МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.67.03

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-81-98

Оценка качества воды водных объектов, применяемых для наполнения и использования Чограйского водохранилища

Герман Александрович Сенчуков¹, Вячеслав Дмитриевич Гостищев²,
Лидия Анатольевна Воеводина³, Дмитрий Викторович Мартынов⁴

^{1, 2, 3, 4}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹g19752011@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4185-3520>

²nb515@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0868-0712>

³rosniipm-lian@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5681-3807>

⁴dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Аннотация. Цель: оценить качество воды в водных объектах и каналах, наполняющих Чограйское водохранилище (ЧВ) и питающих Черноземельскую обводнительно-оросительную систему (ЧООС). Методы. Отбор проб воды проводился из р. Кумы, ЧВ, Терско-Кумского (ТКК), Кумо-Манычского и Черноземельского магистрального каналов. Отобранные пробы были проанализированы в соответствии с общепринятыми методиками. Оценка качества воды проведена по нескольким направлениям: содержание вредных веществ в соответствии с предельно допустимыми концентрациями, определение класса вод по минерализации и опасности развития неблагоприятных почвенных процессов, определение пригодности воды для систем капельного орошения. Результаты. Установлено, что лучшее качество присуще воде ТКК: по минерализации (198 мг/дм³) и опасности развития неблагоприятных почвенных процессов она соответствует первому классу, использование данной воды позволяет возделывать любые сельскохозяйственные культуры, наполнение ЧВ этой водой способствовало минимальному накоплению солей. На участке от Отказненского водохранилища до Левокумского гидроузла обнаружено ухудшение показателей качества воды. Минерализация увеличивается в 1,77 раза с 592 до 1050 мг/дм³. Класс воды ухудшается со второго до третьего по минерализации, есть опасность развития натриевого осолонцевания. Основная проблема при эксплуатации систем капельного орошения – опасность физического и химического засорения капельниц, вызванная высоким содержанием взвешенных веществ и щелочной реакцией исследуемых проб воды. Выводы. При проведении гидромелиораций на территориях, примыкающих к мелиоративным каналам, наполняющим ЧВ, и вдоль ЧООС на территории Республики Калмыкия следует учитывать прогнозируемое в данной статье влияние качества воды на почвы и сельскохозяйственные культуры с целью недопущения развития негативных явлений. Целесообразно выявить и устранить источники, ухудшающие качество воды в районе расположения Левокумского гидроузла.

Ключевые слова: Республика Калмыкия, Чограйское водохранилище, Черноземельская обводнительно-оросительная система, качество воды, засоление, осолонцевание, капельное орошение

Для цитирования: Оценка качества воды водных объектов, применяемых для наполнения и использования Чограйского водохранилища / Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев, Л. А. Воеводина, Д. В. Мартынов // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 81–98. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-81-98>.

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Water quality assessment of water bodies used for filling and using the Chogray reservoir

German A. Senchukov¹, Vyacheslav D. Gostishchev²,

Lidiya A. Voyevodina³, Dmitry V. Martynov⁴

^{1, 2, 3, 4}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹g19752011@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4185-3520>

²nb515@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0868-0712>

³rosniipm-lian@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5681-3807>

⁴dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Abstract. Purpose: to assess water quality in water bodies and canals that fill the Chogray reservoir (ChR) and feed the Chernozemelskaya irrigation-water distribution system (ChIS). **Methods.** Water sampling was carried out from the Kuma river, the ChR, Tersko-Kumsky (TKC), Kumo-Manychsky and Chernozemelsky main canals. The collected samples were analyzed by generally accepted methods. The water quality assessment was carried out in several directions: the content of harmful substances in accordance with the maximum permissible concentrations, determination of water class by salinity and hazard of developing unfavorable soil processes, determination of water suitability for drip irrigation systems. **Results.** It was found that the best quality is inherent to TKC water: in terms of mineralization (198 mg/dm³) and the hazard of developing unfavorable soil processes, it corresponds to the first class, the use of this water allows cultivation of various agricultural crops, filling the ChR with this water contributed to the minimum accumulation of salts. In the section from the Otkaznensky reservoir to the Levokumsky waterworks, deterioration of water quality indicators was found out. Mineralization increases 1.77 times from 592 to 1050 mg/dm³. The water class deteriorates from the second to the third in terms of mineralization, there is a hazard of sodium alkalization development. The main problem in operating drip irrigation systems is the danger of physical and chemical clogging of emitters caused by a high content of suspended substances and an alkaline reaction of the water samples under study. **Conclusions.** When carrying out irrigation and drainage in the territories adjacent to the reclamation canals that fill ChR, and along the ChIS in the Republic of Kalmykia, the impact of water quality on soils and agricultural crops predicted in this article should be taken into consideration in order to prevent the development of negative phenomena. It is advisable to identify and eliminate sources that deteriorate water quality in the area of the Levokumsky waterworks.

Keywords: Republic of Kalmykia, the Chogray reservoir, the Chernozemelskaya irrigation and water distribution system, water quality, salinization, alcalination, drip irrigation

For citation: Senchukov G. A., Gostishchev V. D., Voyevodina L. A., Martynov D. V. Water quality assessment of water bodies used for filling and using the Chogray reservoir. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(1):81–98. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-81-98>.

Введение. Проблема обеспечения водными ресурсами в необходимом объеме и требуемого качества всегда была актуальна для Республики Калмыкия (РК). В последнее время она еще более обострилась, так, по со-

общению М. М. Сангаджиева и др. [1], в РК ощущается недостаток водных ресурсов для работы обводнительно-оросительных систем (ООС), одновременно с этим существует проблема подтопления. «...Например, районный центр п. Яшкуль в конце прошлого века на треть был подтоплен. Это связано с сетью каналов и озер, расположенных в десятках километров выше на северо-западе от поселка. В последние годы в связи с дефицитом объема вод на каналах республики, процесс подтопления замедляется, но все же на юго-востоке в границах расположения поселка подземные воды выходят на поверхность» [1]. Согласно данным, представленным С. Б. Адьяевым и др., при интенсивном орошении, имевшем место в 1980-х гг., происходил подъем грунтовых вод, который чрезвычайно опасен для почв РК, так как минерализация грунтовых вод может достигать здесь до $65,9 \text{ г/дм}^3$ [2, 3]. В случае подъема таких грунтовых вод могут развиваться процессы засоления и осолонцевания.

По данным С. С. Улановой и Н. М. Новиковой [4], искусственные водоемы Калмыкии «...в настоящее время сильно загрязнены биогенными веществами». Проведенные ими расчеты показали, что животноводство на водосборной территории является причиной значительного превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) по фосфору для рыбохозяйственных целей (ПДК_р). Высокие концентрации фосфора также приводят к эвтрофикации рассматриваемых водных объектов и ухудшают качество воды для питьевого водоснабжения.

Вопросам качества воды в РК посвящено большое количество работ, в числе которых работы Э. Б. Дедовой, С. С. Улановой и др. [5–7]. Без обеспечения водными ресурсами в необходимом объеме и требуемого качества развитие РК будет существенно заторможено. Однако только комплексный подход и учет возможного негативного воздействия реализуемых мероприятий может способствовать положительному тренду развития. Так, увеличение объемов подачи водных ресурсов по каналам Черноземельской обвод-

нительно-оросительной системы (ЧООС) без оборудования их противофильтрационными экранами может усугубить сложные почвенно-экологические условия и не только затормозить развитие сельскохозяйственного производства в РК, но и привести к экологической катастрофе.

В ходе проработки вопроса о рациональном использовании водных ресурсов Чограйского водохранилища (ЧВ) была установлена целесообразность использования такого инновационного ресурсосберегающего способа орошения, как капельное орошение. В настоящее время данный способ орошения получает широкое распространение, особенно в тех регионах, где ощущается острый дефицит водных ресурсов. Развитие данного способа орошения предусматривает и такие новые его разновидности, как мобильные системы капельного орошения [8], использование солнечной энергии для систем капельного орошения [9]. Однако капельные системы орошения предъявляют строгие требования к качеству воды, учет которого является актуальным вопросом.

Цель – оценить качество воды в водных объектах и каналах, наполняющих Чограйское водохранилище (ЧВ) и питающих Черноземельскую обводнительно-оросительную систему (ЧООС).

Материалы и методы. Объектами изучения были р. Кума, ЧВ, Терско-Кумский (ТКК), Кумо-Манычский (КМК) и Черноземельский магистральный каналы (ЧМК). Отбор проб воды с целью оценки ее качества в ЧВ и Отказненском водохранилище, а также в связанных с ними транспортирующих каналах (ТКК и КМК) проводился 09.07.2021 в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Места отбора проб указаны в таблице 1 и на рисунке 1.

Химический анализ воды изучаемых объектов был выполнен в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» по следующим показателям: рН, удельная электропроводность, сухой остаток, мутность, солевой состав (содержание хлоридов, сульфатов, бикарбонатов, ионов кальция, магния, натрия и калия), содержание нитра-

тов, нитритов и аммонийных соединений, содержание марганца, железа общего, фосфатов, цинка, меди, кобальта, кадмия, никеля, свинца. Анализы проводились в соответствии с методиками, представленными в таблице 2.

**Таблица 1 – Места отбора проб для изучения качества воды
в Чограйском и Отказненском водохранилищах,
Терско-Кумском, Кумо-Манычском каналах**

**Table 1 – Places of sampling for studying water quality
in the Chogray and the Otkaznenskoe reservoirs,
the Tersko-Kumsky, the Kumo-Manychsky canals**

Место отбора пробы / Sampling sites	Метка на карте / Map mark
По трассе ЧМК на расстоянии 55 км от головы канала / Along the ChMC at a distance of 55 km from the canal head	1
В месте выхода ЧМК из ЧВ / At the place where the ChMC leaves the ChR	2
В КМК при входе в ЧВ / In KMC when entering the ChR	3
В КМК после Левокумского гидроузла / In KMC after the Levokumsky waterworks	4
На р. Куме выше Левокумского гидроузла / At the Kuma river above the Levokumsky waterworks	5
В ТКК до Левокумского гидроузла / At TKC before the Levokumsky waterworks	6
На донном водовыпуске из Отказненского водохранилища в р. Куму / At the bottom outlet from the Otkaznenskoe reservoir into the Kuma river	7

Таким образом, пробы 1 и 2 характеризуют воду, протекающую по ЧМК, причем проба 1 показывает характеристики воды, прошедшей по ЧМК 55 км. Пробы 3 и 4 характеризуют воду в КМК, пробы 7 и 5 – воду р. Кумы, а проба 6 – воду в ТКК. В таблице 3 указаны значения показателей по отобранным пробам.

Результаты и обсуждение. Оценка качества воды проведена по нескольким направлениям:

- определение ПДК вредных веществ;
- определение класса вод по минерализации и опасности развития неблагоприятных почвенных процессов в соответствии с классификацией, предложенной С. Я. Бездниной [10];
- определение пригодности воды для систем капельного орошения.

Рисунок 1 – Места отбора проб для изучения качества воды в Чограйском, Отказненском водохранилищах, Терско-Кумском, Кумо-Манычском каналах

Figure 1 – Sampling sites for studying water quality in the Chogray, the Otkaznenskoye reservoirs, the Tersko-Kumsky, the Kumo-Manychsky canals

Таблица 2 – Методики определения показателей исследуемой природной воды

Table 2 – Methods for determining the natural water indicators under investigation

Показатель / Indicator	Документ, устанавливающий правила и методы исследований (испытаний), измерений / Document determining rules and methods of research (testing), measurements	Диапазон определения / Determination range
1	2	3
Аммоний-ион / Ammonium ion	ПНД Ф 14.1:2.4.262-10 / Environmental norms	0,05–4,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)

Продолжение таблицы 2

Continuation of the table 2

1	2	3
Аммоний-ион / Ammonium ion	ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013 / Environmental norms	0,1–100,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Водородный показате- ль (pH) / Soil pH	ПНД Ф 14.1:2:4.121-97 / Environmental norms	1–14 ед. pH (pH units)
Удельная электриче- ская проводимость / Conductivity	РД 52.24.495-2005 / Ruling document	5–10000 мкСм/см (μS/cm)
Сухой остаток / Dry residues	ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010 / Environmental norms	1,0–35000 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Нитрат-ионы / Nitrate ions	ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 / Environmental norms	0,1–100 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Нитрит-ионы / Nitrite ions	ПНД Ф 14.1:2:4.3-95 / Environmental norms	0,02–3 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Мутность / Turbidity	ПНД Ф 14.1:2:4.213-05 / Environmental norms	1–100 ЕМФ (Formazine Turbidity Unit)
Железо общее / Total iron	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 / Environmental norms	0,05–10,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Фосфаты / Phosphates	ПНД Ф 14.1:2:4.112-97 / Environmental norms	0,05–80,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Цинк / Zink	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 / Environmental norms	0,004–0,2 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Медь / Copper	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 / Environmental norms	0,01–10,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Кобальт / Cobalt	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 / Environmental norms	0,015–0,5 мг/дм ³ mg/dm ³
Кадмий / Cadmium	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 / Environmental norms	0,005–0,5 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Никель / Nickel	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 / Environmental norms	0,015–1,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Свинец / Lead	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 / Environmental norms	0,02–0,5 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Марганец / Manganese	ПНД Ф 14.1:2.61-96 / Environmental norms	0,005–10,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Гидрокарбонаты / Hydrocarbonate	РД 52.24.493-2006 / Ruling Documents	10–500 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Хлориды / Chlorides	ПНД Ф 14.1:2:3.96-97 / Environmental norms	10–5000,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Сульфаты / Sulfates	ПНД Ф 14.1:2:4.240-2007 / Environmental norms	20–500,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Кальций / Calcium	РД 52.24.403-2007 / Environmental norms	1,0–200,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Магний / Magnesium	РД 52.24.395-2007 / Environmental norms	1,0–200,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)

Продолжение таблицы 2

Continuation of the table 2

1	2	3
Натрий / Sodium	ПНД Ф 14.1:2:4.138-98 / Environmental norms	1,0–200,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)
Калий / Potassium	ПНД Ф 14.1:2:4.138-98 / Environmental norms	1,0–20,0 мг/дм ³ (mg/dm ³)

Таблица 3 – Значения показателей по отобранным пробам воды

Table 3 – Indicator values for selected water samples

Показатель / Indicator	Проба воды / Water sampling						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
Аммоний-ион, мг/дм ³ / Ammonium ion, mg/dm ³	0,22	0,38	0,074	0,14	0,21	0,059	0,15
Водородный показатель (рН) / Soil pH	7,8	8,3	8,0	8,0	8,0	8,3	8,2
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см / Conductivity, μ S/cm	1677,5	1639	1243,5	1185	1451,5	250,35	889,5
Сухой остаток, мг/дм ³ / Dry residues, mg/dm ³	1213	1193	921	930	1050	198	592
Нитрат-ионы, мг/дм ³ / Nitrate ions, mg/dm ³	0,05	0,06	4,76	1,9	2,10	0,57	2,3
Нитрит-ионы, мг/дм ³ / Nitrite ions, mg/dm ³	0,017	0,018	0,044	0,13	0,15	0,027	0,12
Мутность, ЕМФ / Turbidity, Formazine Turbid- ity Unit	30,0	30,16	514,95	883,83	751,52	151,31	278,38
Железо общее, мг/дм ³ / Total iron, mg/dm ³	0,4	0,29	2,33	0,40	0,27	0,24	0,23
Фосфаты, мг/дм ³ / Phosphates, mg/dm ³	0,03	0,037	0,21	0,20	0,25	0,051	0,14
Цинк, мг/дм ³ / Zinc, mg/dm ³	0,028	0,017	0,014	0,008	0,014	0,013	0,009
Медь, мг/дм ³ / Copper, mg/dm ³	0,008	0,008	0,014	0,011	0,013	0,006	0,005
Кобальт, мг/дм ³ / Cobalt, mg/dm ³	0,013	0,012	0,012	0,014	0,014	0,013	0,014
Кадмий, мг/дм ³ / Cadmium, mg/dm ³	0,007	0,0035	0,002	0	0,003	0,003	0,001
Никель, мг/дм ³ / Nickel, mg/dm ³	0,005	0,0035	0,0045	0,005	0,007	0,002	0,001
Свинец, мг/дм ³ / Lead, mg/dm ³	0	0	0	0	0	0	0
Марганец, мг/дм ³ / Manganese, mg/dm ³	0,15	< 0,005	0,01	0,01	0,01	0,052	< 0,005

Продолжение таблицы 3
Continuation of the table 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Гидрокарбонаты, мг/дм ³ / Hydrocarbonates, mg/dm ³	115,07	120,29	163,72	145,58	156,05	112,61	159,19
Хлориды, мг/дм ³ / Chlorides, mg/dm ³	233,97	228,66	120,53	115,22	150,67	7,00	60,27
Сульфаты, мг/дм ³ / Sulfates, mg/dm ³	473,48	470,94	366,56	338,57	422,57	51,42	238,10
Кальций, мг/дм ³ / Calcium, mg/dm ³	86,65	84,42	95,81	91,13	103,13	37,12	88,69
Магний, мг/дм ³ / Magnesium, mg/dm ³	68,07	67,07	46,71	40,56	52,59	6,63	30,01
Натрий, мг/дм ³ / Sodium, mg/dm ³	190,0	196	116	109	144	17	54
Калий, мг/дм ³ / Potassium, mg/dm ³	11,0	10	10,1	95	9	1,4	4,7

Произведем оценку воды по ПДК вредных веществ в водоисточниках для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения.

Оценка воды по содержанию вредных веществ показала, что превышение ПДК отмечалось по сухому остатку и содержанию магния для проб 1, 2 и 5. Для проб 1, 3 и 4 отмечается превышение ПДК по содержанию железа. Для пробы 1 отмечается превышение ПДК по содержанию кадмия.

Определение класса вод по минерализации показало (таблица 4), что вода, поступающая по ТКК, соответствует первому классу, т. е. она, согласно классификации, не оказывает влияния на плодородие почв. Вода р. Кумы около Отказненского водохранилища (проба 6) соответствует второму классу. Класс воды р. Кумы выше Левокумского гидроузла (проба 4) становится третьим. Все остальные пробы воды в КМК, ЧМК и ЧВ показывают третий класс воды. Проба воды, полученная на расстоянии 55 км от начала ЧМК, характеризуется четвертым классом, что указывает на неблагоприятное влияние данной воды на плодородие почв и необходимость мелиорации воды и почвы.

Существенное ухудшение качества воды по минерализации происходит на участке р. Кумы от Отказненского водохранилища до Левокум-

ского гидроузла. Здесь требуется дополнительное изучение причин ухудшения качества воды в р. Куме, так как данный участок реки характеризуется значительным количеством населенных пунктов, в т. ч. имеющих промышленное производство, а также наличием точек сброса из оросительных систем.

Таблица 4 – Классы воды исследуемых объектов по минерализации
Table 4 – Water classes of the studied objects by mineralization

Номер пробы / Sample number	Класс воды по минерализации / Mineralization water class		
	тяжелый ГС; ППК 30–60 / heavy ASD; SAC 30–60	средний ГС; ППК 15–30 / middle ASD; SAC 15–30	легкий ГС; ППК < 15 / light ASD; SAC < 15
1	Четвертый / The fourth	Четвертый / The fourth	Четвертый / The fourth
2	Третий / The third	Третий / The third	Третий / The third
3	Третий / The third	Третий / The third	Третий / The third
4	Третий / The third	Третий / The third	Третий / The third
5	Третий / The third	Третий / The third	Третий / The third
6	Первый / The first	Первый / The first	Первый / The first
7	Второй / The second	Второй / The second	Второй / The second
Примечание – ГС – гранулометрический состав; ППК – почвенный поглощающий комплекс в мг-экв/100 г почвы. Note – ASD – aggregate size distribution; SAC – soil absorption complex in me/100 g of soil.			

Наиболее вероятными загрязнителями на участке от Отказненского водохранилища до Левокумского гидроузла могут являться сбросы с оросительных систем в р. Куму (Плаксейская, Архангельская, Прикумская ООС) и сбросы с БСК общим объемом 99,75 млн м³. Установление точной причины ухудшения качества воды в р. Куме требует дополнительных исследований, так как в настоящее время информация о качестве воды в местах сброса отсутствует, отбор проб не проводится.

Анализ по степени опасности развития неблагоприятных почвенных процессов показал (таблица 5), что вода ТКК (проба 6) относится к первому классу по всем четырем возможным негативным почвенным процессам, т. е. маловероятно, что ее применение вызовет развитие хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания и содообразования. Вода р. Кумы (проба 7) характеризуется ухудшением качества в части возмож-

ного натриевого осолонцевания в случае применения ее для орошения. Еще большее ухудшение качества воды р. Кумы отмечается около Левокумского гидроузла (проба 5), где класс воды по опасности развития процессов натриевого осолонцевания и хлоридного засоления становится третьим. Проба 2 соответствует воде четвертого класса по опасности развития натриевого осолонцевания. В остальных пробах класс воды по опасности развития процессов натриевого осолонцевания соответствует третьему, вместе с тем значения при определении класса воды для пробы 1 находятся в области пограничных значений и при незначительных изменениях в диапазоне возможных отклонений качество может изменяться до четвертого класса. Также в исследуемых пробах воды из ЧМК (пробы 1 и 2) отмечена опасность развития хлоридного засоления, соответствующая третьему классу.

Таблица 5 – Классы воды исследуемых объектов по степени опасности развития процессов

Table 5 – Classes of water of the studied objects according to the hazard rate of the processes development

Номер пробы / Sample number	Класс воды для орошения почв по степени опасности развития процесса / Class of water for soil irrigation according to the hazard rate of the process development			
	хлоридного засоления / chloride salinization	натриевого осолонцевания / sodium alkalization	магниевого осолонцевания / magnesium alkalization	содообразования / soda formation
1	Третий / The third	Третий / The third	Второй / The second	Первый / The first
2	Третий / The third	Четвертый / The fourth	Второй / The second	Первый / The first
3	Второй / The second	Третий / The third	Первый / The first	Первый / The first
4	Второй / The second	Третий / The third	Первый / The first	Первый / The first
5	Третий / The third	Третий / The third	Первый / The first	Первый / The first
6	Первый / The first	Первый / The first	Первый / The first	Первый / The first
7	Первый / The first	Второй / The second	Первый / The first	Первый / The first

Во всех исследуемых пробах воды не обнаружена опасность содообразования, все пробы соответствуют первому классу. Также во всех пробах

(кроме проб 1 и 2, взятых из ЧМК) определяется первый класс воды по опасности магниевого осолонцевания. В пробах 1 и 2 из ЧМК опасность магниевого осолонцевания характеризуется вторым классом.

Наихудшие характеристики воды по степени опасности развития негативных почвенных процессов отмечаются для воды ЧМК. Здесь накладывается влияние двух неблагоприятных факторов: 1) ухудшение качества перебрасываемой из р. Терек воды за счет добавления вод р. Кумы; 2) ухудшение за счет смешивания с водами ЧВ, где наблюдаются значительные потери воды на испарение, а следовательно, увеличение значений показателя минерализации воды с повышением доли натрия и хлоридов (солености воды).

Капельное орошение в настоящее время рассматривается как способ орошения, наиболее экономно и эффективно расходующий воду, поэтому для рационального использования водных ресурсов ЧВ данный способ орошения и возможность его применения являются актуальными. Нами была проведена оценка всех образцов на предмет возможных проблем для систем капельного орошения [11, 12]. Степень сложности проблемы, оцениваемая как незначительная, в таблице 6 указана цифрой 1, средняя соответствует цифре 2 и сложная – 3.

Таблица 6 – Оценка пригодности поливной воды для систем капельного орошения

Table 6 – Assessment of the suitability of irrigation water for drip irrigation systems

Показатель / Indicator	Проба поливной воды / Irrigation water sample						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
Влияние на физическое засорение капельниц / Effects on physical clogging of emitters							
Взвешенные вещества, мг/дм ³ / Suspended substances, mg/dm ³	17	17	299	513	436	88	161
	1	1	3	3	3	2	3
Влияние на химическое засорение капельниц / Effects on chemical clogging of emitters							
pH / pH	7,8	8,3	8,0	8,0	8,0	8,3	8,2
	2	3	3	3	3	3	3

Продолжение таблицы 6

Continuation of the table 6

1	2	3	4	5	6	7	8
Железо (Fe), мг/дм ³ / Iron (Fe), mg/dm ³	0,40	0,29	2,33	0,40	0,27	0,24	0,23
	2	2	3	2	2	2	2
Марганец (Mn), мг/дм ³ / Manganese (Mn), mg/dm ³	0,015	0,005	0,010	0,010	0,010	0,052	0,005
	1	1	1	1	1	1	1
Минерализация, мг/дм ³ / Mineralization, mg/dm ³	1213	1193	921	930	1050	198	592
	2	2	2	2	2	1	2
Влияние на урожайность культуры / Influence on crop yield							
ЕС, мСм/см / ЕС, μ S/cm	1,678	1,639	1,243	1,185	1,452	0,250	0,890
	2	2	2	2	2	1	2
Нитраты, мг/дм ³ / Nitrates, mg/dm ³	0,017	0,018	0,044	0,130	0,150	0,027	0,120
	1	1	1	1	1	1	1
Токсичность отдельных ионов / Toxicity of individual ions							
Хлориды, мг/дм ³ / Chlorides, mg/dm ³	234,0	228,66	120,53	115,22	150,67	7	60,27
	2	2	1	1	2	1	1
Натрий (SAR) / Sodium (SAR)	3,7	3,9	2,4	2,4	2,9	0,7	1,3
	2	2	1	1	1	1	1
Примечание – В верхней строке указаны значения показателя, в нижней строке указана оценка в соответствии с рекомендациями D. H. Rogers, F. R. Lamm, M. Alam, Л. А. Воеводиной [11, 12]. Note – The top line shows the indicator values, the bottom line shows the assessment in accordance with the recommendations of D. H. Rogers, F. R. Lamm, M. Alam, L. A. Voevodina [11, 12].							

Анализ данных таблицы 6 показывает, что опасность физического засорения капельниц, связанная с наличием взвешенных веществ в воде, отмечается в пробах 3–5 и 7, в которых значения данного показателя указывают на наличие сложных проблем, в пробе 6 средний уровень сложности проблемы. В пробах 1 и 2 сложность проблем, связанных с наличием взвешенных веществ в воде, характеризуется как незначительная. Это указывает на то, что в ЧВ происходит отстаивание вод, поступающих из р. Терек и Кума, а следовательно, и наибольшее осаждение взвешенных частиц. Этот процесс в конечном итоге приводит к уменьшению полезного объема ЧВ и необходимости уточнения его батиграфических характеристик, а также проведения мероприятий по очистке ложа водохранилища.

Опасность химического засорения систем капельного орошения отмечается в связи с высокими значениями рН в исследуемой воде. Для всех

образцов (кроме пробы 1) характерна высокая степень сложности проблемы. В пробе 1 средний уровень. Также опасность химического засорения отмечается для пробы 3, в которой имеются проблемы с высоким содержанием железа. По минерализации во всех пробах воды (кроме 6) обнаружена средняя степень сложности.

Оценка влияния на урожайность культуры по показателям удельной электропроводности и содержанию нитратов показывает, что в связи с низким содержанием нитратов в исследуемых пробах влияние воды на урожайность слабое и практически может не учитываться при разработке системы удобрений. Что касается удельной электропроводности, проблема соответствует средней степени, кроме пробы 6, в которой проблемы незначительные.

По токсичности отдельных ионов было рассмотрено содержание натрия (по показателю SAR) и хлоридов. Для проб 1, 2 и 5 отмечена средняя степень сложности проблем, связанных с содержанием хлоридов. Для проб 1 и 2 обнаружена средняя степень сложности проблем, связанных с содержанием натрия.

Таким образом, основная проблема в ходе эксплуатации систем капельного орошения – опасность физического и химического засорения капельниц, вызванная высоким содержанием взвешенных веществ и щелочной реакцией исследуемых проб воды.

Анализ опубликованных ранее материалов и исследований, проведенных в 2021 г. в рамках выполнения данной тематики, показал, что вода ТКК характеризуется высоким качеством. У нее низкое содержание солей (198 мг/дм^3) и благоприятный (гидрокарбонатно-кальциевый) состав. Ее применение не повлечет развития негативных почвенных процессов (содообразования, хлоридного засоления, натриевого и магниевое осолонцевания). Негативный момент при оценке качества воды ТКК для работы систем капельного орошения – повышенные значения таких показателей, как содержание взвешенных веществ (88 мг/дм^3) и железа

(0,24 мг/дм³), которые могут вызвать проблемы средней сложности, а также высокий pH (8,3), это значение указывает на возможность возникновения сложных проблем с химическим засорением капельных эмиттеров.

В результате исследований воды р. Кумы обнаружено, что в районе Отказненского водохранилища качество воды характеризуется довольно хорошими показателями: первым классом по опасности развития негативных почвенных процессов при ее применении (хлоридного засоления, магниевого осолонцевания и содообразования), вторым классом по опасности развития процесса натриевого осолонцевания и по минерализации воды.

На участке от Отказненского водохранилища до Левокумского гидроузла качество воды в р. Куме существенно снижается. Класс воды, определяемый по минерализации, снижается со второго до третьего, также со второго до третьего класса ухудшается качество воды по степени опасности развития натриевого осолонцевания, а по хлоридному засолению ухудшается с первого до третьего класса. Наблюдается превышение ПДК по показателям сухого остатка и содержания магния.

Вода, отобранная из каналов ЧООС, характеризуется наихудшими показателями по минерализации. Класс воды для проб, взятых по трассе ЧМК на расстоянии 55 км от его начала (проба 1), соответствовал четвертому классу, в начале ЧМК (проба 2) – третьему. По степени опасности развития негативных почвенных процессов вода в ЧМК соответствовала третьему классу по опасности хлоридного засоления. По опасности натриевого осолонцевания вода в начале канала охарактеризована как относящаяся к четвертому классу, а на расстоянии 55 км от начала – к третьему. Опасность магниевого осолонцевания соответствует второму классу. Вероятность развития процесса содообразования признается малой. Использование воды из ЧМК для систем капельного орошения может привести к возникновению проблем средней степени сложности, связанных с химическим засорением капельниц из-за повышенных значений таких показате-

лей, как рН, содержание железа, марганца и минерализация. Сложные проблемы могут возникнуть ввиду высоких значений рН.

Выводы

1 В результате исследований установлено, что лучшее качество из отобранных проб присуще воде ТКК: по минерализации (198 мг/дм³) и опасности развития неблагоприятных почвенных процессов она соответствует первому классу, использование данной воды позволяет возделывать любые сельскохозяйственные культуры, при условии наполнения ЧВ этой водой можно было бы достичь минимального накопления солей.

2 На участке от Отказненского водохранилища до Левокумского гидроузла обнаружено существенное ухудшение показателей качества воды. Минерализация увеличивается в 1,77 раза с 592 до 1050 мг/дм³. Класс воды ухудшается со второго до третьего по минерализации, есть опасность развития натриевого осолонцевания. На опасность развития хлоридного засоления указывает изменение класса воды с первого до третьего.

3 Наиболее вероятными загрязнителями на участке от Отказненского водохранилища до Левокумского гидроузла могут являться сбросы с оросительных систем в р. Куму (Плаксейская, Архангельская, Прикумская ООС) и сбросы с БСК общим объемом 99,75 млн м³. Установление точной причины ухудшения качества воды в р. Куме требует дополнительных исследований, так как в настоящее время информация о качестве воды в местах сброса отсутствует, отбор проб не проводится.

Список источников

1. Эколого-экономический фактор безопасности в Калмыкии: проблема питьевого водоснабжения / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, Л. Х. Сангаджиева, О. Ш. Кедеева, А. В. Онкаев // Инновации и инвестиции. 2020. № 1. С. 301–305.
2. Адьяев С. Б., Дедова Э. Б., Сазанова М. А. Комплексное использование водных ресурсов Республики Калмыкия. Элиста: Джангар, 2006. 200 с.
3. Уланова С. С. Водоохранилища Калмыкии: оценка последствий создания // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. М., 2020. С. 132–135.
4. Уланова С. С., Новикова Н. М. Поступление фосфора в искусственные водоемы Калмыкии от животноводческих предприятий // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 6. С. 629–637.

5. Зональные критерии оценки качества поливных вод Калмыкии / В. В. Бородычев, Э. Б. Дедова, М. А. Сазанов, И. Г. Плешакова // МИВХ. 2016. № 2. С. 40–45.
6. Уланова С. С., Нажмутдинов С. Н. Качество поверхностных вод Чограйского водохранилища (по результатам полевых исследований 2012–2016 гг.) // Полевые исследования. 2017. № 4. С. 53–66.
7. Уланова С. С. Геоэкологические проблемы искусственных водоемов Калмыкии // Полевые исследования. 2020. № 7. С. 108–123.
8. Mobile Drip Irrigation in Australia a View from 2021 [Electronic resource] / D. Farquhar, M. Heap, C. Robertson, T. Henning, K. Zeleke. URL: https://www.researchgate.net/publication/353345745_MOBILE_DRIP_IRRIGATION_IN_AUSTRALIA_A_VIEW_FROM_2021/link/60f669fa0859317dbdf4e9f2/download (date of access: 26.10.2021).
9. Panchal R. N., Awasare A., Panchal J. R. Solar drip irrigation: constructional design // International Journal of Advance Research in Science and Engineering. 2017. Vol. 6, iss. 10. P. 2078–2082.
10. Безднина С. Я. Экологические основы водопользования. М.: ВНИИА, 2005. 224 с.
11. Rogers D. H., Lamm F. R., Alam M. MF-2575. Subsurface Drip Irrigation (SDI) Systems Water Quality Assessment Guidelines [Electronic resource]. URL: <https://www.ksre.k-state.edu/sdi/reports/2003/mf2575.pdf> (date of access: 16.04.2021).
12. Воеводина Л. А. Оценка качества воды для систем капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. / ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: Геликон, 2009. Вып. 42. С. 174–179.

References

1. Sangadzhiev M.M., Onkaev V.A., Sangadzhieva L.Kh., Kedeeva O.Sh., Onkaev A.V., 2020. *Ekologo-ekonomicheskij faktor bezopasnosti v Kalmykii: problema pit'evogo vodosnabzheniya* [Environmental and economic security factor in Kalmykia: the problem of drinking water supply]. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and Investments], no. 1, pp. 301–305. (In Russian).
2. Adyaev S.B., Dedova E.B., Sazanov M.A., 2006. *Kompleksnoe ispol'zovanie vodnykh resursov Respubliki Kalmykiya* [Complex Use of Water Resources of the Republic of Kalmykia]. Elista, Dzhangar Publ., 200 p. (In Russian).
3. Ulanova S.S., 2020. *Vodokhranilishcha Kalmykii: otsenka posledstviy sozdaniya* [Reservoirs of Kalmykia: assessment of the consequences of creation]. *Degradatsiya zemel' i opustynivanie: problemy ustoychivogo prirodopol'zovaniya i adaptatsii: sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Land Degradation and Desertification: Problems of Sustainable Nature Management and Adaptation: Proc. of International Scientific-Practical Conference]. Moscow, pp. 132–135. (In Russian).
4. Ulanova S.S., Novikova N.M., 2019. *Postuplenie fosfora v iskusstvennye vodoemy Kalmykii ot zhivotnovodcheskikh predpriyatiy* [Phosphorus input into artificial water bodies in Kalmykia from livestock enterprises]. *Vodnye resursy* [Water Resources], vol. 46, no. 6, pp. 629–637. (In Russian).
5. Borodychev V.V., Dedova E.B., Sazanov M.A., Pleshakova I.G., 2016. *Zonal'nye kriterii otsenki kachestva polivnykh vod Kalmykii* [Zonal criteria for assessing the quality of irrigation water in Kalmykia]. *MIVKh*, no. 2, pp. 40–45. (In Russian).
6. Ulanova S.S., Nazhmutdinov S.N., 2017. *Kachestvo poverkhnostnykh vod Chograyskogo vodokhranilishcha (po rezul'tatam polevykh issledovaniy 2012–2016 gg.)* [The Chogray reservoir: quality of surface waters (evidence from 2012–2016 field research)]. *Polevyye issledovaniya* [Field Research], no. 4, pp. 53–66. (In Russian).
7. Ulanova S.S., 2020. *Geoekologicheskie problemy iskusstvennykh vodoemov Kalmy-*

kii [Geoecological problems of the artificial water bodies of Kalmykia]. *Polevye issledovaniya* [Field Research], no. 7, pp. 108–123. (In Russian).

8. Farquhar D., Heap M., Robertson C., Henning T., Zeleke K. Mobile Drip Irrigation in Australia a View from 2021, available: https://www.researchgate.net/publication/353345745_MOBILE_DRIP_IRRIGATION_IN_AUSTRALIA_A_VIEW_FROM_2021/link/60f669fa0859317dbdf4e9f2/download [accessed 26.10.2021].

9. Panchal R.N., Awasare A., Panchal J.R., 2017. Solar drip irrigation: constructional design. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, vol. 6, iss. 10, pp. 2078–2082.

10. Bezdina S.Ya., 2005. *Ekologicheskie osnovy vodopol'zovaniya* [Ecological Bases of Water Use]. Moscow, VNIIA, 224 p. (In Russian).

11. Rogers D.H., Lamm F.R., Alam M. MF-2575. Subsurface Drip Irrigation (SDI) Systems Water Quality Assessment Guidelines, available: <https://www.ksre.k-state.edu/sdi/reports/2003/mf2575.pdf> [accessed 16.04.2021].

12. Voevodina L.A., 2009. *Otsenka kachestva vody dlya sistem kapel'nogo orosheniya* [Assessment of water quality for drip irrigation systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sbornik statey FGBNU "RosNIIPM"* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Articles of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems]. Novocherkassk, Helikon Publ., iss. 42, pp. 174–179. (In Russian).

Информация об авторах

Г. А. Сенчуков – заместитель директора по науке в области водных ресурсов, кандидат технических наук;

В. Д. Гостищев – ведущий научный сотрудник, начальник отдела, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Л. А. Воеводина – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;

Д. В. Мартынов – младший научный сотрудник.

Information about the authors

G. A. Senchukov – Deputy Director for Science in the Field of Water Resources, Candidate of Technical Sciences;

V. D. Gostishchev – Leading Researcher, Head of Department, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

L. A. Voevodina – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;

D. V. Martynov – Junior Researcher.

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 25.11.2021; одобрена после рецензирования 13.01.2022; принята к публикации 18.01.2022.

The article was submitted 25.11.2021; approved after reviewing 13.01.2022; accepted for publication 18.01.2022.