

УДК 626.82.004:658.012.2

А. С. Штанько

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Целью исследований являлась разработка методики корректировки объемов водоподачи на нужды орошения сельскохозяйственных культур при дефиците водных ресурсов. Для достижения поставленной цели был использован принцип, заключающийся в распределении водных ресурсов между конкурирующими сельскохозяйственными культурами при уменьшении общего лимита водоподачи на водовыдел пропорционально их доле в стоимости прибавки урожайности от орошения на рассматриваемом водовыделе. В результате исследований была разработана методика корректировки объемов водоподачи для нужд орошения сельскохозяйственных культур при дефиците водных ресурсов, предусматривающая снижение лимитов подачи воды водопользователям таким образом, чтобы экономический ущерб от недополива сельскохозяйственных культур был минимальным. Анализ результатов теоретической проверки предложенной методики показывает, что при снижении общего объема водоподачи в массив меньше всего урезается объем водоподачи для орошения томатов, как самой отзывчивой на орошение и доходной при орошении культуры рассматриваемого массива. При уменьшении общего объема водоподачи в массив на 30 % объем водоподачи для орошения томатов по расчету уменьшается на 0,8 %. Незначительно сокращаются и объемы водоподачи для орошения капусты (1,3 %), картофеля (2,0 %), лука (4,7 %), кукурузы на зерно (9,7 %) и кукурузы на силос (10,0 %). Больше всего урезается объем водоподачи для орошения ярового ячменя (86,7 %), как наименее отзывчивой на орошение культуры в рассматриваемом массиве. Итоги теоретической проверки свидетельствуют о целесообразности и работоспособности предложенной методики корректировки объемов водоподачи для нужд орошения при дефиците водных ресурсов.

Ключевые слова: оросительная система, планирование водопользования, водные ресурсы, дефицит, сельскохозяйственные культуры, урожайность.

A. S. Shtanko

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

WATER CONSUMPTION PLANNING AND IMPLEMENTATION FOR IRRIGATION SYSTEMS UNDER THE CONDITIONS OF WATER SCARCITY

The aim of research was to develop a method of adjusting the delivery value for irrigation of crops under the conditions of water scarcity. To achieve this goal the principle of water resources distribution between competing crops at decreasing the overall water supply limit to outlets in proportion to their share in the cost of the productivity from irrigation on the given water outlet was used. As a result of research a method of adjusting delivery value for crops irrigation at water supply deficit has been developed, providing the reduction of water supply limits to water users in the way that economic losses from agricultural crops underwatering were minimal. Analysis of the theoretical verification of the proposed method

shows that with the decrease of total water delivery to the area, the delivery value for irrigation of tomatoes as the most sensitive to irrigation and the most profitable crop is cut the least. By reducing the total delivery value by 30 % the amount of water supply for irrigation tomatoes (estimates) decreases by 0.8 % by calculation. The delivery value for irrigation of cabbage (1.3 %), potatoes (2.0 %), onion (4.7 %), corn (9.7 %) and corn silage (10.0 %) are slightly reduced. The delivery value for irrigation spring barley (86.7 %) as the least sensitive to irrigation in this area is cut the most. Results of the theoretical test show the feasibility and efficiency of the proposed method of delivery value adjustments for irrigation with water scarcity.

Keywords: irrigation system, water management planning, water resources, water scarcity, crops, yields.

Введение. Основы современной методологии, реализующие технологию планирования водопользования как способа управления водопользованием на оросительных системах, были заложены в 30-е гг. XX века. Впервые методика составления системных и районных планов водопользования была разработана в 1929 г. Н. А. Янишевским [1, 2]. В представленной им методике планового распределения оросительной воды между орошаемыми массивами были изложены рекомендации по составлению и выполнению планов водопользования, способы установления расчетных режимов орошения (сроков и норм поливов), способы определения и уменьшения потерь воды из каналов и приемы разверстки этих потерь при планировании водопользования. Эти положения в дальнейшем послужили основой для развития планового водопользования на мелиоративных системах.

В 30-х гг. прошлого века возникла необходимость дальнейшего развития форм и методов планирования водопользования. На основе накопления и обобщения опыта составления и практического осуществления планов водопользования, а также передового опыта эксплуатации оросительных систем под руководством И. А. Шарова в 1938 г. были разработаны правила технической эксплуатации оросительных систем. Наряду с изложением усовершенствованной методики составления и выполнения планов водопользования в правилах была выдвинута идея диспетчеризации управления водой как основа централизованного руководства оперативной дея-

тельностью оросительных систем. Эта идея была развита в последующих работах автора [3].

Следующие годы связаны с колоссальными темпами гидромелиоративного строительства, технического совершенствования гидромелиоративных систем, значительного улучшения техники и способов полива сельскохозяйственных культур. Большие изменения претерпели принципы водораспределения на мелиоративных системах на основе внедрения автоматизации водораспределения и управления процессами механизации водохозяйственных работ [4].

Дальнейшее совершенствование методологии водопользования проводилось с целью оптимизации использования водных ресурсов в условиях их дефицита с применением методов системного анализа и математического моделирования. Реализация данного направления нашла отражение в работах Г. В. Воропаева, Т. К. Деркинбаева, В. П. Дмитренко, Л. М. Игельника, Г. Х. Исмаилова, Б. Г. Коваленко, В. Г. Пряжинской, Р. А. Халбаевой и других авторов [5–9]. Усовершенствованная методика водопользования с использованием указанных научных подходов была разработана О. П. Кисаровым, В. И. Ольгаренко, Т. Я. Гельман, К. А. Сарочаном и другими учеными и внедрена на оросительных системах Ростовской области [10–12].

В 1980-х гг. появляется ряд научных трудов, связанных с оптимальным планированием водопользования и водораспределения. В. П. Остапчик для определения очередности поливов по конкурирующим полям предлагает приоритетный подход, основанный на использовании аппарата экспертных оценок [13]. Н. Л. Модебаудзе и Д. Д. Могавариане в условиях дефицита водных ресурсов, напротив, считают наиболее целесообразным пропорциональное снижение оросительных норм для всех видов сельскохозяйственных культур [14].

Обширные исследования по изучению принципов водопользования

на оросительных системах Ростовской области и Северного Кавказа были проведены В. И. Ольгаренко, В. Н. Щедриным, И. А. Чуприным, Е. А. Игнатьевым, И. В. Ольгаренко, С. М. Васильевым, В. И. Селюковым, Г. Т. Балакаем и др. Исследования ученых направлены на совершенствование существующих и разработку новых методов планирования и организации водопользования на системах, которые имеют основополагающее значение для дальнейшего эффективного развития мелиоративной науки и практики. В этой проблеме в настоящий момент главную роль играют вопросы разработки технологий и систем управления при наличии дефицитов всех видов ресурсов [15–17].

При составлении системного плана водопользования на оросительной системе и расчете баланса водораспределения специалисты учреждений по мелиорации зачастую сталкиваются с дефицитом водных ресурсов, вызванным превышением потребностей водопользователей над водностью источника орошения или недостаточной пропускной способностью гидротехнических сооружений и каналов оросительной сети. Также при реализации планов водопользования возможна ситуация, когда текущая водообеспеченность источника орошения оказывается ниже запланированной. При этом возникает необходимость уменьшения лимитов подачи воды водопользователям таким образом, чтобы экономический ущерб от недополива сельскохозяйственных культур был минимальным. В связи с этим целью исследований являлась разработка методики корректировки объемов водоподдачи на нужды орошения сельскохозяйственных культур при дефиците водных ресурсов.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели в предложенной методике применен принцип, заключающийся в распределении водных ресурсов между конкурирующими сельскохозяйственными культурами при уменьшении общего лимита водоподдачи на водовыдел пропорционально их доле в стоимости прибавки урожайности от орошения

на рассматриваемом водовыделе. Т. е. для культуры, которая дает максимальный экономический эффект при орошении на рассматриваемом водовыделе, оросительная норма сокращается минимально. Для остальных культур она сокращается в большем объеме пропорционально их доле в стоимости прибавки урожайности от орошения на рассматриваемом водовыделе.

Если на рассматриваемом водовыделе наряду с прочими культурами присутствует особо зависимая от орошения сельскохозяйственная культура рис, то возможны два основных подхода к корректировке объемов водоподдачи для орошения этой культуры.

Первый подход подразумевает, что рис получает преимущество при распределении водных ресурсов. Для него оросительные нормы не сокращаются, так как рисовые оросительные системы рассчитываются на год 95%-ной обеспеченности, а прочие оросительные системы – на год 75%-ной обеспеченности. Снижение водообеспеченности рисовых севооборотов допускается в годы с обеспеченностью 96–99 % на 30 %, что случается крайне редко. Поэтому снижение общего лимита водопотребления по водовыделу или пункту вододеления производится за счет прочих культур.

Согласно второму подходу объемы водоподдачи для орошения риса при дефиците водных ресурсов корректируются на общих основаниях в соответствии с его долей в стоимости прибавки урожайности от орошения на рассматриваемом водовыделе или узле вододеления. При этом скорректированный объем водоподдачи распределяется таким образом, чтобы оросительные нормы не уменьшались, а его сокращение компенсировалось уменьшением орошаемых площадей.

Выбор подхода к корректировке объемов водоподдачи на орошение риса для реализации в конкретном орошаемом массиве должен регламентироваться региональными государственными органами управления сельским хозяйством, водохозяйственным комплексом и оросительными сис-

темами. При этом рекомендуется использовать результаты исследований ведущих ученых в области рисосеяния. Например, ученые КубГАУ В. П. Амелин, С. А. Владимиров и др. научно обосновали и разработали процессы экологизации возделывания риса для условий Кубани.

Пусть имеется некоторый водовыдел, из которого орошается массив сельскохозяйственных культур. Лимит их водопотребления по тем или иным причинам необходимо урезать на определенную величину по сравнению с ранее запланированной или проектной. Расчет начинается с определения количества и состава культур, обслуживаемых рассматриваемым водовыделом, на котором необходимо уменьшить запланированный ранее лимит водопотребления. Сведения о количестве, составе, занимаемых площадях и оросительной норме культур берутся из календарного плана проведения поливов в разрезе водовыделов. Также на данном этапе должна быть спрогнозирована урожайность каждой культуры на богаре, при орошении и цена реализации планируемой сельскохозяйственной продукции. Цену реализации кормовых культур (люцерны, травосмесей, кукурузы на силос) целесообразно принимать в пересчете на молоко и мясо, которые можно получить при реализации полученных кормов. В противном случае экономическая эффективность кормопроизводства окажется сильно заниженной, что повлечет за собой максимальное уменьшение объемов водоподдачи для орошения кормовых культур.

Далее определяется прибавка урожайности от орошения сельскохозяйственных культур Π_{opi} , т/га, на данном водовыделе как разница между урожайностью при орошении и на богаре:

$$\Pi_{opi} = Y_{oi} - Y_{bi}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где Y_{oi} – урожайность i -й культуры при орошении, т/га;

Y_{bi} – урожайность i -й культуры на богаре, т/га;

n – количество культур, орошаемых с рассматриваемого водовыдела.

Умножив прибавку урожайности от орошения Π_{opi} , т/га, на цену реализации полученной сельскохозяйственной продукции Π_i , тыс. руб., определим стоимость прибавки урожайности i -й культуры C_{osi} , тыс. руб./га:

$$C_{osi} = \Pi_{opi} \Pi_i. \quad (2)$$

Далее определяем стоимость прибавки урожайности от орошения i -й культуры при подаче 1 м^3 оросительной воды C_{owi} , руб./ м^3 :

$$C_{owi} = \frac{C_{osi}}{M_i}, \quad (3)$$

где M_i – оросительная норма i -й культуры, тыс. $\text{м}^3/\text{га}$.

Для дальнейших расчетов необходимо привести полученные значения стоимости прибавки урожайности от орошения i -й культуры при подаче 1 м^3 оросительной воды к долям единицы от общей стоимости прибавки от орошения в рассматриваемом массиве. Для этого определяется коэффициент K_{li} :

$$K_{li} = \frac{C_{owi}}{\sum_{i=1}^n C_{owi}}, \quad (4)$$

где K_{li} – коэффициент, отражающий долю стоимости прибавки урожайности i -й культуры от общей стоимости прибавки от орошения в рассматриваемом массиве.

Полученный коэффициент показывает, насколько эффективно с экономической точки зрения используется оросительная вода при возделывании i -й культуры рассматриваемого водовыдела по отношению к другим культурам рассматриваемого массива. Соответственно, для получения наибольшего эффекта от подачи оросительной воды объем снижения лимита водопотребления по водовыделу в целом необходимо распределить между культурами массива таким образом, чтобы оросительные нормы наиболее эффективных при орошении культур урезать минимально, а наи-

менее эффективных – максимально. Выполнить указанное условие можно путем распределения объема воды, на который необходимо уменьшить лимит водопотребления, между конкурирующими культурами обратно пропорционально коэффициенту K_{1i} . Для этого необходимо рассчитать коэффициент K_{2i} по следующей зависимости:

$$K_{2i} = \frac{1}{K_{1i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{1i}}}, \quad (5)$$

где K_{2i} – коэффициент, обратно пропорциональный K_{1i} , отражающий долю i -й культуры от общего объема снижения лимита оросительной воды в рассматриваемом массиве.

Следовательно, объем водоподачи на нужды орошения i -й культуры в рассматриваемом массиве для сниженного лимита водоподачи на рассматриваемый водовыдел определится по зависимости:

$$W_{ZLi} = W_{Li} - \sum_{i=1}^n W_{Li} (1-Z) K_{2i}, \quad (6)$$

где W_{ZLi} – откорректированный объем водоподачи на нужды орошения i -й культуры для лимита водоподачи на водовыдел, скорректированного на коэффициент Z , м³;

W_{Li} – объем водоподачи на нужды орошения i -й культуры в рассматриваемом массиве для запланированного объема водоподачи на рассматриваемый водовыдел. Определяется по зависимости, м³:

$$W_{Li} = S_i M_i,$$

где S_i – площадь, занимаемая i -й культурой, га;

Z – коэффициент снижения лимита водоподачи на водовыдел, измеряется в долях от единицы (например, при снижении на 10 % коэффициент Z равен 0,9, при снижении на 20 % – 0,8, при снижении на 30 % – 0,7).

Так, при снижении лимита водоподачи на водовыдел на 10 % зависимость (6) примет вид:

$$W_{0,9Li} = W_{Li} - \sum_{i=1}^n W_{Li} 0,1K_{2i} . \quad (7)$$

При снижении на 20 %:

$$W_{0,8Li} = W_{Li} - \sum_{i=1}^n W_{Li} 0,2K_{2i} . \quad (8)$$

При снижении на 30 %:

$$W_{0,7Li} = W_{Li} - \sum_{i=1}^n W_{Li} 0,3K_{2i} . \quad (9)$$

Имея откорректированный объем водоподачи i -й культуры и площадь, занятую культурой в рассматриваемом массиве, определяем соответствующую этому объему водоподачи оросительную норму i -й культуры:

$$M_{zLi} = \frac{W_{zLi}}{S_i} , \quad (10)$$

где M_{zLi} – скорректированная в соответствии с дефицитом водных ресурсов оросительная норма i -й культуры, м³/га.

При корректировке объемов водоподачи для нужд орошения риса на общих основаниях сокращение объема водоподачи компенсируется уменьшением орошаемых площадей. Скорректированная площадь орошения риса S_{zL} , га, определяется по зависимости:

$$S_{zL} = \frac{W_{zL}}{W_L} S_L , \quad (11)$$

где S_L – планируемая орошаемая площадь риса, га.

Результаты и обсуждение. Для оценки работоспособности представленной методики была проведена корректировка объемов водоподачи на нужды орошения сельскохозяйственных культур при дефиците водных ресурсов на примере водовыдела с набором культур, характерных для Ростовской области. На практике сведения о количестве, составе, занимаемых площадях и оросительной норме культур берутся из календарного плана проведения поливов в разрезе водовыделов. Расчет производился для во-

доподачи, урезанной на 10, 20 и 30 %. Рассмотрим три варианта орошаемых массивов:

- первый – без рисовых севооборотов (таблица 1);
- второй – с рисовыми севооборотами, объем водоподачи на которые корректируется на общих основаниях (таблица 2);
- третий – с рисовыми севооборотами, объем водоподачи на которые не сокращается. При корректировке объемов водоподачи на нужды орошения сельскохозяйственных культур массива, содержащего рисовые севообороты, для которых объемы водоподачи не сокращаются, снижение общего лимита водопотребления по водовыделу или пункту вододеления производится за счет прочих культур в соответствии с примером, представленным в таблице 1.

Для расчета необходимо спрогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур на богаре и при орошении и стоимость полученной сельскохозяйственной продукции. В данном примере урожайности культур были приняты из отчета Южгипроводхоза «Средняя проектная урожайность основных орошаемых сельхозкультур по районам Ростовской области на период 1990, 1995, 2000 с прогнозом до 2010 г.».

Корректировку объемов водоподачи удобно проводить в табличной форме. В столбец 1 заносим перечень культур, орошаемых на рассматриваемом водовыделе. Также заносим в таблицу по каждой культуре:

- урожайность на богаре $Y_{бi}$ (столбец 2);
- урожайность при орошении Y_{oi} (столбец 3);
- цену реализации полученной сельскохозяйственной продукции $Ц_i$ (столбец 5);
- оросительную норму P_i (столбец 7);
- площадь S_i , занимаемую культурой (столбец 12).

Таблица 1 – Расчет корректировки объемов водоподачи на нужды орошения сельскохозяйственных культур при уменьшении лимита водоподачи (без риса)

Культура	Y_6 , т/га	Y_0 , т/га	P_{op} , т/га	C , тыс. руб./т	C_{os} , тыс. руб./га	M , тыс. м ³ /га	C_{ow} , руб./м ³	K_1	$1/K_1$	K_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кукуруза на зерно	2,60	6,30	3,70	5,50	20,35	5,60	3,63	0,010	98,79	0,069
Озимая пшеница	1,10	2,70	1,60	4,10	6,56	3,87	1,70	0,005	211,79	0,147
Яровой ячмень	2,10	4,60	2,50	4,10	10,25	3,87	2,65	0,007	135,54	0,094
Сорго	0,70	1,20	0,50	30,00	15,00	3,90	3,85	0,011	93,34	0,065
Томат	16,10	34,10	18,00	52,60	946,80	4,25	222,78	0,621	1,61	0,001
Картофель	12,40	23,00	10,60	9,50	100,70	4,25	23,69	0,066	15,15	0,011
Капуста	24,10	42,40	18,30	11,10	203,13	4,25	47,80	0,133	7,51	0,005
Лук	8,00	15,00	7,00	12,00	84,00	4,25	19,76	0,055	18,16	0,013
Люцерна	1,30	5,20	3,90	2,10	8,19	6,61	1,24	0,003	289,74	0,201
Кукуруза на силос	9,20	34,60	25,40	2,50	63,50	4,66	13,63	0,038	26,35	0,018
Травосмеси	1,30	5,20	3,90	2,10	8,19	6,61	1,24	0,003	289,74	0,201
Сахарная свекла	18,70	39,70	21,00	1,60	33,60	4,25	7,91	0,022	45,41	0,032
Соя	1,10	2,50	1,40	16,00	22,40	3,30	6,79	0,019	52,89	0,037
Лен	0,60	1,10	0,50	15,00	7,50	3,20	2,34	0,007	153,17	0,106
Итого	-	-	-	-	1530,17	-	359,00	1,000	1439,19	1,000

Продолжение таблицы 1

S, га	Лимит							
	L		0,9L		0,8L		0,7L	
	W, тыс. м ³	M, тыс. м ³ /га	W, тыс. м ³	M, тыс. м ³ /га	W, тыс. м ³	M, тыс. м ³ /га	W, тыс. м ³	M, тыс. м ³ /га
12	13	14	15	16	17	18	19	20
150	840,00	5,60	785,88	5,24	731,76	4,88	677,64	4,52
180	696,60	3,87	580,58	3,23	464,56	2,58	348,54	1,94
75	290,25	3,87	216,00	2,88	141,74	1,89	67,49	0,90
60	234,00	3,90	182,87	3,05	131,73	2,20	80,60	1,34
75	318,75	4,25	317,87	4,24	316,98	4,23	316,10	4,21
300	1275,00	4,25	1266,70	4,22	1258,40	4,19	1250,10	4,17
230	977,50	4,25	973,39	4,23	969,27	4,21	965,16	4,20
150	637,50	4,25	627,55	4,18	617,60	4,12	607,65	4,05
100	661,00	6,61	502,28	5,02	343,55	3,44	184,83	1,85
92	428,72	4,66	414,29	4,50	399,86	4,35	385,42	4,19
112	740,32	6,61	581,60	5,19	422,87	3,78	264,15	2,36
48	204,00	4,25	179,12	3,73	154,25	3,21	129,37	2,70
45	148,50	3,30	119,53	2,66	90,55	2,01	61,58	1,37
135	432,00	3,20	348,09	2,58	264,18	1,96	180,27	1,34
1752	7884,14	-	7095,73	-	6307,31	-	5518,90	-

Таблица 2 – Расчет корректировки объемов водоподачи на нужды орошения сельскохозяйственных культур при уменьшении лимита водоподачи (с рисовыми севооборотами, объем водоподачи на которые корректируется на общих основаниях)

Культура	Y_6 , т/га	Y_0 , т/га	P_{op} , т/га	C , тыс. руб./т	C_{os} , тыс. руб./га	M , тыс. м ³ /га	C_{ow} , руб./м ³	K_1	$1/K_1$	K_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Рис	0	4,6	4,60	16	73,60	20	3,68	0,010	98,55	0,063
Кукуруза на зерно	2,60	6,30	3,70	5,50	20,35	5,60	3,63	0,010	99,80	0,064
Озимая пшеница	1,10	2,70	1,60	4,10	6,56	3,87	1,70	0,005	213,96	0,138
Яровой ячмень	2,10	4,60	2,50	4,10	10,25	3,87	2,65	0,007	136,93	0,088
Сорго	0,70	1,20	0,50	30,00	15,00	3,90	3,85	0,011	94,30	0,061
Томат	16,10	34,10	18,00	52,60	946,80	4,25	222,78	0,614	1,63	0,001
Картофель	12,40	23,00	10,60	9,50	100,70	4,25	23,69	0,065	15,31	0,010
Капуста	24,10	42,40	18,30	11,10	203,13	4,25	47,80	0,132	7,59	0,005
Лук	8,00	15,00	7,00	12,00	84,00	4,25	19,76	0,054	18,35	0,012
Люцерна	1,30	5,20	3,90	2,10	8,19	6,61	1,24	0,003	292,71	0,189
Кукуруза на силос	9,20	34,60	25,40	2,50	63,50	4,66	13,63	0,038	26,62	0,017
Травосмеси	1,30	5,20	3,90	2,10	8,19	6,61	1,24	0,003	292,71	0,189
Сахарная свекла	18,70	39,70	21,00	1,60	33,60	4,25	7,91	0,022	45,87	0,030
Соя	1,10	2,50	1,40	16,00	22,40	3,30	6,79	0,019	53,43	0,034
Лен	0,60	1,10	0,50	15,00	7,50	3,20	2,34	0,006	154,74	0,100
Итого	-	-	-	-	1603,77	-	362,68	1,000	1552,49	1,000

Продолжение таблицы 2

S , га	Лимит							
	L		0,9L		0,8L		0,7L	
	W , тыс. м ³	S , га (рис)	W , тыс. м ³	S , га (рис)	W , тыс. м ³	S , га (рис)	W , тыс. м ³	S , га (рис)
M , тыс. м ³ /га (прочие)		M , тыс. м ³ /га (прочие)		M , тыс. м ³ /га (прочие)		M , тыс. м ³ /га (прочие)		
12	13	14	15	16	17	18	19	20
80,00	1600,00	80,00	1539,79	76,99	1479,59	73,98	1419,38	70,97
150,00	840,00	5,60	779,03	5,19	718,06	4,79	657,09	4,38
180,00	696,60	3,87	565,89	3,14	435,19	2,42	304,48	1,69
75,00	290,25	3,87	206,60	2,75	122,95	1,64	39,30	0,52
60,00	234,00	3,90	176,39	2,94	118,79	1,98	61,18	1,02
75,00	318,75	4,25	317,76	4,24	316,76	4,22	315,77	4,21
300,00	1275,00	4,25	1265,65	4,22	1256,30	4,19	1246,95	4,16
230,00	977,50	4,25	972,86	4,23	968,23	4,21	963,59	4,19
150,00	637,50	4,25	626,29	4,18	615,08	4,10	603,87	4,03
100,00	661,00	6,61	482,18	4,82	303,37	3,03	124,55	1,25
92,00	428,72	4,66	412,46	4,48	396,20	4,31	379,94	4,13
112,00	740,32	6,61	561,50	5,01	382,69	3,42	203,87	1,82
48,00	204,00	4,25	175,98	3,67	147,95	3,08	119,93	2,50
45,00	148,50	3,30	115,86	2,57	83,22	1,85	50,58	1,12
135,00	432,00	3,20	337,47	2,50	242,94	1,80	148,41	1,10
1832,00	9484,14	-	8535,73	-	7587,31	-	6638,90	-

Далее по зависимости (1) определяется прибавка урожайности от орошения сельскохозяйственных культур данного водовыдела Π_{opi} как разница между урожайностью при орошении и на богаре и заносится в столбец 4.

Умножив прибавку урожайности от орошения на цену реализации полученной сельскохозяйственной продукции, по зависимости (2) определим стоимость прибавки урожайности с одного гектара для каждой культуры C_{osi} и занесем в столбец 6.

Зная оросительную норму, по зависимости (3) определяем стоимость прибавки урожайности от подачи 1 м^3 оросительной воды C_{owi} и заносим в столбец 8.

Далее определяем коэффициент K_{1i} , отражающий долю стоимости прибавки урожайности i -й культуры от общей стоимости прибавки от орошения в рассматриваемом массиве, по зависимости (4) и заносим в столбец 9.

Для удобства расчета в столбец 10 занесем значения $1/K_{1i}$.

Далее по зависимости (5) определяем коэффициент K_{2i} , обратно пропорциональный K_{1i} , отражающий долю i -й культуры от общего объема снижения лимита оросительной воды в рассматриваемом массиве, и результаты заносим в столбец 11.

Объем водоподачи на нужды орошения i -й культуры в рассматриваемом массиве для сниженного лимита водоподачи на рассматриваемый водовыдел W_{zLi} определится по зависимостям (7)–(9). Результаты заносим соответственно в столбцы 15, 17, 19.

Имея откорректированный объем водоподачи i -й культуры и площадь, занятую культурой в рассматриваемом массиве, определяем соответствующую этому объему водоподачи оросительную норму P_{zLi} i -й культуры по зависимости (10) и заносим в столбцы 16, 18 и 20 таблицы 1.

Для риса сокращение объемов водоподачи производим не за счет уменьшения оросительной нормы, а за счет уменьшения орошаемых площадей. Поэтому для риса, имея откорректированный объем водоподачи, определяем скорректированную в соответствии с дефицитом водных ресурсов орошаемую площадь по зависимости (11) и заносим ее в столбцы 16, 18 и 20 таблицы 2.

Обобщенные результаты корректировки объемов водоподачи на нужды орошения культур рассматриваемого массива для проектного и сниженного на 10, 20 и 30 % лимита водоподачи на рассматриваемый водовыдел приведены в таблице 3 и наглядно представлены на рисунке 1.

Анализ данных рисунка 1 показывает, что меньше всего урезается объем водоподачи для орошения томатов, как самой отзывчивой на орошение и доходной при орошении культуры рассматриваемого массива. Так, при уменьшении общего объема водоподачи на водовыдел на 30 % объем водоподачи для орошения томатов по расчету снижается на 0,8 %.

Незначительно сокращаются и объемы водоподачи для орошения капусты (1,3 %), картофеля (2,0 %), лука (4,7 %), кукурузы на зерно (9,7 %) и кукурузы на силос (10,0 %).

Больше всего в рассматриваемом массиве урезается объем водоподачи для орошения ярового ячменя (на 86,7 %), как наименее отзывчивой на орошение культуры.

Необходимо отметить, что данные результаты корректировки объемов водоподачи актуальны только для данного набора культур, урожайности и стоимости продукции. При изменении хотя бы одного из перечисленных факторов необходимо провести новый расчет по предложенной методике, итоги которого могут значительно отличаться.

Таблица 3 – Объем водоподачи на нужды орошения культур рассматриваемого массива для проектного и сниженного на 10, 20 и 30 % лимита водоподачи на рассматриваемый водовыдел

Культура	Лимит							
	<i>L</i>		<i>0,9L</i>		<i>0,8L</i>		<i>0,7L</i>	
	<i>W</i> , тыс. м ³	% от <i>W</i>	<i>W</i> , тыс. м ³	% от <i>W</i>	<i>W</i> , тыс. м ³	% от <i>W</i>	<i>W</i> , тыс. м ³	% от <i>W</i>
Кукуруза на зерно	840,00	100	785,88	93,6	731,76	87,1	677,64	80,7
Озимая пшеница	696,60	100	580,58	83,3	464,56	66,7	348,54	50,0
Яровой ячмень	290,25	100	216,00	74,4	141,74	48,8	67,49	23,3
Сорго	234,00	100	182,87	78,1	131,73	56,3	80,60	34,4
Томат	318,75	100	317,87	99,7	316,98	99,4	316,10	99,2
Картофель	1275,00	100	1266,70	99,3	1258,40	98,7	1250,10	98,0
Капуста	977,50	100	973,39	99,6	969,27	99,2	965,16	98,7
Лук	637,50	100	627,55	98,4	617,60	96,9	607,65	95,3
Люцерна	661,00	100	502,28	76,0	343,55	52,0	184,83	28,0
Кукуруза на силос	428,72	100	414,29	96,6	399,86	93,3	385,42	89,9
Травосмеси	740,32	100	581,60	78,6	422,87	57,1	264,15	35,7
Сахарная свекла	204,00	100	179,12	87,8	154,25	75,6	129,37	63,4
Соя	148,50	100	119,53	80,5	90,55	61,0	61,58	41,5
Лен	432,00	100	348,09	80,6	264,18	61,2	180,27	41,7

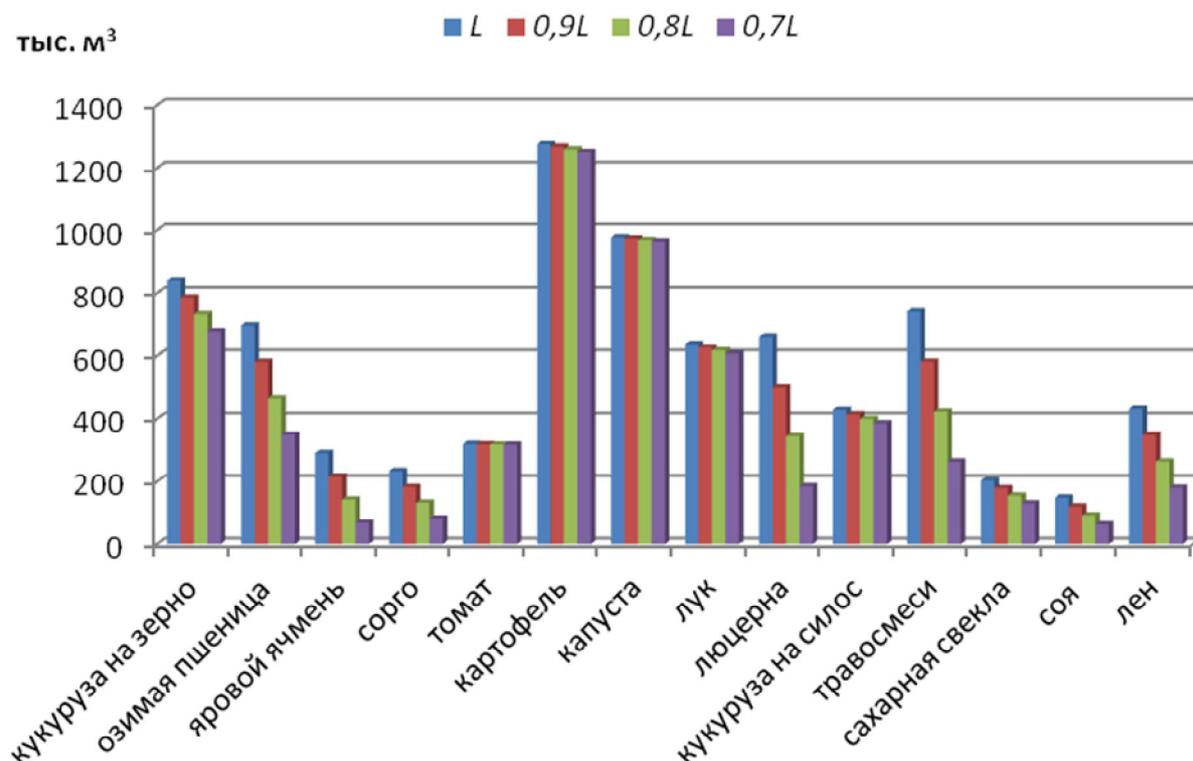


Рисунок 1 – Объем водоподачи на нужды орошения культур рассматриваемого массива для проектного и сниженного на 10, 20 и 30 % лимита водоподачи на рассматриваемый водовыдел

Полученные результаты теоретической проверки свидетельствуют о работоспособности предложенной методики корректировки объемов водоподачи для нужд орошения сельскохозяйственных культур при уменьшении лимита водоподачи. Распределение водных ресурсов между конкурирующими сельскохозяйственными культурами при уменьшении общего лимита водоподачи на водовыдел производится пропорционально их доле в стоимости прибавки урожайности от орошения на рассматриваемом водовыделе, что позволяет свести экономический ущерб от недополива сельскохозяйственных культур к минимуму.

Выводы

1 Совершенствование существующих и разработка новых методов планирования и организации водопользования на системах имеют основополагающее значение для дальнейшего эффективного развития мелиоративной науки и практики. В этой проблеме в настоящий момент главную

роль играют вопросы разработки технологий и систем управления при наличии дефицитов всех видов ресурсов.

2 В предложенной методике корректировки объемов водоподачи для нужд орошения сельскохозяйственных культур при дефиците водных ресурсов применен принцип, заключающийся в распределении водных ресурсов между конкурирующими сельскохозяйственными культурами при уменьшении общего лимита водоподачи на водовыдел пропорционально их доле в стоимости прибавки урожайности от орошения на рассматриваемом водовыделе. Т. е. для культуры, которая дает максимальный экономический эффект при орошении на рассматриваемом водовыделе, оросительная норма сокращается минимально. Для остальных культур оросительная норма сокращается в большем объеме пропорционально их доле в стоимости прибавки урожайности от орошения на рассматриваемом водовыделе.

3 Полученные результаты теоретической проверки свидетельствуют о работоспособности предложенной методики корректировки объемов водоподачи для нужд орошения сельскохозяйственных культур при уменьшении лимита водоподачи. Меньше всего урезается объем водоподачи для орошения томатов, как самой отзывчивой на орошение и доходной при орошении культуры рассматриваемого массива. При уменьшении общего объема водоподачи на водовыдел на 30 % объем водоподачи для орошения томатов по расчету снижается на 0,8 %. Незначительно сокращаются и объемы водоподачи для орошения капусты (1,3 %), картофеля (2,0 %), лука (4,7 %), кукурузы на зерно (9,7 %) и кукурузы на силос (10,0 %). Больше всего в рассматриваемом массиве урезается объем водоподачи для орошения ярового ячменя (86,7 %), как наименее отзывчивой на орошение культуры.

Список литературы

- 1 Янишевский, Н. А. Методы улучшения эксплуатации оросительных систем и необходимые исследования / Н. А. Янишевский. – Ташкент, 1928. – 24 с.
- 2 Янишевский, Н. А. Организация планового водопользования с учетом совре-

менных требований сельскохозяйственного производства / Н. А. Янишевский. – Ташкент: ОИИВХ, 1957. – 36 с.

3 Шаров, И. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем: учеб. пособие / И. А. Шаров. – М.: Колос, 1968. – 384 с.

4 Временные рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах Ростовской области / В. И. Ольгаренко [и др.]. – Коломна: Инлайт, 2009. – 104 с.

5 К созданию экономико-экономической модели оросительной системы / Б. Г. Коваленко [и др.] // Вопросы водного хозяйства. – Фрунзе: Кыргызстан, 1972. – С. 3–14.

6 Воропаев, В. Г. Резервы ирригации, связанные с оптимизацией водных ресурсов / В. Г. Воропаев // Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. – М.: Наука, 1973. – С. 151–178.

7 Дмитренко, В. П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур / В. П. Дмитренко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 48 с.

8 Халбаева, Р. А. Совершенствование планирования водопользования и водораспределения / Р. А. Халбаева. – Ташкент: Среднеаз. науч.-исслед. ин-т экономики сел. хоз-ва, 1975. – 136 с.

9 Математическое моделирование в управлении водными ресурсами / В. Г. Пряжинская [и др.]. – М.: Наука, 1988. – 247 с.

10 Гельман, Т. Я. Внедрение технологии планирования водопользования и водораспределения с помощью ЭВМ на гидромелиоративных системах Ростовской области / Т. Я. Гельман // Гидротехнические сооружения и вопросы эксплуатации оросительных систем. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1986. – С. 63–69.

11 Гельман, Т. Я. К вопросу установления рациональных режимов орошения сельскохозяйственных культур / Т. Я. Гельман, К. И. Сорочан // Планирование и анализ водохозяйственных систем. – Новочеркасск: Югмелиорация, 1990. – С. 59–65.

12 Кисаров, О. П. Имитационная модель водохозяйственного комплекса / О. П. Кисаров, Т. Я. Гельман // Методы системного анализа в управлении водохозяйственными системами. – Новочеркасск: НИМИ, 1979. – С. 9–14.

13 Информационно-советующая система управления орошением / В. П. Остапчик [и др.]; под ред. В. П. Остапчика. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.

14 Модебаудзе, Н. Л. К вопросу оперативного водораспределения в орошении при дефиците водных ресурсов в регионе / Н. Л. Модебаудзе, Д. Д. Могавариане // Вопросы охраны мелиорируемых земель в горных условиях: сб. науч. тр. / ГрузНИИГиМ. – Тбилиси, 1984. – С. 96–99.

15 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

16 Васильев, С. М. Повышение устойчивости и эффективности использования агроландшафтов аридной зоны в условиях постоянного и циклического орошения / С. М. Васильев. – Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. – 364 с.

17 Управление водораспределением на открытых оросительных системах на основе гидрологической информации и агрометеопараметров / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. В. Акопян, В. В. Слабунов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2014. – № 2(34). – С. 152–158.

References

- 1 Janiszewski N.A. 1928. *Metody uluchsheniya ekspluatatsii orositelnykh sistem i neobhodimye issledovaniya* [Methods of Improving the Operation of Irrigation Systems and the Necessary Research]. Tashkent, 24 p. (In Russian).
- 2 Janiszewski N.A. 1957. *Organizatsiya planovogo vodopolsovania c uchetom sovremennykh trebovaniy selskohozyaystvennogo proizvodstva* [Organization of Planned Water Use Taking into Account the Modern Standards of Agricultural Production]. Tashkent: OII VH Publ., 36 p. (In Russian).
- 3 Sharov I.A. 1968 *Ekspluatatsiya gidromeliorativnykh sistem: uchebnoe posobie* [Operation of irrigation systems: Textbook]. Moscow, Kolos Publ., 384 p. (In Russian).
- 4 Olgarenko V.I. [et al.] 2009. *Vremennyye rekomendatsii po sostavleniyu i rekonnendatsii planov vodopolzovaniya na orositelnykh sistemakh Rostovskoy oblasti* [Temporary recommendations on the preparation and implementation of water management plans for irrigation systems of Rostov region]. Kolomna, In-lite Publ, 104 p. (In Russian).
- 5 Kovalenko B.G. [et al.] 1972. *K sozdaniyu ekonomiko-ekonomicheskoy modeli orositelnoy sistemy* [To creation of economic-economical model of the irrigation system]. *Voprosy vodnogo hozyaistva* [Problems of Water Resources]. Frunze, Kyrgyzstan, pp. 3-14. (In Russian).
- 6 Voropaev V.G. 1973 *Rezervy irrigatsii, svyazannye s optimizatsiey vodnykh resursov* [Irrigation reserves associated with the optimization of water resources]. *Problemy regulirovaniya i ispolzovaniya vodnykh resursov* [Problems of Water Resources Management and Use]. Moscow, Nauka Publ., pp. 151-178. (In Russian).
- 7 Dimitrenko V.P., 1976. *Otsenka vliyaniya temperatury vozdukha i osadkov na formirovanie vodopolzovaniya i vodoraspredeleniya* [Assessment of air temperature and precipitation influence on the formation of the harvest of basic grains]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 48 p. (In Russian).
- 8 Halbaeva, R.A. 1975, *Sovershenstvovanie planirovaniya vodopolzovaniya i vodoraspredeleniya* [Improvement of water use planning and water allocation]. Tashkent, *Sredneaziatskiy nauchno-issledov. institute of ekonomika of sels. hozyaystva*. Middle Asian Reseach institute of Economy of Agriculture, 136 p. (In Russian).
- 9 Pryazhinskaya V.G. [et al.]. 1988. *Matematicheskoe modelirovanie v upravlenii vodnymi resursami* [Mathematical Modeling in Water Management]. Moscow, Nauka Publ., 247p. (In Russian)
- 10 Gelman, T.Ya., 1986. *Vnedrenie tekhnologii planirovaniya vodopolzovaniya n vodoraspredleniya s pomoshchiyu EVM na gidromeliorativnykh sistemakh Rostovskoy oblasti* [Introduction of water technology and water allocation planning with the help of computer on hydro systems of Rostov Region]. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya i voprosy ekspluatatsii gidrotekhnicheskikh sistem* [Hydraulic Structures and Operation of Irrigation Systems]. Novochoerkassk, YuzhNIIGiM, pp. 63-69. (In Russian).
- 11 Gelman, T.Ya., Sorochan K.I. 1990. *K voprosu ustanovleniya ratsionalnykh rezhimov orosheniya selskohozyaystvennykh kultur* [On the issue of establishing rational irrigation scheduling of crops]. *Planirovanie i analiz selskohozyaystvennykh sistem*. [Planning and analysis of water systems]. Novochoerkassk: Yugmelioratsiya Publ., p. 59-65. (In Russian).
- 12 Kisarov O.P., Gelman T.Ya. 1979. *Imitatsionnaya model vodohozyaystvennogo kompleksa* [Simulation model of water management complex]. *Metody sistemnogo analiza v upravlenii vodohozyaystvennymi sistemami* [System analysis methods in the management of water systems]. Novochoerkassk, Novochoerkassk reclamation Engineering Institute, pp. 9-14. (In Russian).
- 13 Ostapchik V.P. [et al.] 1989. *Informatsionno-sovetuyushchaya sistema upravleniya orosheniya* [Information and Advising Irrigation Control System]. Kiev, Harvest Publ., 248 p. (In Russian).

14 Modebaudze N.L., Mogavariani D.D. 1984. *K voprosu operativnogo vodoraspredeleniya v oroshenii pri defitsite vodnykh resursov v regione* [On the issue of operational water distribution of irrigation at water scarcity in the region]. *Voprosy okhrany melioruemykh zemel v gornykh usloviyah: Sbornik nauchnykh trudov GruzniGiM* [Issues of protection of reclaimed land in mountains: Trans. of Sc. Works of Georgian Research Institute of Hydr. and Land Reclam.]. Tbilisi, pp. 96-99. (In Russian).

15 Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A. 2013. *Orositelnye sistemy Rossii* [Russian Irrigation Systems: from generation to generation: the monograph]. In 2 vol. Part 1, Novochoerkassk, Helicon Publ., 283 p. (In Russian).

16 Vasilyev, S.M. 2006. *Povyshenie ustoichivosti i effektivnosti ispolzovaniya agrolandshaftov aridnoy zony v usloviyakh postoyannogo i tsiklicheskogo orosheniya*. [Increased sustainability and efficiency of the agricultural landscapes of the arid zone in permanent and cyclic irrigation]. Rostov n/D, Publ. of journal “Bull. of North-Caucas. Region” 364 p. (In Russian).

17 Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Akopyan A.V., Slabunov V.V. 2014. *Upravlenie vodoraspredelemien na otkrytykh orositelnykh sistemakh na osnove gidrologicheskoy informatsii i agrometeoroparametrov* [Management of water distribution of public irrigation systems on the basis of hydrological information and agrometeoroparametrov]. *Izvestiy Nizhnevolzhskiy agrouniversitetskogo kompleksa* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agrouniversity complex]. no. 2(34), pp. 152-158. (In Russian).

Штанько Андрей Сергеевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shtanko Andrey Sergeevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovskiy ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru