 68,1 % (129,6 мм) влаги, потребляемой за вегетацию. В течение этого времени формировались наибольшие площадь листьев и поглощающая поверхность корней. Период повышенной чувствительности проса к засухе совпадал с максимальным расходом воды на транспирацию.

В засушливом 1986 г. период максимальной транспирации совпал с низкой увлажненностью почвы и испарение воды растениями составило 51,8% (96,7 мм) к потреблению за вегетацию, т. е. было значительно меньше, чем в 1985 г. Недостаток воды в критический период вегетации приводил к значительному недобору зерна. Урожайность снизилась на 10,2 ц/га по сравнению с уровнем 1985 г., когда урожай зерна составил 39,9 ц.

Транспирационный коэффициент проса зависит от многих факторов, в частности от фазы развития растений и гидротермических условий. В наших опытах его значения оказались низкими в начале вегетации, так как растения еще были развиты слабо, поверхность листьев невелика, а влажность воздуха высокая. От фазы кушения до выметывания метелки значения транспирационных коэффициентов возрастали, затем снижались. В среднем за 2 года до фазы выметывания метелки растениями было израсходовано 33,8 % воды, используемой на транспирацию в течение всего вегетационного периода. Накопление сухого вещества за это время составило лишь 21,5 до-

определяющим фактором интенсивности транспирации являлись метеорологические условия, которые влияли не только на этот процесс, но и на формирование листовой поверхности (табл. 3). Так, в 1985 г. фотосинтетический потенциал (ФП) проса был высоким — 1679,4 тыс. см<sup>2</sup>·сут/м<sup>2</sup> в среднем за вегетационный период, вместе с тем

повышенное увлажнение (ГТК 1,6) обусловило низкую интенсивность транспирации— 1,1 л/м<sup>2</sup>-сут. В 1986 г., наоборот, сформировалась меньшая листовая поверхность, за вегетацию ФП достиг только 1225,1 тыс. см<sup>2</sup>•сут/м<sup>2</sup>, ГТК составил 0,2, что способствовало повышению интенсивности транспирации за вегетационный период до 1,6 л/м<sup>2</sup>•сут. Продуктивность транспирации (количество сухого вещества, образующегося при расходе воды растением 1 л воды) зависит от тех же условий среды, что и транспирационный коэффициент. По периодам роста и развития проса значение этого показателя варьировало (табл. 3) от 2,5 до 10,6 г/л во влажный 1985 г. и от 1,5 до 6,2 г/л в засушливый 1986 г. В среднем за вегетационный период он составил соответственно 4,7 и 3,1 г/л.

По продуктивности транспирации можно судить о пластичности растений к изменению условий среды, поэтому данный показатель целесообразно использовать при разработке агромероприятий, направленных на более рациональное использование ресурсов влаги.

## Выводы

1. Общий расход воды (эвапотранспирация) посевами проса находится в прямой зависимости от увлажненности почвы и дефицита влажности воздуха. Во влажном 1985 г. он составил 285,4 мм/га против 240,0 мм/га в засушливом 1986 г. Расход влаги на формирование 1 ц сухого зерна и соответствующее количество соломы в 1985 г. равнялся 71,5 м<sup>3</sup>, в 1986 г. — 123,3 м<sup>3</sup>.

2. Транспирационный коэффициент у посевов проса тесно зависит от обеспеченности растений влагой. В 1985 г. он составил 211,1, в 1986 г. — 327,0. Максимальный расход воды на транспирацию приходится на период выметывание метелки — молочная спелость. За это время испаряется 52—68 % воды, используемой в течение всей вегетации. В данный период просо наиболее чувствительно к засухе. Транспирационные коэффициенты, полученные в экспериментах, могут быть использованы для обоснования норм потребления воды при возделывании проса по интенсивной технологии в Правобережье Саратовской области.

3. Непродуктивное испарение влаги с 1 га посева проса достигало больших размеров и составило во влажном году 951 м<sup>3</sup> и в засушливом — 488 м<sup>3</sup>. Уменьшение непродуктивного испарения на 50 % позволило бы в условиях Саратовской области повысить урожайность проса на 3—5 ц/га.

4. Интенсивность транспирации проса зависит от гидротермических условий и фотосинтетического потенциала. Во влажном году она уменьшалась до 1,1 л/м<sup>2</sup>-сут, в засушливом увеличивалась до 1,6 л/м<sup>2</sup>•сут.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алпатьев А. М. Влагообеспеченность культурных растений. — Л.: Гидрометеоздат, 1954. — 2. Гусев Н. А. Некоторые закономерности водного режима растений. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 3. Елагин И. Н. Агротехника проса. — М.: Россельхозиздат, 1981. — 4. Клименко В. Л., Попова С. В. Фотосинтетическая деятельность посевов озимой пшеницы при разных предшественниках и уровнях питания. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 2, с. 29—38. — 5. Корнилов А. А. Просо. — М.: Сельхозиздат, 1960. — 6. Макодзеба И. А. Глубокая вспашка черноземных почв. — М.: Сельхозгиз, 1956. — 7. Сабинин Д. А. Физиологические основы питания растений. — М.: Изд-во АН СССР; 1955. — 8. Максимов Н. А. Краткий курс физиологии растений. — М.: Сельхозгиз, 1958. — 9. Шатилов И. С., Клименко В. Л. Транспирация и эвапотранспирация озимой и яровой пшеницы в условиях Саратовского Правобережья. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 5, с. 11—20. — 10. Шатилов И. С., Клименко В. Л. Водный режим парового поля в условиях Саратовской области. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 6, с. 11—24. — 11. Физиология сельскохозяйственных растений. Т. 6. — М.: Изд-во МГУ, 1970. — 12. Якименко А. Ф. Просо. — М.: Россельхозиздат, 1985.

*Статья поступила 26 мая 1987 г.*

## SUMMARY

Investigations were conducted in 1985—1986. It is found that evapotranspiration in millet is in direct correlation with soil moisture and air moisture deficiency. Transpiration coefficient depends on water content and other vital factors. It varied in different years from 211.1 to 327.0. Non-productive evaporation in seedings was higher, it made up 951 m<sup>3</sup>/ha in humid 1985 and 488 m<sup>3</sup>/ha in droughtly 1986.