

УДК 502/504:631.67

Т. И. СУРИКОВА

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

А. В. ШУРАВИЛИН, Н. М. САЛЕХ, С. А. КОЙКА

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов»

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР СТОЧНЫМИ ВОДАМИ В УСЛОВИЯХ ЙЕМЕНА

Изложены результаты полевых исследований по режиму орошения люцерны, пшеницы и картофеля сточными водами в условиях Йемена. Определены нормы и сроки поливов, оросительная норма и суммарное водопотребление, установлены биологические коэффициенты культур. Орошение сточными водами по предложенному режиму повысило урожайность люцерны на зеленую массу на 23,8 %, яровой пшеницы на зерно – на 16,3 %, клубней картофеля – на 14,3 % по сравнению с поливом грунтовой водой.

Водопотребление, режим орошения, сточные воды, оросительная норма, поливная норма, урожайность, люцерна, пшеница, картофель.

There are given results of field researches on the sewage irrigating regime of alfalfa, wheat and potato under the conditions of Yemen. The rates and terms of irrigation, total water consumption is defined, biological factors of crops are established. Sewage irrigation according to the proposed regime has increased crop capacity of alfalfa on green mass – by 23, 8 %, spring wheat on grain – by 16,3 %, potato tubers – by 14, 3 % in comparison with ground water irrigation.

Water consumption, an irrigation regime, sewage, irrigating rate, crop capacity, alfalfa, wheat, potatoes.

В Йемене из-за острого дефицита природной воды изучается возможность и эффективность орошения городскими сточными водами, использование которых значительно снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду. При орошении сточными водами происходит их почвенная доочистка, прекращается сброс в поверхностные источники и загрязнение подземных вод, обеспечивается утилизация питательных веществ, содержащихся в сточных водах, и экономия водных ресурсов. Однако технология орошения сельскохозяйственных культур разработана недостаточно, а экологическая оценка использования сточных вод не проводилась.

В связи с этим разработка рациональных режимов орошения сельскохозяйственных культур сточными водами на горных красно-бурых карбонатных почвах Южного Йемена является актуальной задачей. Экспериментальные исследования были

проведены в 2007–2009 годах на землях крестьянского хозяйства «Аль-Майтами» Южного Йемена. При возделывании люцерны среднегодовая температура воздуха в эти годы составляла 19,0...19,4 °С при среднемноголетней величине 18,3 °С, а годовая сумма осадков – соответственно 553,3, 728,4 и 820,2 мм при норме 809,9 мм. Годовой дефицит влаги соответственно был 975,8, 952,0 и 761,4 мм. В вегетационной период яровой пшеницы и картофеля (сентябрь – декабрь) средняя температура воздуха была близка к среднемноголетней величине в 2009 году, а в 2007 и 2008 годах она была выше многолетних значений на 1,0 и 1,1 °С при норме 16,9 °С. Сумма осадков была ниже нормы на 65,5, 10,5 и на 19,8 мм при норме 141,8 мм. Дефицит естественного увлажнения составлял 441,8...518 мм.

Почвенный покров опытных участков представлен горными красно-бурыми

карбонатными почвами средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса в верхнем слое почвы 0...40 см – 1,07...1,24 %, карбонатов (CaCO₃) – 8,4...10 %. Почва умеренно обеспечена гумусом, низко обеспечена подвижным фосфором и достаточно хорошо обеспечена обменным калием. Содержание общего азота составляет 0,059...0,065 %, подвижного фосфора – 0,75...0,85 и обменного калия – 11,4...12,2 мг на 100 г почвы. Почва незасоленная. Плотность сложения в слое 0...40 см составляет 1,24...1,26 г/см³, пористость – 50 %, наименьшая влагоемкость (НВ) – 28,1 % от массы.

Для проведения исследований были выбраны три однородных по эколого-ландшафтным условиям опытных участка, где возделывалась люцерна на зеленую массу, яровая пшеница на зерно и картофель. На каждом опытном участке изучался полив грунтовыми водами из скважины (контроль – вариант 1) и орошение городскими сточными водами (вариант 2) в четырехкратной повторности. Агротехника в опыте была общепринятая для горной части Южного Йемена. На первом опытном участке возделывалась люцерна сорта «Хиджази», на втором – яровая пшеница сорта «Бухуз-13», на третьем – картофель сорта «Фабюла».

Городские сточные воды после их очистки характеризуются слабой минерализацией (в среднем 1162 мг/л) и слабощелочной реакцией (рН = 7,3...7,4). Содержание взвешенных веществ – 480...546 мг/л, что превышает нормативный показатель (200 мг/л). Сточные воды

содержат большое количество загрязнителей органического и биологического происхождения: ХПК – 209,8...230,1 мг/л, содержание БПК₅ – 72,6...86,6 мг/л, т.е. выше предельно допустимых концентраций. По химизму засоления сточные воды хлоридно-бикарбонатные, а по катионному составу – кальциевые. Содержание аммонийного азота, нитратов, нитритов и тяжелых металлов ниже ПДК. Содержание железа, меди, марганца и кобальта после биологической очистки остается более высоким – в среднем 0,5 ПДК. По большинству агроирригационных показателей сточные воды пригодны для орошения сельскохозяйственных культур.

Режим орошения сельскохозяйственных культур в опытах поддерживался одинаковым, полив осуществлялся городскими сточными водами и грунтовой водой. Для поддержания предполивной влажности почвы на уровне 80 % НВ в метровом слое почвы в 2007 году при орошении люцерны на зеленую массу потребовалось провести 10 поливов люцерны оросительной нормой 7160 м³/га при средней поливной норме 716 м³/га, в 2008 году – 9 поливов нормами 770...790 м³/га при оросительной норме 7030 м³/га, в 2009 году было проведено 8 поливов нормами 770...790 м³/га (оросительная норма 6260 м³/га) (табл. 1).

При орошении яровой пшеницы для поддержания предполивной влажности на уровне 70 % НВ в 2007–2009 годах было проведено 4–5 поливов нормами 800...820 м³/га при оросительной норме 3260...4040 м³/га (табл. 2).

Таблица 1

Нормы и сроки поливов люцерны на зеленую массу

Номер полива	2007 год		2008 год		2009 год	
	Дата полива	Норма полива, м ³ /га	Дата полива	Норма полива, м ³ /га	Дата полива	Норма полива, м ³ /га
1	15.01	500	08.01	780	24.01	770
2	05.02	600	31.01	780	15.02	780
3	02.02	780	24.02	780	07.30	790
4	15.03	780	10.03	790	26.03	790
5	31.03	790	05.10	790	15.10	790
6	12.07	650	27.10	790	05.11	790
7	14.10	770	15.11	780	26.11	780
8	31.10	770	05.12	770	12.12	770
9	20.11	760	26.12	770	–	–
10	12.12	760	–	–	–	–
Оросительная норма		7160		7030		6260

Таблица 2

Нормы, сроки поливов пшеницы и картофеля

Номер полива	2007 год		2008 год		2009 год	
	Дата полива	Норма полива, м ³ /га	Дата полива	Норма полива, м ³ /га	Дата полива	Норма полива, м ³ /га
Яровая пшеница						
1	28.09	800	05.10	810	10.10	800
2	10.10	810	21.10	820	25.10	810
3	29.10	820	15.11	820	10.11	820
4	17.11	810	09.12	810	27.11	810
5	10.12	800	—	—	16.12	800
Итого		4040		3260		4040
Картофель						
1	24.09	540	28.09	540	08.10	540
2	06.10	540	10.10	550	18.10	540
3	17.10	550	21.10	550	27.10	550
4	27.10	550	05.11	550	05.11	550
5	07.11	550	14.11	550	14.11	550
6	19.11	550	26.11	550	24.11	550
7	01.12	540	10.12	540	04.12	540
8	14.12	540			15.12	540
Итого		4360		3830		4360

При возделывании картофеля для поддержания оптимальной влажности 75 % от НВ за вегетационный период потребовалось 7–8 поливов нормами 540...550 м³/га при оросительной норме 3830...4360 м³/га в зависимости от тепло- и влагообеспеченности года (см. табл. 2). Влажность почвы во время посадки была достаточно высокой (84...88 % НВ), но к концу вегетации она снижалась до 70 % НВ и менее.

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур определялось методом водного баланса по полевым

наблюдениям за осадками, изменениями запасов почвенной влаги, поливами, влагообменом с подстилающим слоем [1]. Результаты приведены в табл. 3 и 4 и на рис. 1...3.

В среднем за три года возделывания люцерны суммарное водопотребление составило 13 946 м³/га, а среднесуточное – 38,2 м³/га. Наиболее высокое водопотребление люцерны характерно для тех месяцев вегетации, в которых отмечались высокие температуры воздуха и выпадало мало осадков.

В суммарном водопотреблении люцерны при ее регулярном орошении и

Таблица 3

Водопотребление люцерны, м³/га

Период вегетации	2007 год		2008 год		2009 год		Среднее значение	
	Всего	За сутки	Всего	За сутки	Всего	За сутки	Всего	За сутки
Январь	893	28,81	985	31,77	723	23,32	867	27,97
Февраль	1317	47,03	1505	51,90	911	32,54	1244	43,82
Март	1192	38,45	1202	38,77	1305	42,10	1233	39,77
Апрель	1584	52,80	934	31,13	888	29,60	1135	37,84
Май	751	24,23	600	19,35	1108	35,77	820	26,44
Июнь	784	26,13	963	32,10	1212	40,40	986	32,88
Июль	1226	39,55	1151	37,13	1285	41,45	1221	39,38
Август	1090	35,16	1748	56,39	2331	75,19	1723	55,58
Сентябрь	1022	34,07	1101	36,70	1443	48,10	1189	39,62
Октябрь	987	31,84	1248	40,26	977	31,52	1071	34,54
Ноябрь	1502	50,06	1507	50,23	1111	37,03	1373	45,77
Декабрь	593	19,13	1445	46,61	1214	39,16	1084	34,97
Всего	12941	35,45	14389	39,31	14508	39,75	13946	38,17

поддержании оптимальной влажности почвы в среднем за три года наибольшая доля принадлежит атмосферным осадкам – 50 % и оросительной норме – 49,1 %, использование почвенной влаги растениями за год при орошении составило 0,9 % от суммарного водопотребления.

Водопотребление яровой пшеницы в зависимости от погодных условий вегетационного периода изменялось в пределах 4 591...5 723 м³ /га, среднесуточное водопотребление составляло 37,55...46,91 м³ /га (табл. 4). Наибольшее водопотребление приходилось на критические периоды

Таблица 4

Водопотребление яровой пшеницы и картофеля, м³ /га

Месяц	2007 год		2008 год		2009 год		Среднее значение	
	Всего	За сутки	Всего	За сутки	Всего	За сутки	Всего	За сутки
Яровая пшеница								
Сентябрь	1464	48,80	987	32,90	1605	53,50	1352	45,07
Октябрь	1594	51,42	1660	53,55	1189	38,55	1481	47,77
Ноябрь	1460	48,67	1005	33,50	2153	71,77	1540	51,33
Декабрь	826	26,65	929	29,97	776	25,03	843	27,19
За вегетацию	5344	43,80	4581	37,55	5723	46,91	5216	42,75
Картофель								
Сентябрь	1559	54,92	1206	40,20	2002	66,73	1589	53,95
Октябрь	1205	38,87	1585	51,13	458	14,77	1083	34,94
Ноябрь	1813	60,43	1918	64,27	2034	67,80	1926	64,20
Декабрь	1295	41,77	940	30,32	1411	45,52	1215	39,15
За вегетацию	5872	48,13	5659	46,39	6405	52,50	5813	47,65

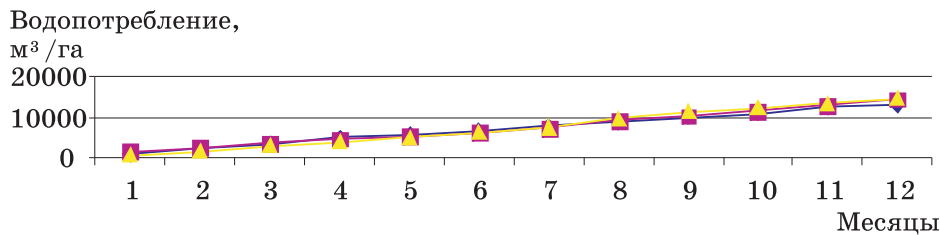


Рис. 1. Интегральная кривая водопотребления люцерны в 2007–2009 годах, м³/га: —◆— 2007 год; —■— 2008 год; —▲— 2009 год

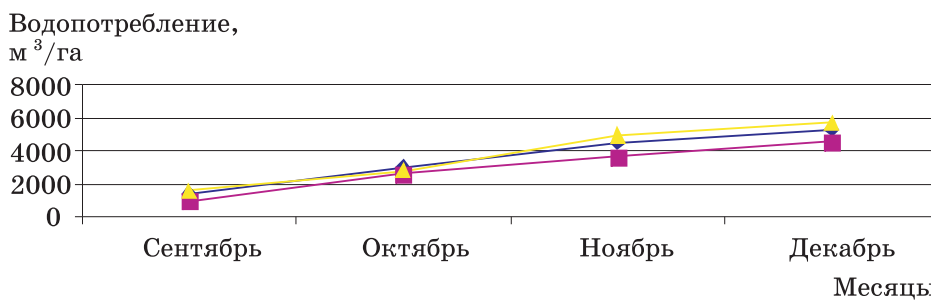


Рис. 2. Интегральная кривая водопотребления яровой пшеницы в 2007–2009 годах, м³/га: —◆— 2007 год; —■— 2008 год; —▲— 2009 год

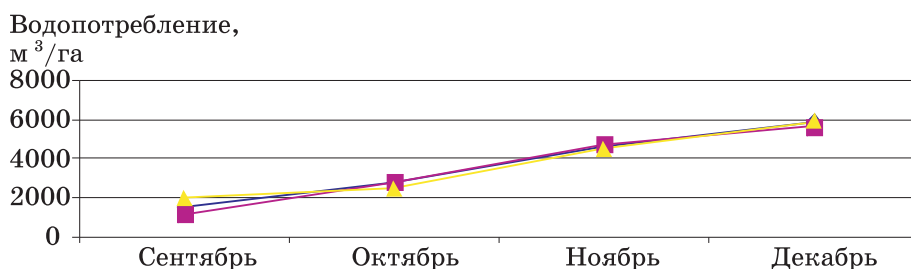


Рис. 3. Интегральная кривая водопотребления картофеля в 2007–2009 годах, м³/га: —◆— 2007 год; —■— 2008 год; —▲— 2009 год

роста и развития пшеницы (октябрь – ноябрь). В конце вегетации растения расходовали значительно меньше влаги. В суммарном водопотреблении яровой пшеницы в среднем за три года доля атмосферных осадков составила 19,5 %, оросительной воды – 72,5 %, почвенной влаги – 8,1 %.

Суммарное водопотребление картофеля в среднем за три года составило 5 813 м³/га при среднесуточном 47,65 м³/га. Оно было максимальным (6405 м³/га) в наиболее жарком 2009 году. Во все годы исследований наибольшее водопотребление было зафиксировано в ноябре и в среднем составляло 1 926 м³/га, или 64,2 м³/га за сутки. Этот период вегетации являлся критическим по влагообеспеченности, и усиленное водоснабжение совпадало с фазой максимального клубнеобразования. В суммарном водопотреблении картофеля доля осадков составила 17,5 %, приход влаги из почвы – 13,4 % и оросительной воды – 69,1 %.

Для расчетов суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур в практике проектирования режимов орошения используют эмпирические зависимости Г. К. Льгова (с биофизическим коэффициентом), Н. В. Данильченко (с биологическим коэффициентом испарения) и И. А. Шарова (с модулем испарения) [2, 3]. По результатам проведенных полевых исследований годовой биофизический коэф-

фициент в среднем за три года составил: для люцерны – 1,98, для яровой пшеницы – 2,43, для картофеля – 2,82 м³/га на 1 °С. Биологический коэффициент для люцерны за годовой период вегетации в среднем составил 0,90, за период вегетации яровой пшеницы – 1,09, картофеля – 1,23 м³/га на 1мм. Модуль испарения в формуле И.А. Шарова в среднем за годовой период люцерны составил 1,98, для яровой пшеницы – 1,89, для картофеля – 2,21 м³/га на 1 °С. Полученные значения биологических коэффициентов люцерны, яровой пшеницы и картофеля могут быть использованы при определении суммарного водопотребления и разработке проектного режима орошения.

Поливы сточными водами заметно повысили урожайность сельскохозяйственных культур по сравнению с поливами грунтовой водой во все годы исследований (табл. 5). В среднем за три года урожайность зеленой массы люцерны составила 90,34 т/га и была выше контроля на 17,68 т/га, или на 23,8 %.

В среднем за три года урожайность зерна яровой пшеницы составила 5,06 т/га, что выше контроля на 0,71 т/га, или на 16,3 %. Аналогичная картина сохранялась для картофеля: в среднем за годы исследований урожайность составила 35,26 т/га и была больше контроля на 4,41 т/га, или на 14,3 %.

Таблица 5

Урожайность сельскохозяйственных культур, т/га

Вариант опыта	2007 год	2008 год	2009 год	Среднее значение	Отклонение от контроля, %	
					%	т/га
Люцерна на зеленую массу						
Грунтовая вода	61,39	79,51	77,09	72,66		–
Сточная вода	72,12	101,3	97,6	90,34	23,8	17,68
НСР _{0,5}	1,85	2,68	2,14	3,53		
Яровая пшеница (зерно)						
Грунтовая вода	4,37	4,46	4,21	4,35		–
Сточная вода	5,07	5,12	4,98	5,06	16,3	0,71
НСР _{0,5}	0,35	0,38	0,43	0,45		
Картофель						
Грунтовая вода	30,45	32,17	29,94	30,85		–
Сточная вода	35,88	36,13	33,76	35,26	14,3	4,41
НСР _{0,5}	1,41	1,48	1,0	1,59		

Характер изменения урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от источника оросительной воды сохранялся во все годы исследования.

Выводы

Полученные данные показали, что поливы сельскохозяйственных культур городскими сточными водами обеспечивают

более высокую урожайность по сравнению с поливом грунтовыми водами, что связано с наличием в сточных водах большого количества питательных веществ (азота, фосфора, калия) и полезных микроэлементов. Кроме того, при орошении городскими сточными водами поступление питательных элементов в почву и растения происходит постоянно при каждом поливе, т.е. отмечается дозированное внесение доступных питательных элементов вместе с водой во все основные фазы роста и развития растений.

При орошении люцерны городскими сточными водами содержание нитратов в кормовой продукции значительно ниже ПДК (в зерне пшеницы также ниже ПДК – 0,5 % сухого вещества), а содержание тяжелых металлов в зерне хотя и увеличивалось, но оставалось незначительным и не оказало отрицательного влияния на качество.

При орошении картофеля городскими сточными водами получаемая продукция соответствовала установленным стандартам по химическому составу, а содержание нитратов и тяжелых металлов не превышало предельно допустимой концентрации и других нормативов для технического картофеля, содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля было также значительно ниже ПДК.

Выводы

Орошение сточными водами повышает урожайность, не оказывает отрицательного влияния на химический состав, питательную ценность и загрязнение продукции тяжелыми металлами. В зависимости от объема, химического состава и возможности утилизации на сельскохозяйственных

полях сточные воды рекомендуется использовать с применением экологически безопасной технологии циклического орошения. Такая технология основана на периодической подаче сточных вод в течение 4-5 лет и грунтовой воды в течение 2-3 лет, что значительно снизит риски возможного загрязнения почв и растительной продукции.

Орошение сельскохозяйственных культур городскими сточными водами в экологически допустимых пределах рекомендуется проводить с учетом дефицита водопотребления растений в зависимости от тепловлагообеспеченности вегетационного периода и биологических особенностей сельскохозяйственных культур.

1. *Природообустройство* / А. И. Голованов [и др.]; под ред. А. И. Голованова. – М.: КолосС, 2008. – 552 с.

2. *Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник* // Под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

3. **Льгов Г. К.** Орошение сельскохозяйственных культур центральной части Северного Кавказа. – Нальчик, 1980. – С. 104.

Материал поступил в редакцию 26.11.10.

Сурикова Тамара Ивановна, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (495) 485-66-62

E-mail: t.i.surikova@mail.ru

Шуравилин Анатолий Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Тел. 8 (495) 334-11-73

Салех Набиль Мохаммед Нор Аддин, кандидат сельскохозяйственных наук

Тел. 8 (495) 334-11-73

Койка Светлана Андреевна, и.о. доцента

Тел. 8 (495) 334-11-73