

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67.03:631.95

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-87-100

Динамика ирригационного качества оросительной и дренажно-сбросных вод Нижне-Донской оросительной системы в 1972 и 2019–2021 годах

Татьяна Ильинична Дрововозова¹, Наталья Николаевна Красовская²

^{1, 2}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²panya-86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4426-7762>

Аннотация. Цель: оценить динамику ирригационного качества оросительной воды из магистрального канала и дренажно-сбросных вод (ДСВ) отводящих коллекторов на примере Нижне-Донской оросительной системы (НДОС) для обоснования устойчивости их экологической безопасности. **Материалы и методы.** Объектами исследования являлись ДСВ из коллекторов ЦС, К-3, ЛС-2 и МКЛ-7, вода из Цимлянского водохранилища, подаваемая в Нижне-Донской магистральный канал (НДМК). Предметом исследования являлись гидрохимические показатели ДСВ в 1972 и 2019–2021 гг., сравнительная ирригационная характеристика вод. **Результаты.** Сравнение ирригационных характеристик воды из НДМК в 1972 и 2019 гг. показало повышение сульфатной солености примерно на 35 %. Ирригационный коэффициент по Х. Стеблеру (K_a) с 1972 г. к настоящему времени уменьшился с 43,24 до 28,15, при этом качество оросительной воды из НДМК остается по-прежнему хорошим ($K_a > 18$). В 1972 г. среднее значение ирригационного коэффициента (K_a) ДСВ в поливной период в коллекторе К-3 составляло 2,98, в ЛС-2 – 4,14, ЦС – 5,54, МКЛ-7 – 22,96. В 2019–2021 гг. – 10,44; 14,85; 12,62; 11,61 соответственно. **Выводы.** Ирригационное качество донской оросительной воды из НДМК в настоящее время ухудшилось по сравнению с 1972 г. в 1,54 раза. За пятидесятилетний период эксплуатации НДОС ирригационное качество ДСВ в коллекторах К-3, ЛС-2 и ЦС повысилось в 2–3,5 раза. Ирригационное качество воды в коллекторе МКЛ-7 снизилось в 2 раза. Доказано, что использование для орошения пресной поливной воды способствует устойчивому повышению экологической безопасности ДСВ. Необходимость повторного использования ДСВ на полив должна решаться на региональном уровне исходя из экономической целесообразности затрат на очистку и транспортирование воды в оросительную систему.

Ключевые слова: дренажно-сбросные воды, гидрохимические показатели, ирригационная характеристика вод, экологическая безопасность, коллекторно-дренажная сеть

Для цитирования: Дрововозова Т. И., Красовская Н. Н. Динамика ирригационного качества оросительной и дренажно-сбросных вод Нижне-Донской оросительной системы в 1972 и 2019–2021 годах // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 87–100. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-87-100>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Dynamics of irrigation quality of irrigation and drainage-wastewater of the Nizhne-Don irrigation system in 1972 and 2019–2021



Tatiana I. Drovovozova¹, Natalia N. Krasovskaya²

^{1, 2}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²panya-86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4426-7762>

Abstract. Purpose: to assess the dynamics of the irrigation quality of irrigation water from the main canal and drainage wastewater (DWW) from the outlet collectors using the example of the Nizhne-Don irrigation system (NDIS) to justify the sustainability of their environmental safety. **Materials and methods.** The objects of the study were DWW from the TsS, K-3, LS-2 and MKL-7 collectors, water from the Tsimlyansk reservoir supplied to the Nizhne-Don main canal (NDMC). The subject of the study was the hydrochemical indicators of the DWW in 1972 and 2019–2021, and the comparative irrigation characteristics of the waters. **Results.** Comparison of water irrigation characteristics from NDMC in 1972 and 2019 showed an increase in sulfate salinity by about 35 %. The irrigation coefficient according to H. Stebler (K_a) has decreased from 43.24 to 28.15 since 1972, while the irrigation water quality from NDMC remains good ($K_a > 18$). In 1972, the average value of the irrigation coefficient (K_a) of DWW during the irrigation period in the K-3 collector was 2.98, in LS-2 – 4.14, in TsS – 5.54, in MKL-7 – 22.96. In 2019–2021 – 10.44; 14.85; 12.62; 11.61 respectively. **Conclusions.** The irrigation quality of the Don irrigation water from the NDMC has now deteriorated compared to 1972 by 1.54 times. Over the fifty-year period of operation of the NDIS, the irrigation quality of the DWW in the collectors K-3, LS-2 and TsS increased by 2–3.5 times. Irrigation water quality in the MKL-7 collector decreased by 2 times. It has been proven that the use of fresh irrigation water for irrigation contributes to a sustainable increase in the environmental safety of DWW. The need to reuse DWW for irrigation should be decided at the regional level based on the economic feasibility of the cost of cleaning and transporting water to the irrigation system.

Keywords: drainage wastewater, hydrochemical indicators, irrigation characteristics of waters, environmental safety, collector-drainage network

For citation: Drovovozova T. I., Krasovskaya N. N. Dynamics of irrigation quality of irrigation and drainage-wastewater of the Nizhne-Don irrigation system in 1972 and 2019–2021. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(1):87–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-87-100>.

Введение. В условиях возрастающего дефицита пресных водных ресурсов повышается интерес к ирригационному качеству дренажно-сбросных вод (ДСВ). Пригодность воды для орошения зависит от многих факторов: минерализации и химического состава оросительной воды, водопроницаемости почв и подстилающих пород, глубины залегания и минерализации грунтовых вод, климата, солеустойчивости выращиваемых культур. Способ утилизации дренажных вод во многом зависит от объемов пресных водных ресурсов. Для регионов, испытывающих устойчивый дефицит пресных водных ресурсов, характерно использование дренажного стока на орошение. Однако такой опыт неоднозначен. Многолетний опыт использования высо-

коминерализованных дренажных вод на орошение в Узбекистане, странах Восточной Азии показал тенденцию снижения урожайности культур [1–6]. В США ввиду отсутствия дефицита пресных водных ресурсов основным способом утилизации дренажных вод является их отведение в водные объекты [7, 8]. В Российской Федерации вопросам очистки и повторного использования дренажных вод посвящены многочисленные работы С. Я. Бездний [9], С. М. Васильева [10, 11], В. Н. Щедрина [12], С. Х. Исаева [13], В. И. Данилова-Данильяна [14], С. А. Манжиной [15], Е. С. Кулаковой [16] и многих других российских и зарубежных ученых [17–19].

В последние годы наблюдается снижение водности в бассейне Нижнего Дона, поэтому исследования качества дренажных вод и возможности их повторного использования на орошение являются актуальными в Центральном орошаемом районе Ростовской области.

В связи с вышеизложенным цель работы – оценить динамику ирригационного качества оросительной воды из магистрального канала и дренажно-сбросных вод отводящих коллекторов на примере Нижне-Донской оросительной системы (НДОС) для обоснования устойчивости их экологической безопасности.

В настоящее время существует ряд расчетных методов определения пригодности воды для орошения [9, 11]. Существующие способы ирригационной характеристики вод основываются на критических нормах допустимого содержания в воде растворенных солей, вызывающих засоление почвы и оказывающих отрицательное влияние на растения.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись Центральный (ЦС), Титовский К-3, Задоно-Кагальницкий ЛС-2, Шаминский МКЛ-7 коллекторы, вода из Цимлянского водохранилища, подаваемая в Нижне-Донской магистральный канал (НДМК).

Предметом исследования являлись гидрохимические показатели ДСВ в 1972 и 2019–2021 гг., сравнительная ирригационная характеристика вод.

Для количественной оценки качества воды для орошения использо-

ван ирригационный (щелочной) коэффициент (K_a) Х. Стеблера, который вычисляется по формуле:

$$K_a = \frac{288}{r\text{Na}^+ + 4r\text{Cl}^-},$$

при выполнении условия:

$$r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Na}^+ > r\text{Cl}^-. \quad (1)$$

Наиболее вредными в поливной воде являются соли натрия: Na_2CO_3 , NaCl , Na_2SO_4 , но наименее вредным из перечисленного ряда является сульфат натрия [8, 9]. Данный коэффициент позволяет учесть ионный состав воды, обусловленный присутствием ионов натрия, хлорид- и сульфат-анионов. Критерии качества оросительной воды по ирригационному коэффициенту Х. Стеблера представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии качества оросительной воды в зависимости от значения ирригационного коэффициента

Table 1 – Irrigation water quality criteria depending on the irrigation coefficient value

Значение ирригационного коэффициента K_a	Критерий качества оросительной воды (по Х. Стеблеру)
$K_a > 18$	хорошее
$18 \geq K_a \geq 6$	удовлетворительное
$5,9 \geq K_a \geq 1,2$	неудовлетворительное
$K_a < 1,2$	плохое

Для качественной ирригационной оценки использованы данные о гидрохимических показателях ДСВ коллекторов НДОС 1972 г., взятые из отчета¹, и данные 2019–2021 гг., полученные при проведении научно-исследовательских работ по тематическому плану-заданию Минсельхоза России².

¹Отчет по производству гидромелиоративных работ и наблюдений на Нижне-Донской оросительной системе в 1972 г. в целях изучения мелиоративного состояния орошаемых земель [рукопись] / Рост. зон. гидрогеол.-мелиоратив. экспедиция; Рост. полевая гидрогеол.-мелиоратив. партия, Семикарак. участок. Семикаракорск, 1972. 182 с.

²Разработка технологии и технических решений по очистке коллекторно-дренажного и поверхностного стока с орошаемых площадей для обеспечения экологически безопасной эксплуатации мелиоративных систем: отчет о НИР / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Картунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ; рук.: Дровозова Т. И. Новочеркасск, 2019. 179 с.

Кроме того, проведена сравнительная ирригационная оценка воды из Цимлянского водохранилища, подаваемой в НДМК, за аналогичный период.

В работе НИМИ Донского ГАУ¹ была проведена оценка качества ДСВ по ирригационному коэффициенту и сульфатной солености. Для того чтобы обосновать устойчивость экологической безопасности и оценить динамику качества ДСВ в исследуемых коллекторах, также был рассчитан ирригационный коэффициент и сульфатная соленость по данным, полученным в результате исследований 2019–2021 гг.

Полученные данные о гидрохимических показателях ДСВ, представленные в таблицах 2, 3, показали, что практически во всех случаях выполняется условие (1).

Таблица 2 – Гидрохимическая характеристика дренажно-сбросных вод коллекторов Нижне-Донской оросительной системы (данные 1972 г.)

Table 2 – Hydrochemical characteristics of drainage wastewater from the Nizhne-Don irrigation system collectors (data of 1972)

Коллектор	Месяц	Минерализация, мг/дм ³	Химический состав, мэкв/дм ³			Сульфатная соленость $r\text{SO}_4^{2-} / r\text{Cl}^-$	K_a
			$r\text{Na}^+$	$r\text{Cl}^-$	$r\text{SO}_4^{2-}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
ЦС	IV	1324	8,11	5,28	6,86	1,306	10,25
	V	1164	11,8	5,8	10,602	1,83	8,95
	VI	899	9,02	4,5	7,522	1,67	1,65
	VII	1842	16,0	12,99	16,397	1,26	4,2
	VIII	1582	13,61	9,76	12,31	1,26	5,4
	IX	1202	11,20	6,8	8,198	1,205	7,5
	X	1936	10,0	5,21	8,33	1,6	3,3
К-3	IV	3344	37,90	30,00	20,40	0,68	1,82
	V	1366	19,00	16,60	3,40	0,205	3,36
	VI	1340	16,40	10,40	7,60	0,73	5,07
	VII	2870	28,01	20,40	17,40	0,85	2,6
	VIII	3390	39,30	33,40	21,60	0,65	1,6
	IX	2524	26,20	23,60	14,60	0,62	2,3
	X	2264	25,20	20,80	11,60	0,56	2,6
ЛС-2	IV	2256	22,04	12,0	17,10	1,425	4,1
	V	1644	15,20	9,80	10,20	1,041	5,3
	VI	1605	5,18	8,00	10,82	1,77	6,21
	VII	2650	27,19	18,80	16,99	0,904	2,8
	VIII	2612	33,00	24,80	16,60	0,67	2,1

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4	5	6	7	8
ЛС-2	IX	1810	19,19	11,60	14,40	1,24	4,3
	X	1806	17,40	18,13	22,50	1,24	5,4
МКЛ-7	IV	1284	3,78	5,5	6,86	1,25	10,5
	V	1165	4,43	3,55	10,37	2,92	15,5
	VI	928	4,00	1,60	10,01	6,256	27,2
	VII	1546	7,11	1,80	18,22	10,12	20,1
	VIII	1174	5,32	1,66	12,53	7,55	24,1
	IX	706	4,00	1,60	6,90	4,31	27,6
	X	1346	6,31	1,70	15,82	9,30	21,9

Таблица 3 – Гидрохимическая характеристика дренажно-сбросных вод коллекторов Нижне-Донской оросительной системы (данные 2019–2021 гг.)

Table 3 – Hydrochemical characteristics of drainage wastewater from the collectors of the Nizhne-Don irrigation system (data for 2019–2021)

Коллектор	Месяц	Минерализация, мг/дм ³	Химический состав, мэкв/дм ³			Сульфатная соленость rSO_4^{2-} / rCl^-	K_a
			rNa^+	rCl^-	rSO_4^{2-}		
1	2	3	4	5	6	7	8
ЦС	IV	2409	11,27	9,94	8,95	0,9	5,58
	V	1129	3,98	4,70	3,32	0,706	12,63
	VI	1410	6,212	6,19	4,94	0,79	9,29
	VII	1355	5,28	6,56	4,33	0,66	9,14
	VIII	845	2,69	4,51	2,39	0,53	13,89
	IX	733	3,12	3,18	1,84	0,58	18,17
	X	2147	4,71	12,39	8,48	0,68	5,31
К-3	IV	4152	42,04	34,73	22,1	0,64	1,59
	V	1414	9,81	9,38	7,18	0,76	6,08
	VI	1112	7,91	6,68	6,08	0,91	8,316
	VII	991	4,93	6,06	5,35	0,88	9,87
	VIII	821	2,87	4,99	4,06	0,81	12,615
	IX	770	4,83	3,46	4,06	1,17	15,36
	X	2982	20,78	24,87	19,18	0,77	2,395
ЛС-2	IV	2252	20,37	10,34	15,31	1,5	4,66
	V	1182	8,23	4,37	7,19	1,64	11,2
	VI	1006	6,37	3,94	6,35	1,6	13,014
	VII	678	2,27	2,93	3,69	1,3	16,91
	VIII	672	4,05	3,13	3,13	1,0	17,38
	IX	960	6,22	3,01	5,45	1,81	15,77
	X	1775	6,05	6,56	14,94	2,28	8,92
МКЛ-7	IV	2212	15,11	7,52	18,43	2,45	6,43
	V	1397	14,21	4,51	10,48	2,32	8,93

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4	5	6	7	8
МКЛ-7	VI	1531	11,33	5,07	12,73	2,51	9,11
	VII	1371	9,75	4,7	9,4	2,0	10,087
	VIII	1120	1,82	4,51	8,48	1,88	14,50
	IX	1194	4,83	3,46	4,06	1,17	15,426
	X	1831	8,72	7,89	15,67	1,98	7,15

Источником оросительной воды, используемой хозяйствами, расположенными на территории управления НДОС, является Цимлянское водохранилище. Ирригационные характеристики оросительной воды из НДМК в месте поступления в него донской воды представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Ирригационные характеристики оросительной воды из Нижне-Донского магистрального канала (Цимлянского водохранилища)

Table 4 – Irrigation characteristics of the irrigation system water from the Nizhne-Don main canal (Tsimlyansk reservoir)

Рассматриваемый год	Сульфатная соленость rSO_4^{2-} / rCl^-	K_a
1972	1,09	43,24
2019	1,47	28,15

Результаты исследований рассмотрены как основа комплексной оценки экологической безопасности коллекторно-дренажных вод.

Результаты и обсуждение. Сравнивая ирригационные характеристики воды из НДМК в 1972 и 2019–2021 гг., необходимо отметить повышение сульфатной солености примерно на 35 %, т. е. в оросительной воде за последние 50 лет произошло увеличение содержания сульфатов. Ирригационный коэффициент по Х. Стеблеру с 1972 г. к настоящему времени уменьшился в 1,54 раза, но при этом качество оросительной воды из НДМК остается по-прежнему хорошим.

Сравнительный анализ ирригационных характеристик ДСВ из коллекторов НДОС показал следующее. В 1972 г. среднее значение ирригационного коэффициента (K_a) ДСВ в поливной период в коллекторе К-3 составляет 2,98, в ЛС-2 – 4,14, ЦС – 5,54, МКЛ-7 – 22,96. В 2019–2021 гг.

среднее значение ирригационного коэффициента (K_a) в коллекторе К-3 составляет 10,44, в ЛС-2 – 14,85, ЦС – 12,62, МКЛ-7 – 11,61. При сравнении химизма коллекторно-дренажных вод в 1972 и 2019–2021 гг. выявлено уменьшение сульфатной и соответственно рост хлоридной солености в коллекторе ЦС (центральный сброс). В коллекторах К-3 и ЛС-2 произошло улучшение ирригационных характеристик воды в поливной период с неудовлетворительного до удовлетворительного качества (рисунки 1, 2).

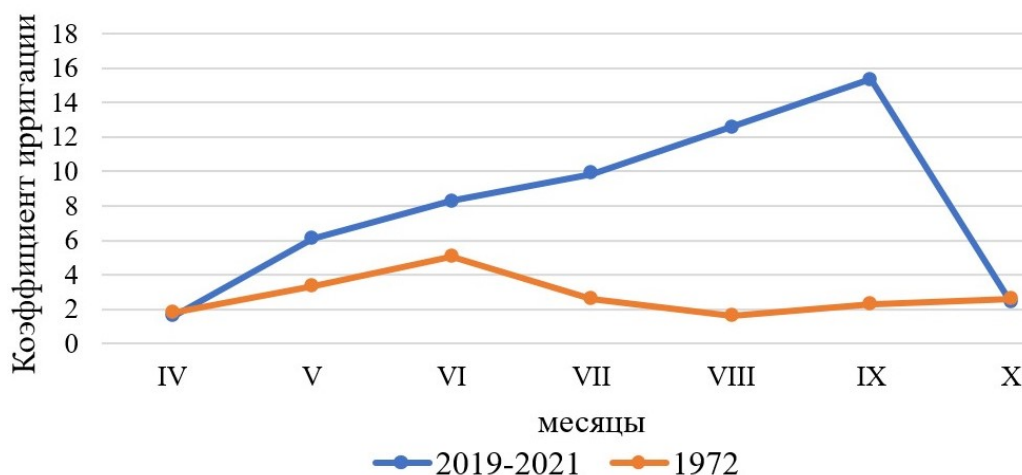


Рисунок 1 – Динамика ирригационного коэффициента в течение поливного периода в коллекторе К-3

Figure 1 – Irrigation coefficient dynamics during the irrigation period in the collector K-3

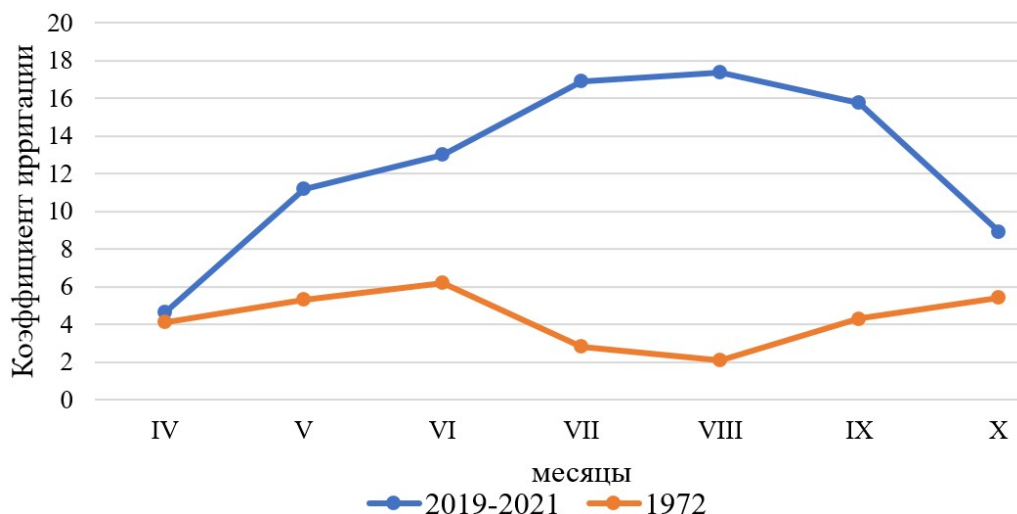


Рисунок 2 – Динамика ирригационного коэффициента в течение поливного периода в коллекторе ЛС-2

Figure 2 – Irrigation coefficient dynamics during the irrigation period in the collector LS-2

Полученные данные позволяют рекомендовать к повторному использованию ДСВ из коллекторов К-3 и ЛС-2 после их разбавления более пресной донской водой (оросительной водой из НДМК) с учетом качественного и количественного химического состава почв полей там, где возможна техническая реализация смешения таковых вод и наблюдается дефицит поливной воды.

В коллекторе МКЛ-7 за рассматриваемый период, наоборот, произошло резкое ухудшение качества ДСВ (рисунок 3), ирригационный коэффициент (K_a) снизился с 22,96 (хорошее качество) до 11,61 (удовлетворительное), что делает невозможным их повторное использование на орошение без специальных приемов очистки.

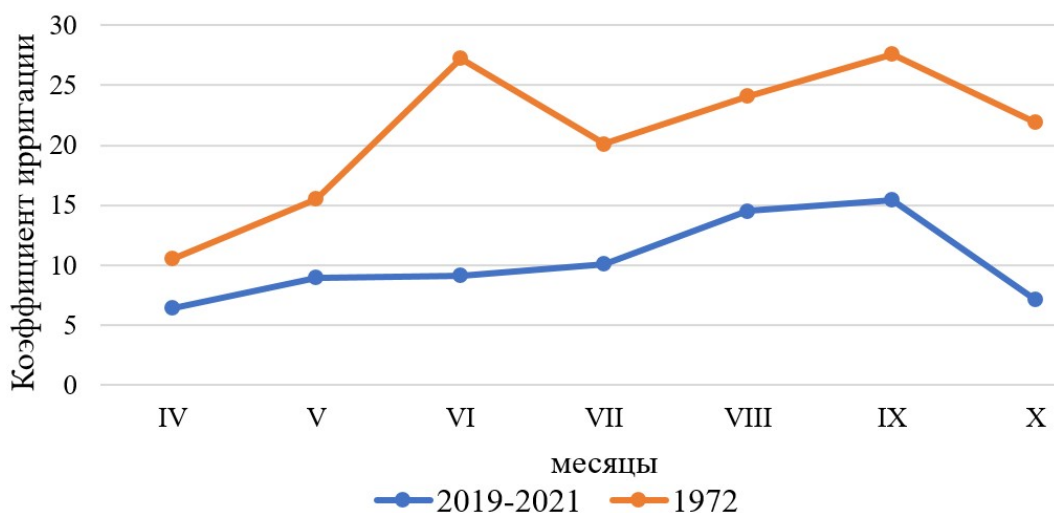
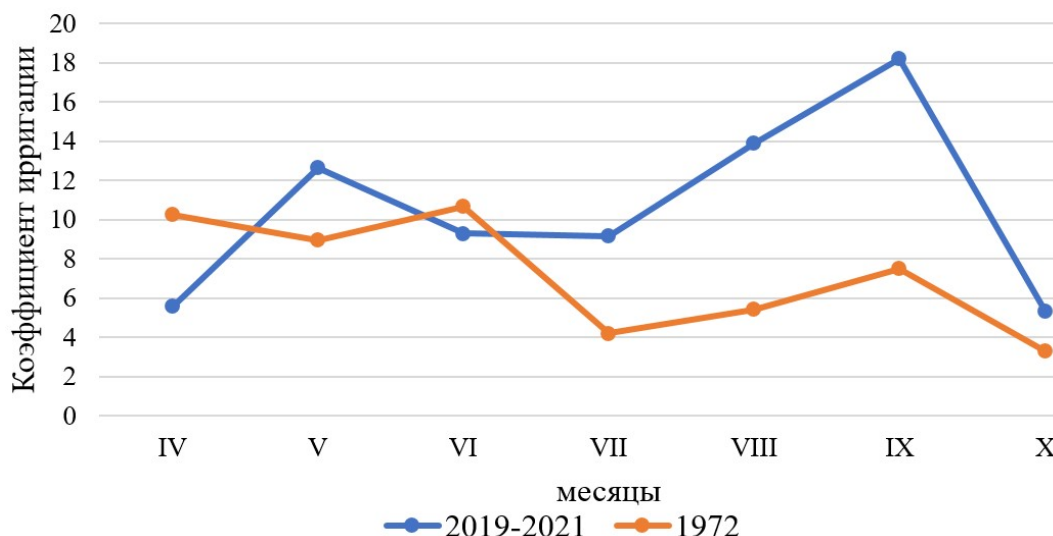


Рисунок 3 – Динамика ирригационного коэффициента в течение поливного периода в коллекторе МКЛ-7

Figure 3 – Irrigation coefficient dynamics during the irrigation period in the collector MKL-7

Ирригационные характеристики ДСВ центрального коллектора в первые месяцы поливного периода в исследуемые годы отличаются незначительно, а начиная с июля качество воды в коллекторе ЦС в настоящее время значительно улучшилось (рисунок 4). Ирригационный коэффициент (K_a) в коллекторе ЦС увеличился в среднем с 5,54 (неудовлетворительное качество) до 12,62 (удовлетворительное качество).



**Рисунок 4 – Динамика ирригационного коэффициента
в течение поливного периода в коллекторе ЦС**

**Figure 4 – Irrigation coefficient dynamics during
the irrigation period in the collector TsS**

Минерализация коллекторно-дренажных вод в рассматриваемых коллекторах в поливной период колеблется в широком диапазоне: в 1972 г. от 706 до 3390 мг/дм³, в настоящее время от 672 до 1531 мг/дм³. Во-первых, такое большое колебание в течение поливного периода года указывает на различный химический состав почв и грунтовых вод, участвующих в их формировании. Во-вторых, за пятидесятилетний период четко просматривается влияние полива пресной донской водой и результаты промывных режимов орошения.

Целесообразность повторного использования коллекторно-дренажных вод для полива должна устанавливаться на региональном уровне исходя из приоритетности, экономической целесообразности, затрат на очистку ДСВ с транспортированием воды, дефицита пресной воды, производства сельхозпродукции.

Выводы. Установлено, что ирригационное качество донской оросительной воды из НДМК в настоящее время ухудшилось по сравнению с 1972 г. в 1,54 раза, но по-прежнему остается хорошим, ирригационный коэффициент равен 28,15 ($K_a > 18$).

Результаты натурных исследований показали, что среднее значение ирригационного коэффициента (K_a) ДСВ в коллекторах К-3, ЛС-2 и ЦС с 1972 г. за пятидесятилетний период эксплуатации НДОС по настоящий период повысилось в 2–3,5 раза, качество воды в коллекторах стало удовлетворительным. Улучшение ирригационных характеристик коллекторно-дренажных вод в коллекторах К-3, ЛС-2 и ЦС обусловлено длительным использованием пресной поливной воды из НДМК.

В коллекторе МКЛ-7 ирригационный коэффициент уменьшился в 2 раза с 1972 по 2019–2021 гг., критерий качества воды снизился с хорошего до удовлетворительного. Резкое ухудшение качества воды в коллекторе МКЛ-7 свидетельствует о процессах вымывания солей в коллектор из нижних слоев почвы орошаемых земель, подвешенных к данному коллектору, и подстилающих грунтов.

Анализ динамики ирригационного качества воды в коллекторах показал, что многолетнее использование для орошения пресной поливной воды способствует устойчивому повышению экологической безопасности коллекторно-дренажных вод.

Список источников

1. Усманов А. У. Использование минерализованных вод на орошение. Ташкент: Мехнат, 1987. 7 с.
2. Руководство по использованию дренажных вод на орошение сельскохозяйственных культур и промывки засоленных земель / Среднеазиат. НИИ ирригации им. В. Д. Журина. Ташкент: САНИИРИ, 1986. 70 с.
3. Якубов Х. И., Савелева Р. В. Некоторые критерии применимости вод повышенной минерализации для орошения // Инженерные мероприятия по борьбе с засолением орошаемых земель. Ташкент, 1976. Вып. 148. С. 136.
4. Goel A., Tiwari P. Reuse of canal & drainage water in irrigation for wheat crop by using hydrus 2D software – A case study // Water and Energy International. 2021. Vol. 63, iss. 12. P. 6–11.
5. Classification of wastewater reuse for agriculture: A case study in South Korea / H. Jeong, C. Seong, T. Jang, S. Park // Irrigation and Drainage. 2016. Vol. 65, iss. 2. P. 76–85. <https://doi.org/10.1002/ird.2053>.
6. Effects of alternating irrigation with fresh and saline water on the soil salt, soil nutrients, and yield of tomatoes / J. Li, J. Chen, Z. Qu, S. Wang, P. He, N. Zhang // Water. 2019. Vol. 11, iss. 8. 1693. DOI: 10.3390/w11081693.
7. Chowdary V. M., Rao N. H., Sarma P. B. S. Decision support framework for assess-

ment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects // *Agricultural Water Management*. 2005. Vol. 75, № 3. P. 194–225. DOI: 10.1016/j.agwat.2004.12.013.

8. Díaz F. J., Benes S. E., Grattan S. R. Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California // *Agricultural Water Management*. 2013. Vol. 118. P. 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.017>.

9. Безднина С. Я. Качество воды для орошения. Принципы и методы оценки. М.: Рома, 1997. 185 с.

10. Экологическое обоснование применения дренажного стока при орошении сельскохозяйственных угодий / Д. Г. Васильев, В. Ц. Челахов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // *Экология и водное хозяйство* [Электронный ресурс]. 2019. № 3(03). С. 1–13. URL: http://www.rosniipm-sm1.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec34-field12.pdf (дата обращения: 11.08.2022). DOI: 10.31774/2658-7890-2019-3-1-13.

11. Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Моделирование и оценка поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации* [Электронный ресурс]. 2016. № 2(22). С. 112–127. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1084> (дата обращения: 11.08.2022).

12. Методические указания по совершенствованию технологий орошения и повышению эффективности использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. Ф. Снопич, Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев, А. С. Капустян, Л. М. Докучаева, А. С. Штанько, А. Л. Кожанов, А. А. Кузьмичев. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. 147 с.

13. Исаев С. Х., Хайдаров Б. Использование коллекторно-дренажных вод для орошения в маловодные годы // *European Research: сб. ст. XVI Междунар. науч.-практ. конф.* Пенза: Наука и Просвещение (Гуляев Г. Ю.), 2018. С. 114–117.

14. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения: коллектив. моногр. / под рук. В. И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.

15. Дрововозова Т. И., Паненко Н. Н., Манжина С. А. Оценка пригодности воды из открытых коллекторов Семикаракорского района Ростовской области для орошения // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации* [Электронный ресурс]. 2020. № 3(39). С. 154–169. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1144-field12.pdf (дата обращения: 11.08.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-154-169.

16. Геоэкологические циклы солеобразующих ионов в агроландшафтах / Т. И. Дрововозова, С. А. Марьяш, Е. С. Кулакова, Н. Н. Паненко // *Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: юбилейн. сб. науч. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф.* Ростов н/Д., 2020. Т. 1. С. 509–513.

17. Дрововозова Т. И., Паненко Н. Н. Исследование химического состава водной вытяжки и оценка степени засоления орошаемых почв, подвешенных к коллекторам Семикаракорского района Ростовской области // *Экология и водное хозяйство* [Электронный ресурс]. 2020. № 2(05). С. 36–48. URL: http://www.rosniipm-sm1.ru.rosniipm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec62-field12.pdf (дата обращения: 11.08.2022). DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-36-48.

18. Insights into the use of phytoremediation processes for the removal of organic micropollutants from water and wastewater; A review / W. Polńska, U. Kotowska, D. Kiejza, J. Karpińska // *Water (Switzerland)*. 2021. № 13(15). 2065. <https://doi.org/10.3390/w13152065>.

19. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia / A. K. Apazhev, Y. A. Shekikhachev, L. M. Hazhmetov, L. Z. Shekikhacheva // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1889(3). 032033. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032033.

References

1. Usmanov A.U., 1987. *Ispol'zovanie mineralizovannykh vod na oroshenie* [Use of Mineralized Water for Irrigation]. Tashkent, Mekhnat Publ., 7 p. (In Russian).
2. *Rukovodstvo po ispol'zovaniyu drenazhnykh vod na oroshenie sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i promyvki zasolennykh zemel'* [Guidelines for the Use of Drainage Water for Irrigation of Agricultural Crops and Leaching of Saline Lands]. Central Asian Scientific Research Institute of Irrigation named after V.D. Zhurin, Tashkent, SANIIRI Publ., 70 p. (In Russian).
3. Yakubov Kh.I., Savel'eva R.V., 1976. *Nekotorye kriterii primenimosti vod povyshennoy mineralizatsii dlya orosheniya* [Some criteria for the applicability of high salinity water for irrigation]. *Inzhenernye meropriyatiya po bor'be s zasoleniem oroshaemykh zemel'* [Engineering Measures to Combat Salinization of Irrigated Lands]. Tashkent, iss. 148, p. 136. (In Russian).
4. Goel A., Tiwari P., 2021. Reuse of canal & drainage water in irrigation for wheat crop by using hydrus 2D software – A case study. *Water and Energy International*, vol. 63, iss. 12, pp. 6-11.
5. Jeong H., Seong C., Jang T., Park S., 2016. Classification of wastewater reuse for agriculture: A case study in South Korea. *Irrigation and Drainage*, vol. 65, iss. 2, pp. 76-85, <https://doi.org/10.1002/ird.2053>.
6. Li J., Chen J., Qu Z., Wang S., He P., Zhang N., 2019. Effects of alternating irrigation with fresh and saline water on the soil salt, soil nutrients, and yield of tomatoes. *Water*, vol. 11, iss. 8, 1693, DOI: 10.3390/w11081693.
7. Chowdary V.M., Rao N.H., Sarma P.B.S., 2005. Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. *Agricultural Water Management*, vol. 75, no. 3, pp. 194-225, DOI: 10.1016/j.agwat.2004.12.013.
8. Díaz F.J., Benes S.E., Grattan S.R., 2013. Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California. *Agricultural Water Management*, vol. 118, pp. 59-69, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.017>.
9. Bezdina S.Ya., 1997. *Kachestvo vody dlya orosheniya. Printsipy i metody otsenki* [Water Quality for Irrigation. Principles and Methods of Assessment]. Moscow, Roma Publ., 185 p. (In Russian).
10. Vasiliev D.G., Chelakhov V.Ts., Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2019. [Ecological justification of drainage flow application when irrigating agricultural lands]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 3(03), pp. 1-13, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec34-field12.pdf [accessed 11.08.2022], DOI: 10.31774/2658-7890-2019-3-1-13. (In Russian).
11. Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2016. [Modeling and evaluation of pollutants input into a collector-drainage water]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(22), pp. 112-127, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1084> [accessed 11.08.2022]. (In Russian).
12. Shchedrin V.N., Snipich Yu.F., Senchukov G.A., Gostishchev V.D., Kapustyan A.S., Dokuchaeva L.M., Shtanko A.S., Kozhanov A.L., Kuzmichev A.A., 2015. *Metodicheskie ukazaniya po sovershenstvovaniyu tekhnologii orosheniya i povysheniyu effektivnosti ispol'zovaniya mestnogo stoka dlya orosheniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Methodological Guidelines for Improving Irrigation Technology and Increasing the Efficiency of Using Local Runoff for Agricultural Land Irrigation]. Novocherkassk, RosNIIPM, 147 p. (In Russian).
13. Isaev S.Kh., Khaidarov B., 2018. *Ispol'zovanie kollektorno-drenazhnykh vod dlya orosheniya v malovodnye gody* [Collector-drainage waters use for irrigation in dry years]. *European Research: sb. st. XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [European

Research: collection of articles XVI International Scientific and Practical Conference]. Penza, Science and Education (Gulyaev G. Yu.), pp. 114–117. (In Russian).

14. Danilov-Danilyan V.I. [et al.], 2020. *Diffuznoe zagryaznenie vodnykh ob'ektov: problemy i resheniya: kollektivnaya monografiya* [Diffuse Pollution of Water Bodies: Problems and Solutions: collective monograph]. Moscow, RAN, 512 p. (In Russian).

15. Drovovozova T.I., Panenko N.N., Manzhina S.A., 2020. [Assessment of water availability from open collectors for irrigation in Semikarakorsky district Rostov region]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(39), pp. 154–169, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1144-fie-ld12.pdf [accessed 11.08.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-154-169. (In Russian).

16. Drovovozova T.I., Maryash S.A., Kulakova E.S., Panenko N.N., 2020. *Geoekologicheskie tsikly soleobrazuyushchikh ionov v agrolandshaftakh* [Geoecological cycles of salt-forming ions in agricultural landscapes]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: yubileyny sbornik nauchnykh trudov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The State and Prospects of Development of the Agroindustrial Complex: Jubilee Proc. of the XIII International Scientific-Practical Conference]. Rostov-on-Don, vol. 1, pp. 509–513. (In Russian).

17. Drovovozova T.I., Panenko N.N., 2020. [The study of water extract chemical composition and assessment of salinity degree of irrigated soils adjacent to water collectors of Semikarakorsk district Rostov region]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 2(05), pp. 36–48, available: http://www.rosniipm-sm1.ru.rosniipm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec62-field12.pdf [accessed 11.08.2022], DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-36-48. (In Russian).

18. Polńska W., Kotowska U., Kiejza D., Karpińska J., 2021. Insights into the use of phytoremediation processes for the removal of organic micropollutants from water and wastewater; A review. *Water (Switzerland)*, no. 13(15), 2065, <https://doi.org/10.3390/w13152065>.

19. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z., 2021. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1889(3), 032033, DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032033.

Информация об авторах

Т. И. Дрововозова – заведующая кафедрой экологических технологий природопользования, доктор технических наук, доцент;

Н. Н. Красовская – начальник учебно-методического управления.

Information about the authors

T. I. Drovovozova – Chief of the Chair of Natural Resources Management Ecological Technologies, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

N. N. Krasovskaya – Chief of the Educational and Methodological Department.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.08.2022; одобрена после рецензирования 22.11.2022; принята к публикации 22.11.2022.

The article was submitted 17.08.2022; approved after reviewing 22.11.2022; accepted for publication 22.11.2022.