

## ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 504.4.054

doi: 10.31774/2658-7890-2021-3-4-1-13

### **Влияние метеорологических факторов на качество природных водных объектов на территории Багаевской оросительной системы**

**Татьяна Ильинична Дрововозова<sup>1</sup>, Андрей Андреевич Кириленко<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

<sup>1</sup>tid70.drovovozova@yandex.ru

<sup>2</sup>andreykirilenko96@mail.ru

**Аннотация.** **Цель:** анализ влияния атмосферных осадков и температуры воздуха на формирование геохимического фона водных объектов в зоне коллекторных каналов Багаевской оросительной системы. **Материалы и методы:** анализ сводки данных об атмосферных осадках и химических измерений проб сточной и природной воды коллекторных каналов за период 2014–2020 гг.; оценка многолетней (1900–2020 гг.) динамики среднегодовой температуры атмосферного воздуха. **Результаты.** Проведена оценка химического состава вод водоприемников по сумме основных солеобразующих ионов в местах впадения коллекторных каналов в водные объекты, в фоновом и контрольном створах. Пробы сточной и природной воды были отдельно проанализированы по показателям содержания сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов. Выявлена связь между общей минерализацией и суммой осадков за 30 дней до даты отбора пробы (включительно). Установлен тренд величины среднегодовой температуры атмосферного воздуха применительно к территории Нижнего Дона. **Выводы.** На выпуске дренажно-сбросных вод из каналов БГ-МС-6 и БГ-МС-10 концентрация веществ в водоприемниках (р. Подпольная и Западный Маныч) не превышает концентрацию в фоновом створе, что указывает на естественный (условно-естественный) фон водных объектов. Динамика минерализации свидетельствует о том, что ионный состав водных объектов в пределах Багаевской оросительной системы формируется за счет привноса солей поверхностным стоком в составе атмосферной влаги, а также в процессе грунтового питания. В более глобальном масштабе (в целом на территории Нижнего Дона) на геохимический фон малых водных объектов оказывает влияние постепенный рост среднегодовой температуры воздуха.

**Ключевые слова:** водный объект, геохимический фон, солеобразующие ионы, дренажно-сбросные воды, метеорологические факторы, атмосферные осадки, температура воздуха

**Для цитирования:** Дрововозова Т. И., Кириленко А. А. Влияние метеорологических факторов на качество природных водных объектов на территории Багаевской оросительной системы // Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3, № 4. С. 1–13. DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-4-1-13.

## ECOLOGY

Original article

**Meteorological factors impact on the quality of natural water facilities on the territory of the Bagaevskaya irrigation system**

**Tatiana I. Drovovozova<sup>1</sup>, Andrey A. Kirilenko<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

<sup>1</sup>tid70.drovovozova@yandex.ru

<sup>2</sup>andreykirilenko96@mail.ru

**Abstract. Purpose:** analysis of the influence of atmospheric precipitation and air temperature on the formation of geochemical background of water bodies in the zone of collector canals of the Bagaevskaya irrigation system. **Materials and Methods:** analysis of the report on atmospheric precipitation and chemical measurements of waste and natural water samples from collector canals for the period 2014–2020; assessment of long-term (1900–2020) dynamics of the average annual temperature of atmospheric air. **Results.** The assessment of the chemical composition of water intake waters was carried out by the sum of the main salt-forming ions at the confluence of collector canals into water bodies, in the background and control sections. Samples of waste and natural water were analyzed separately for the sulfates, chlorides, hydrocarbons content indicators. A relationship between the Total Dissolved Solids and the precipitation amount 30 days before the date of sampling (inclusive) was revealed. The trend of the value of the average annual temperature of atmospheric air is determined in respect to the territory of the Lower Don. **Conclusions.** The concentration of substances in the water inputs (the Podpolnaya and Western Manych rivers) at the outlet of drainage and waste waters from the BG-MS-6 and BG-MS-10 canals does not exceed the concentration in the background section, which indicates a natural (conditionally-natural) background of water bodies. The dynamics of mineralization indicates that the ionic composition of water bodies within the Bagaevskaya irrigation system is formed due to the input of salts by surface runoff into the composition of atmospheric moisture, as well as in the process of groundwater feed. On a more global scale (on the whole territory of the Lower Don), the geochemical background of small water bodies is influenced by a gradual increase in the average annual air temperature.

**Keywords:** water body, geochemical background, salt-forming ions, drainage waste waters, meteorological factors, precipitation, air temperature

**For citation:** Drovovozova T. I., Kirilenko A. A. Meteorological factors impact on the quality of natural water facilities on the territory of the Bagaevskaya irrigation system // Ecology and Water Management. 2021. Vol. 3, no. 4. P. 1–13. DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-4-1-13.

**Введение.** Известно [1–4], что первопричинами значительного большинства химических аномалий в природных водных объектах чаще всего являются процессы, возникающие на площади водосборных бассейнов. Обилие различных условий в пределах водных ресурсов водосборов требует исследования закономерностей формирования гидроэкологиче-

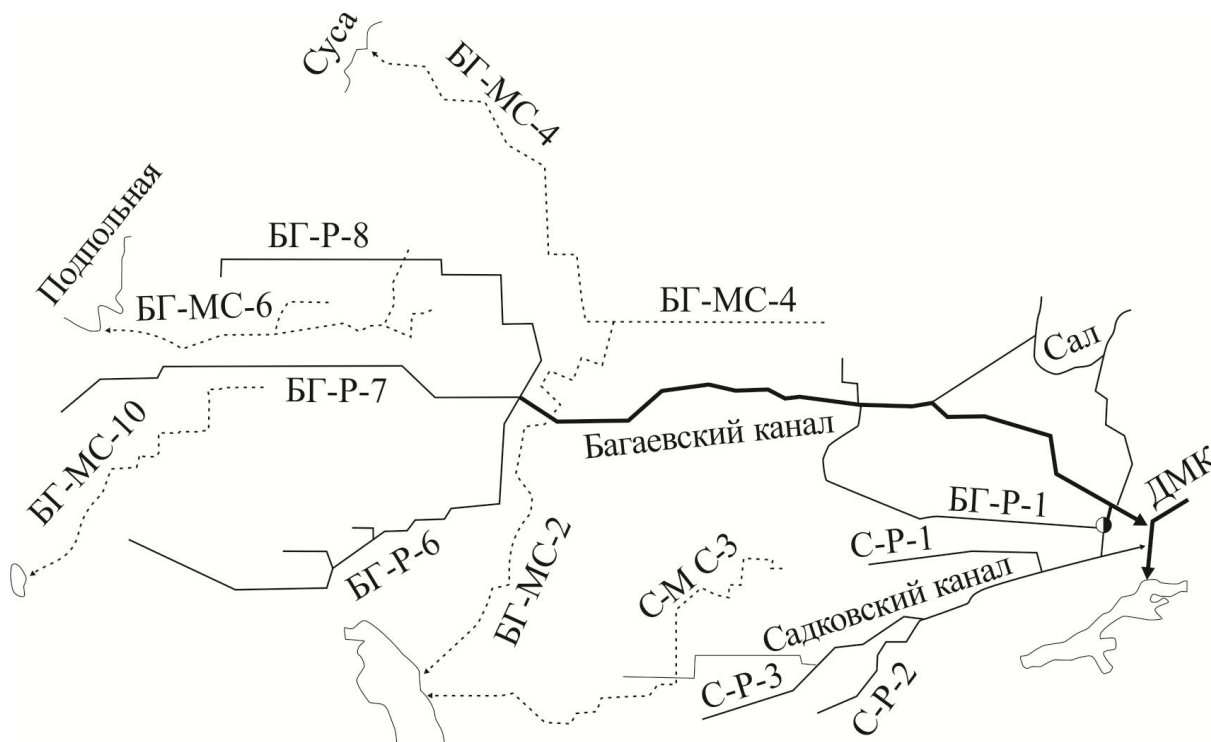
ской ситуации, а именно учета географической зональности, антропогенного воздействия ведущих отраслей региональной экономики и вклада отдельных источников сброса загрязняющих веществ при оценке качества вод по химическим показателям.

Формирование эколого-экономического «климата» на агромелиоративных ландшафтах – один из факторов, длительное воздействие которого может отразиться на ухудшении гидрохимического режима водных объектов [5–8]. Так, с 1954 г. осуществляет эксплуатацию одна из крупнейших (с общей площадью орошаемых земель 58,4 тыс. га) гидромелиоративных систем на территории Нижнего Дона – Багаевская оросительная система (БОС). Только за период с 2016 по 2019 г. объем коллекторно-дренажных вод, поступающих с системы, составил 16228,8 тыс. м<sup>3</sup>.

Анализ эксплуатации агромелиоративных систем показал, что в поливной сезон по причине фильтрации из водоемов и открытых мелиоративных каналов, а также потерь в процессе орошения наблюдается повышение уровня минерализованных грунтовых вод и, как следствие, аккумуляция в приповерхностном слое почвы легкорастворимых солей, которые в дальнейшем выносятся подземным стоком в открытую коллекторно-дренажную сеть. Кроме того, вместе с тем в сеть поступает естественный поверхностный сток, образующийся в результате выпадения атмосферных осадков и таяния снежного покрова [8]. Поэтому в практике гидроэкологических расчетов в таком случае наиболее правильным решением при долгосрочном анализе данных будет учет (помимо эколого-мелиоративных факторов) метеорологических условий.

Исходя из вышеизложенного, целью исследования является анализ влияния атмосферных осадков и температуры воздуха на формирование геохимического фона водных объектов в зоне коллекторных каналов Багаевской оросительной системы.

**Материалы и методы.** Объектом исследования является БОС, расположенная в междуречье Маныча и Сала в Семикаракорском, Веселовском и Багаевском районах Ростовской области (рисунок 1).



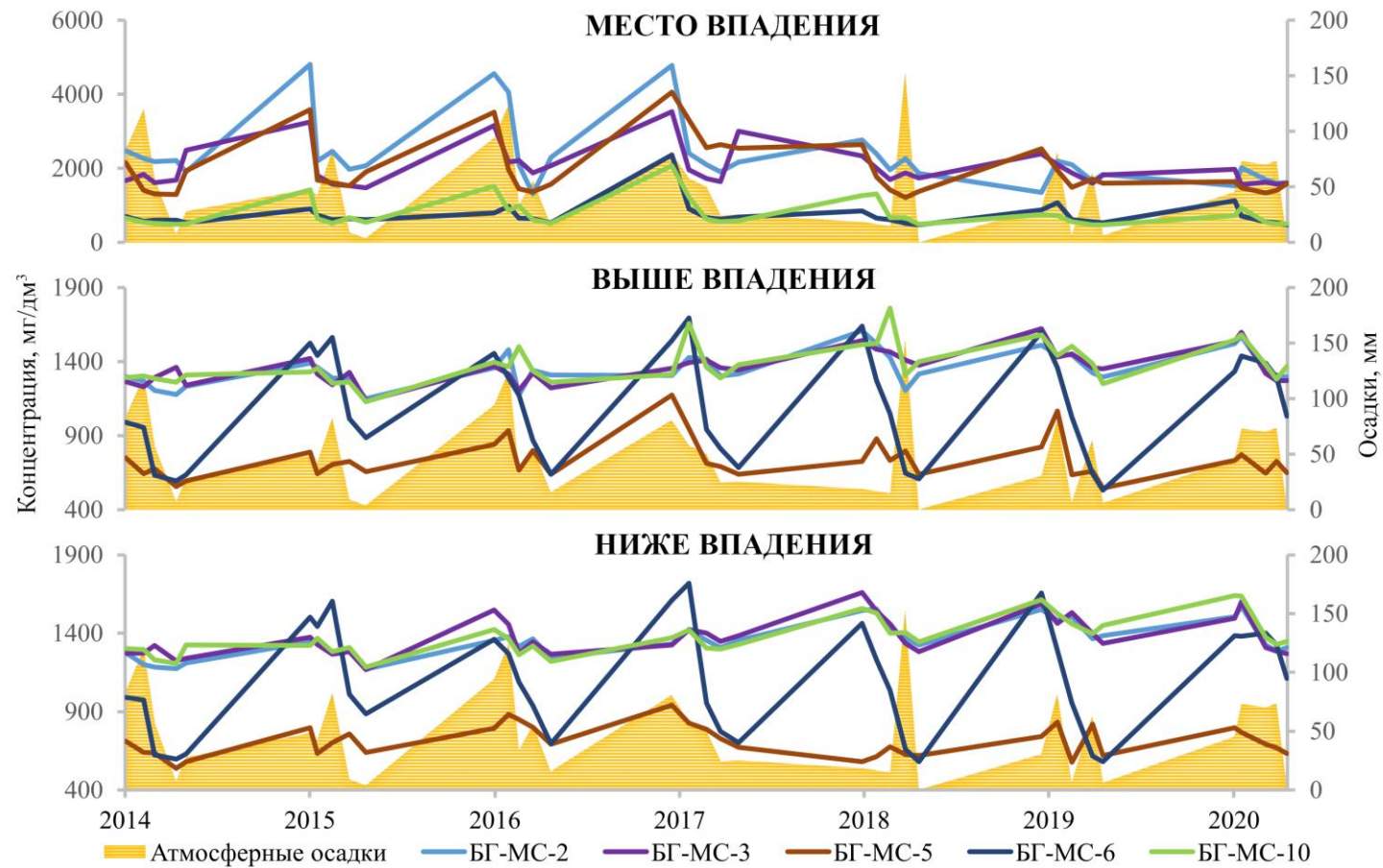
**Рисунок 1 – Багаевская и Садковская оросительные системы**  
**Figure 1 – The Bagaevskaya and Sadkovskaya irrigation systems**

Для анализа участия метеорологических условий в генезисе природных вод территории объекта исследования был использован специализированный массив данных для климатических исследований [9], представленный ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Для исследования была принята суточная сводка «ТТТР – Температура и осадки» за период 2014–2020 гг., а также месячная сводка «Температура воздуха» за период 1900–2020 гг., данные зафиксированы на ближайшей к ст. Багаевской (40 км от центра) метеостанции – «34730 Ростов-на-Дону». В качестве зависимой единицы послужили данные измерений (с мая по сентябрь 2014–2020 гг.) проб сточной и природной воды (Экоаналитическая лаборатория № РОСС RU. 0001. 511593),

а именно сумма основных солеобразующих ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), в месте впадения коллекторных каналов в водные объекты (БГ-МС-2 – лиман Смеловский, БГ-МС-3 и БГ-МС-10 – р. Западный Маныч, БГ-МС-5 – р. Дон, БГ-МС-6 – р. Подпольная), в фоновом (500–1000 м выше) и контрольном (500 м ниже по течению) створах.

**Результаты и обсуждение.** Как правило, насыщение минеральными веществами атмосферных осадков ниже, чем в природной воде, что способствует уменьшению минерализации поверхностных и части подземных вод. Однако формирование качественного состава природных вод представляет собой весьма сложный процесс, зависящий от комплекса различных направленных процессов (факторов): в верхней части разреза гидрогеосферы состав вод формируется, начиная со взаимодействия атмосферных осадков и поверхностного стока с почвенным покровом (отправным пунктом миграции химических элементов в другие компоненты ландшафта), и далее инфильтруется, растворяется и выщелачивает горные породы, смешивается с грунтовыми водами [10–12].

Для условий зоны БОС ситуация складывается таким образом, что мы просматриваем пропорциональную зависимость между величиной общей минерализации и суммой осадков за 30 дней до даты отбора пробы (включительно) (рисунок 2). Из нее следует, что повышение суммы осадков за выделенный период влечет за собой закономерное повышение минерализации и наоборот, это особенно заметно в пробах, взятых выше впадения коллекторных каналов в водные объекты. То же справедливо (характерно) и для каждого иона в отдельности за исключением локальных отклонений в динамике концентраций.

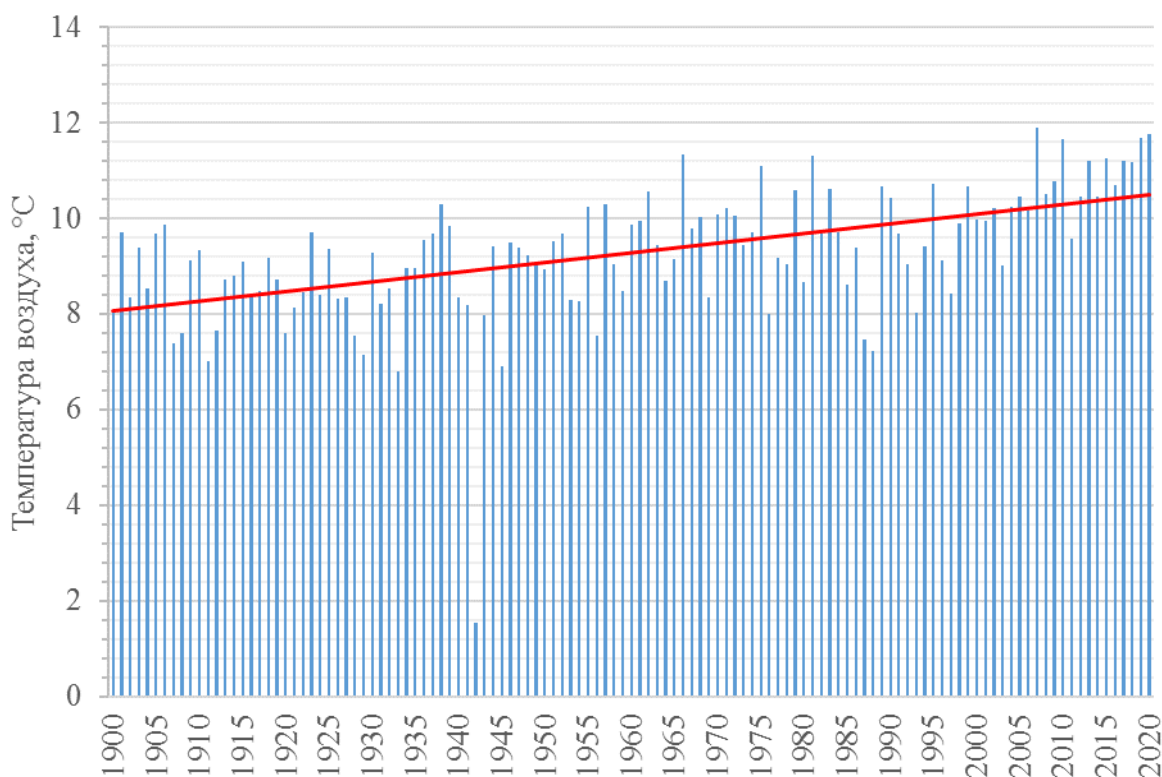


**Рисунок 2 – Динамика (2014–2020 гг.) суммы концентрации основных солеобразующих ионов в пробах воды, взятых выше, ниже и в месте впадения коллекторных каналов Багаевской оросительной системы в водные объекты, на фоне суммы атмосферных осадков за 30 дней до даты отбора пробы (включительно)**

**Figure 2 – Dynamics (2014–2020) of the sum of the main salt-forming ions concentration in water samples, taken above, below and at the confluence of the collector canals of the Bagaevskaya irrigation system into water bodies, against the background of total precipitation 30 days before the date of sampling (inclusive)**

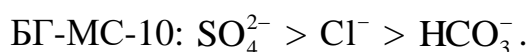
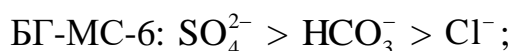
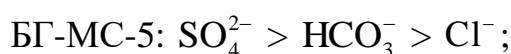
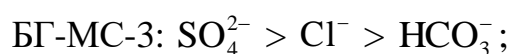
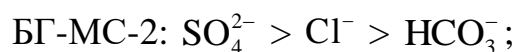
На протекании физико-химических процессов и в целом на химическом составе природных вод также в значительной мере отражаются изменения температуры атмосферного воздуха. В зоне годовых колебаний температуры всякое ее изменение оказывает значительное влияние на оттаивание и промерзание почв и пород, тем самым сказываясь на условиях питания поверхностных и грунтовых вод. В свою очередь, с повышением температуры возрастает скорость растворения солей, присутствующих в природных растворах.

Из данных рисунка 3 видно, что за период с 1900 по 2020 г. в динамике температуры атмосферного воздуха на территории Нижнего Дона прослеживается положительный тренд: рост среднегодовой температуры достигает порядка  $0,0308\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .



**Рисунок 3 – Изменение среднегодовой температуры воздуха за период с 1900 по 2020 г. (по данным метеостанции «34730 Ростов-на-Дону»)**  
**Figure 3 – Change in average annual air temperature for the period from 1900 to 2020 (according to the weather station “34730 Rostov-on-Don”)**

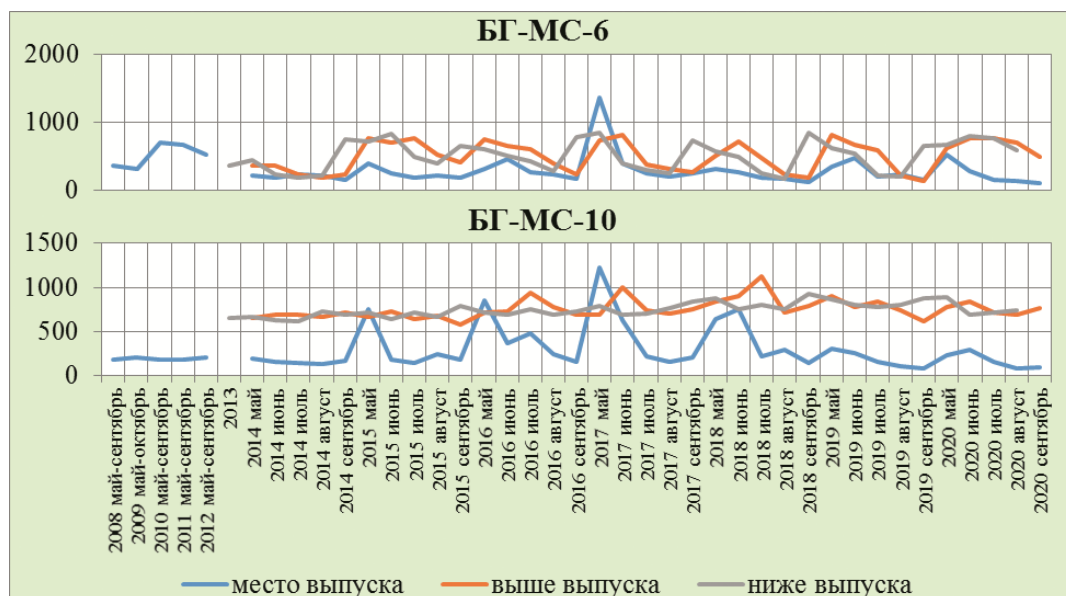
В целом химический состав водоприемников дренажно-сбросных вод из коллекторных каналов БОС относится к сульфатному классу. Наряду с ионами  $\text{SO}_4^{2-}$  доминирующими являются ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{HCO}_3^-$ . Так, для водных объектов, наряду с сезонными колебаниями в течение года, типичен следующий порядок расположения главных ионов в зависимости от приуроченности к коллекторному каналу:



Аналогичное соотношение ионов показывают результаты анализа проб воды, взятых в местах выпуска коллекторно-дренажных вод. Однако для дренажно-сбросных вод из канала БГ-МС-10 ситуация несколько иная:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ .

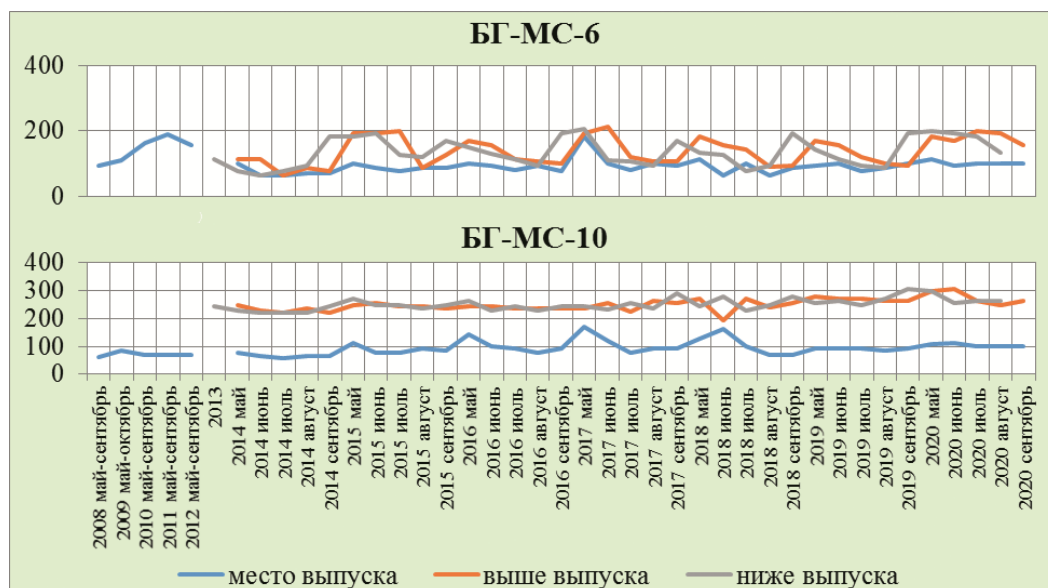
Химический анализ проб воды показал, что концентрация сульфат-ионов, хлоридов и гидрокарбонат-ионов в местах выпуска дренажно-сбросных вод относительно коллекторных каналов БГ-МС-6 и БГ-МС-10 значительно ниже (или на уровне), чем в природных водных объектах (в фоновом створе) (см. рисунки 4–6). Объяснить это можно тем, что при наличии искусственного дренажа в условиях двухсторонней гидравлической связи поверхностных и грунтовых вод слоистое строение зоны аэрации с переменным и малым коэффициентом фильтрации влечет за собой длительное взаимодействие воды с грунтами, в результате этого отмечается запаздывание выноса минеральных веществ [8].





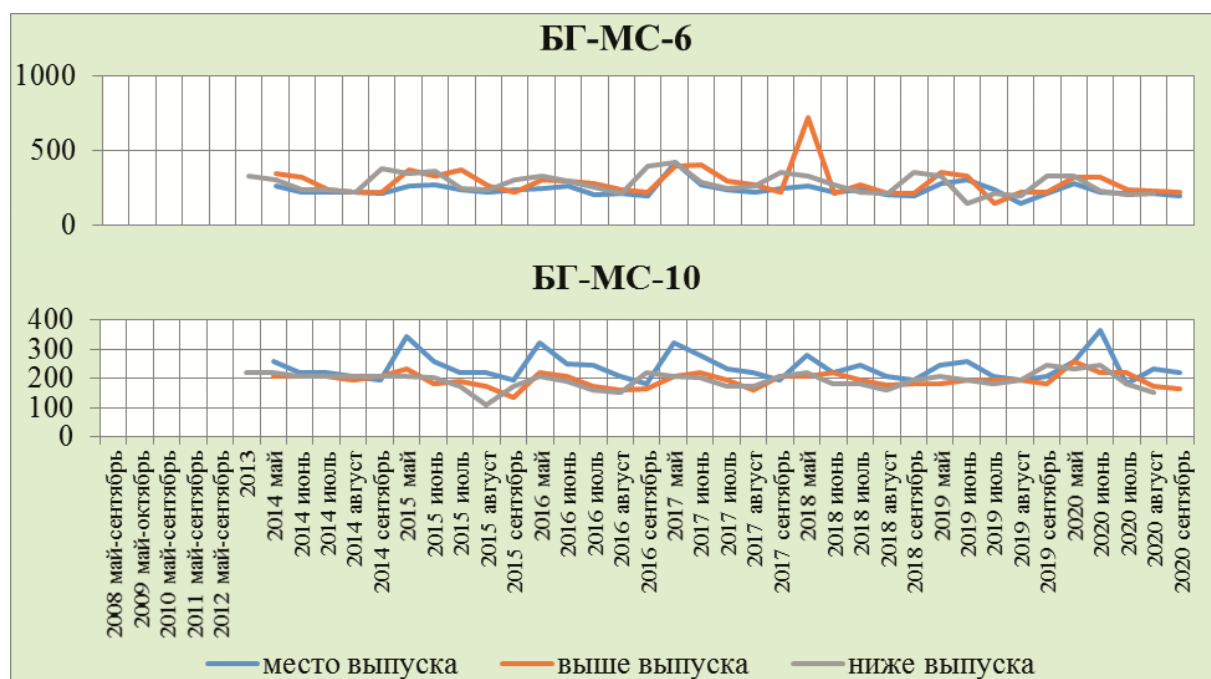
**Рисунок 4 – Динамика концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  (мг/дм<sup>3</sup>) в пробах воды, взятых в месте выпуска, выше и ниже впадения БГ-МС-6 и БГ-МС-10 в водные объекты**

**Figure 4 – Dynamics of  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration (mg/dm<sup>3</sup>) in water samples, taken at the place of release, above and below the confluence BG-MS-6 and BG-MS-10 into water bodies**



**Рисунок 5 – Динамика концентрации  $\text{Cl}^-$  (мг/дм<sup>3</sup>) в пробах воды, взятых в месте выпуска, выше и ниже впадения БГ-МС-6 и БГ-МС-10 в водные объекты**

**Figure 5 – Dynamics of  $\text{Cl}^-$  concentration (mg/dm<sup>3</sup>) in water samples, taken at the place of release, above and below the confluence BG-MS-6 and BG-MS-10 into water bodies**



**Рисунок 6 – Динамика концентрации  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{mg/dm}^3$ ) в пробах воды, взятых в месте выпуска, выше и ниже впадения БГ-МС-6 и БГ-МС-10 в водные объекты**

**Figure 6 – Dynamics of  $\text{HCO}_3^-$  concentration ( $\text{mg/dm}^3$ ) in water samples, taken at the place of release, above and below the confluence BG-MS-6 and BG-MS-10 into water bodies**

### Выводы

1 На выпуске дренажно-сбросных вод из БГ-МС-6 и БГ-МС-10 гидрохимический режим водных объектов (водоприемников) «складывается» таким образом, что концентрация  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{HCO}_3^-$  не превышает естественный (условно-естественный) фон, за исключением БГ-МС-10 по показателю гидрокарбонат-иона. Из этого следует, что концентрация веществ в р. Подпольная и Западный Маныч в пределах коллекторно-дренажной сети БГ-МС-6 и БГ-МС-10 БОС обусловлена природно-климатическими особенностями, а сезонные колебания показателя минерализации возможно объяснить процессами промывных режимов орошения и использованием пресной воды из Цимлянского водохранилища для полива.

2 Динамика минерализации (в данных условиях – зависимая от атмо-

сферных осадков, поверхностного стока и подземного питания грунтовых вод величина) показывает, что поверхностные и грунтовые воды на территории БОС имеют общий источник солевого питания – почвы и подстилающие породы. При этом ионный состав формируется за счет привноса солей поверхностным стоком в составе атмосферной влаги, а также в процессе грунтового питания (растворения пород, в состав которых входят соответствующие минералы).

3 Причиной перераспределения речного стока в пределах гидрографической сети Нижнего Дона и, соответственно, потенциального изменения естественного геохимического фона малых водных объектов, помимо регулирующего влияния Цимлянского гидроузла, является еще и «нестандартная» климатическая обстановка, выражающаяся в постепенном росте годовой температуры атмосферного воздуха.

### **Список источников**

1. Демин А. П., Зайцева А. В. Сточные воды и загрязнение водных объектов в бассейне реки Дон (1995–2018 гг.) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Пермь, 27–30 мая 2021 г. Пермь: ПГНИУ, 2021. С. 270–274.
2. Клубов С. М. Особенности применения методики оценки негативного воздействия на водные объекты для выявления основных источников загрязнения водного объекта // Земля и космос: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием к столетию акад. РАН К. Я. Кондратьева, г. Санкт-Петербург, 20–21 окт. 2020 г. СПб., 2020. С. 54–56.
3. Фашевская Т. Б., Полянин В. О., Кирпичникова Н. В. Диффузное загрязнение водных объектов: источники, мониторинг, водоохранные мероприятия / под ред. В. И. Данилова-Данильяна. М.: Студия Ф1, 2020. 171 с.
4. Веницианов Е. В., Сконечный М. С. Регулирование диффузного загрязнения водных объектов (опыт стран ЕС) // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. № 3(159). С. 64–71.
5. 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: 28.09.2021).
6. Дрововозова Т. И., Паненко Н. Н. Экологическое состояние малых рек Ростовской области // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2019. № 1(1). С. 1–17. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=11> (дата обращения: 28.09.2021).
7. Дрововозова Т. И., Манжина С. А. Экологическая оценка состояния малых

водных объектов в зоне влияния гидромелиоративных систем // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2019. № 3(3). С. 14–26. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=35> (дата обращения: 28.09.2021).

8. Дрововозова Т. И., Кириленко А. А. Проблема «солевого загрязнения» природных вод Ростовской области, приуроченных к орошаемому массиву // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2021. Т. 3, № 3. С. 55–71. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=122> (дата обращения: 28.09.2021).

9. Специализированные массивы для климатических исследований [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (дата обращения: 28.09.2021).

10. Вернадский В. И. История природных вод. М.: Наука, 2003. 751 с.

11. Helgeson H. C. Evolution of irreversible reactions in geochemical processes involving minerals and aqueous // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1968. Vol. 32, № 8. P. 853–877.

12. Перельман А. И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 152 с.

## References

1. Demin A.P., Zaitseva A.V., 2021. *Stochnye vody i zagryaznenie vodnykh ob"ektov v bassejne reki Don (1995–2018 gg.)* [Waste water and pollution of water bodies in the Don river basin (1995–2018)]. *Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov: tr. VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Modern Problems of Reservoirs and Their Catchments: Proc. of the VIII All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation]. Perm State National Research University, pp. 270–274. (In Russian).

2. Klubov S.M., 2020. *Osobennosti primeneniya metodiki otsenki negativnogo vozdeystviya na vodnye ob"ekty dlya vyyavleniya osnovnykh istochnikov zagryazneniya vodnogo ob"ekta* [Features of the application of the technique for assessing the negative impact on water bodies to identify the main sources of their pollution]. *Zemlya i kosmos: sb. materialov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem k stoletiyu akad. RAN K. Ya. Kondrat'eva* [Earth and Space: Proc. of the All-Russian Scientific Conference with International Participation to the Centenary of Academician RAS K.Ya. Kondrat'ev]. St. Petersburg, pp. 54–56. (In Russian).

3. Fashchevskaya T.B., Polyanin V.O., Kirpichnikova N.V., 2020. *Diffuznoe zagryaznenie vodnykh ob"ektov: istochniki, monitoring, vodookhrannye meropriyatiya* [Diffuse Pollution of Water Bodies: Sources, Monitoring, Water Protection Measures]. Moscow, Studio F1 Publ., 171 p. (In Russian).

4. Venitsianov E.V., Skonechny M.S., 2021. *Regulirovanie diffuznogo zagryazneniya vodnykh ob"ektov (opyt stran YES)* [Regulation of diffuse pollution of water bodies (experience of EU countries)]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water Purification. Water Treatment. Water Supply], no. 3(159), pp. 64–71. (In Russian).

5. Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2016. [Modeling and evaluation of pollutant input into the collector-drainage runoff]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(22), pp. 112–127, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1084> [accessed 28.09.2021]. (In Russian).

6. Drovovozova T.I., Panenko N.N., 2019. [Ecological state of small rivers in Rostov region]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 1(1), pp. 1–17, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=11> [accessed 28.09.2021]. (In Russian).

7. Drovovozova T.I., Manzhina S.A., 2019. [Environmental assessment of minor water object state in the zone of hydro reclamation influence]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 3(3), pp. 14–26, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=35> [accessed 28.09.2021]. (In Russian).

8. Drovovozova T.I., Kirilenko A.A., 2021. [The problem of “saline contamination” of natural waters of Rostov region, confined to the irrigated area]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 3, no. 3, pp. 55-71, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=122> [accessed 28.09.2021]. (In Russian).

9. *Spetsializirovannye massivy dlya klimaticheskikh issledovaniy* [Specialized arrays for climate research], available: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> [accessed 28.09.2021]. (In Russian).

10. Vernadsky V.I., 2003. *Istoriya prirodnikh vod* [History of Natural Waters]. Moscow, Nauka Publ., 751 p. (In Russian).

11. Helgeson H.C., 1968. Evolution of irreversible reactions in geochemical processes involving minerals and aqueous. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 32, no. 8, pp. 853-877.

12. Perelman A.I., 1982. *Geokhimiya prirodnikh vod* [Geochemistry of Natural Waters]. Moscow, Nauka Publ., 152 p. (In Russian).

---

### ***Информация об авторах***

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

**А. А. Кириленко** – аспирант, младший научный сотрудник.

### ***Information about the authors***

**T. I. Drovovozova** – Chief at the Department of Nature Management Ecological Technologies, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

**A. A. Kirilenko** – Postgraduate Student, Junior Researcher.

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

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

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interest.*

*Статья поступила в редакцию 30.11.2021; одобрена после рецензирования 17.12.2021; принята к публикации 21.12.2021.*

*The article was submitted 30.11.2021; approved after reviewing 17.12.2021; accepted for publication 21.12.2021.*