НАУКА ЮГА РОССИИ 2023 Т. 19 № 4 С. 93–102
SCIENCE IN THE SOUTH OF RUSSIA 2023 VOL. 19 No 4 P. 93–102

БИОЛОГИЯ

УДК 551.465+551.506+574.52
DOI: 10.7868/S25000640230409

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РЫБОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ

© 2023 г. Академик Г.Г. Матишов[1, 2], К.С. Григоренко[1], М.В. Коваленко[1], Е.Н. Пономарева[1]

Аннотация. В последние несколько лет в рыбоводческую деятельность вовлекается все большее количество малых и средних фермерских хозяйств. При этом в качестве источника воды как одного из самых важных критериев успешности хозяйств все чаще используются грунтовые, подземные воды и водоемы карьерного типа, гидрохимический состав которых заметно отличается от стандартных, рекомендованных для использования в аквакультуре в общем и в рыбоводстве в частности. Для определения химического состава вод в Ростовской области, в бассейне р. Дон, отобраны пробы 17 и 19 мая 2023 г. В районах рыборазведения набраны образцы воды с целью определения содержания солей, негативно сказывающихся на развитии рыбы. В число исследуемых водоемов вошли Соленое озеро рыбохозяйственного комплекса «Дон-Батюшка» (г. Батайск), обводненный карьер общества с ограниченной ответственностью «ОФИ» (с. Кулешовка), пруды в с. Отрадовка, а также подземные воды из скважины в с. Орловка (Азовский район). Проведено сравнение используемых в хозяйстве вод с образцами, ранее отобранными в скважинах с. Кагальник и с. Займо-Обрыв. Образцы вод отобраны из подземных источников острова Свиного, а также из природных водоемов – рек и прудов (р. Ея). Проведено сравнение химического состава вод рыбохозяйственного назначения и вод подземных источников, а также рек Дон и Кагальник при разной гидрометеорологической обстановке.

При проведении исследований гидрохимического состава воды обнаружено превышение требований по показателям качества воды при разведении и выращивании осетровых практически по всем основным показателям. Содержание некоторых соединений, например таких, как сульфат-ион (SO_4^{2-}), в грунтовых водах может достигать более 62,5 % (14–62,9 %) от общей минерализации воды, в ряде случаев количество сульфат-ионов более чем в 70 раз превышает рекомендуемую норму. Добавление в технологическую схему систем с оборотным водоснабжением станций обратного осмоса помогает снизить негативный эффект от избыточной минерализации вод.

Ключевые слова: рыбоводство, грунтовые воды, гидрохимический состав, минерализация, физиология рыб.

HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER AND ITS APPLICATION IN FISH FARMS

Academician RAS G.G. Matishov[1, 2], K.S. Grigorenko[1], M.V. Kovalenko[1], E.N. Ponomareva[1]

Abstract. In the last few years, an increasing number of small and medium-sized farms have been involved in fish farming. At the same time, groundwater, deep underground water, and other reservoirs (quarry type) are increasingly used as a water source, which is one of the most important criteria for the success of farms. However, the hydrochemical composition of such water sources differs markedly from the standard ones recommended for use in aquaculture in general and in fish farming in particular.

[1] Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

[2] Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17

To determine the chemical composition of waters in the Don river basin, samples were taken on the 17th and 19th of May, 2023. Water samples were collected in the fish breeding areas in order to determine the content of salts that adversely affect the development of fish. The studied reservoirs included the Solenoe Lake of the Don-Batyushka fishery complex (Bataysk), LLC OFI flooded quarry (Kuleshovka), ponds in Otradovka and groundwater from a well in the village of Orlovka (Azov district). Waters used in the fishery farms were compared with samples previously selected by the SSC RAS specialists in the wells of the villages Kagalnik and Zaymo-Obryv. New water samples were taken from underground sources of Svinoy Island, as well as natural reservoirs – rivers and ponds (Eya River). The paper compares the chemical composition of fishery waters with the waters of underground sources, as well as the Don and Kagalnik rivers under different hydrometeorological conditions.

In the conducted studies of the hydrochemical composition of water, an excess of the requirements for water quality in breeding and growing sturgeon is shown in almost all the main indicators. Some compounds, such as sulfate ion (SO_4^{2-}) in groundwater can reach more than 62.5% (14–62.9%) of the total mineralization of water, in some cases the amount of sulfate ions is more than 70 times higher than the recommended norm. The addition of reverse osmosis stations in the early stages of development to the technological scheme of systems with circulating water supply helps to reduce the negative effect.

Keywords: fish farming, groundwater, hydrochemical composition, mineralization, fish physiology.

ВВЕДЕНИЕ

Отечественное рыбоводство в реальной практике осуществляется в морских и пресноводных водоемах [1; 2]. В морской среде (соленость 33–35 ‰) выращивают морских и проходных рыб (семга, треска), моллюсков, макрофитов. В наземных водоемах – озерах, водохранилищах, реках – культивирование рыб производят в пресных водах с соленостью 0,5–2 ‰. В последние годы стали предприниматься попытки выращивания рыб и ракообразных с использованием грунтовых (подземных) вод с минерализацией 3–7 г/л. В целом состав воды не является летальным при содержании рыбы, однако если создадутся определенные условия, то возможна гибель как сеголеток, так и взрослых рыб разных видов. В ряде публикаций [3–5] высокая минерализация указана как негативный фактор для развития репродуктивной системы рыб и инкубации икры.

Грунтовыми водами называют находящиеся в первом от поверхности водопроницаемом слое и подстилающиеся первым водоупорным слоем [6]. На формирование водоносного пласта влияют сезонные осадки, испарения, паводки, половодье, температура воздуха, поверхностные воды и общие зональные физико-географические особенности. Важно иметь представление о взаимосвязи между водоносными горизонтами и реками.

С развитием товарной аквакультуры в нашей стране и повышенным вниманием к данной отрасли рыбного хозяйства все больше людей (личные подсобные хозяйства, как малые, так и средние) вовлекается в процессы создания новых ферм, перезапуска и оптимизации имеющихся аквахозяйств, а также поисков новых территорий для расширения бизнеса. Это приводит к тому, что в аквакультуре используются специфические водоисточники – подземные скважины, грунтовые воды карьерных выработок, воды шахтного происхождения и т.п.

Как правило, основным агрессивным фактором в грунтовых водах является повышенное содержание двухвалентного железа, ионов аммония, нитрит-ионов (реже нитрат-ионов), хлорид-ионов, сульфат-ионов. Кроме того, в ряде районов тяжелые металлы могут содержаться непосредственно в скважинных источниках или в реках, питающихся такими грунтовыми водами [7]. В Восточном Донбассе содержание макрокомпонентов и общие показатели качества речных вод в отдельных створах (осень 2014 г.) указывает на преобладание сульфат-ионов (SO_4^{2-}). Их концентрация в основном составляла 260–700 мг/л, в отдельных случаях достигая 1000–1500 мг/л [8].

По данным работы [9], повышение минерализации с 2 до 5,45 г/л в лабораторных исследованиях приводило к резкому снижению выживаемости толстолобика. Выживаемость личинок в опытах по влиянию минерализации на рост и развитие эмбрионов и личинок рыб снижалась до 50 % по мере повышения минерализации. Стоит отметить, что минерализация в естественной среде может быть гораздо более высокой, чем в опытах, но в естественной среде возможна адаптация к неблагоприятным условиям или поиск рыбой более подходящих мест для нереста. Повышенная минерализация совместно с щелочным и слабощелочным значени-

ем кислотности воды способствует образованию более тонких и менее прочных оболочек у развивающейся икры [10]. Это необходимо учитывать в условиях воспроизводства, например, пеляди в аквакультуре. Отдельные исследователи [11] отмечали, что мальки карпа и пескаря без ущерба переносили растворы хлорида кальция в концентрации до 362 мг/л, мальки верховки – до 1086 мг/л, хирономиды, олигохеты, циклопы – до 724 мг/л, дафнии – до 90–181 мг/л, речная перловица – до 1448 мг/л. Для получения потомства пресноводных рыб, ареал которых не выходит за пределы пресных озер и рек, а также нагуливающихся в приустьевых пространствах, наиболее пригодна вода с минерализацией, не превышающей 1 г/л. Во многих литературных источниках и справочниках для рыбоводства имеются данные граничных значений солености для товарного выращивания объектов аквакультуры. Например, карп, толстолобик, белый амур, стерлядь выдерживают соленость до 4–6 г/л, лещ, сазан, судак, осетровые – до 10–12 г/л, пелядь, сиги, белуга, канальный сом, калуга – до 16–18 г/л, лососи и угорь – до 30–36 г/л, пределы солености для кефали и камбалы от 18 до 36 г/л. Зеркальный карп, растительноядные рыбы могут выдерживать минерализацию до 4 г/л. Существующие данные подтверждают, что зеркальный карп может выносить искусственную солоноватую воду и искусственную морскую воду с минерализацией до 3–4 г/л без видимых изменений в течение раннего онтогенеза [3; 9].

Круглогодичное выращивание радужной форели в мелиоративных прудах с использованием минерализованных подземных вод показало хорошие результаты, высокие рост и выживаемость объектов даже при превышении предельно допустимых концентраций растворенных солей [5].

Многолетние исследования специалистов СибрыбНИИпроекта (ФГБНУ «Госрыбцентр») показали, что приоритетными для рыборазведения являются воды с минерализацией до 5,8 г/дм^3 [5]. В сочетании с речными или озерными маломинерализованными водами эксплуатация теплых солоноватых вод позволяет интенсифицировать технологию воспроизводства и выращивания ценных видов рыб, таких как осетровые, лососевые, растительноядные, карп, клариевый сом, тиляпия и некоторые другие.

В работе поставлена задача изучить, насколько доступные природные водные ресурсы Ростовской области подходят для аквакультуры.

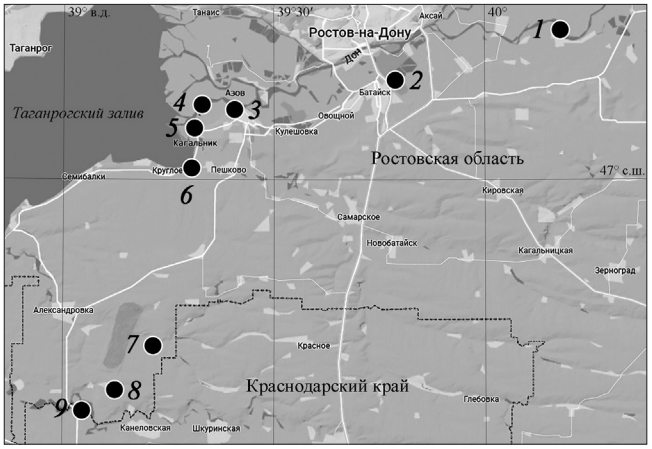


Рис. 1. Картосхема распределения хозяйств рыбоводства и отбора проб воды: *1* – х. Арпачин, *2* – Батайск, *3* – Азов, *4* – р. Дон, лоцпост, *5* – с. Кагальник, *6* – с. Займо-Обрыв, *7* – с. Орловка, *8* – с. Отрадовка, *9* – р. Ея.

Fig. 1. Map of the distribution of fish farms and water sampling: *1* – Arpachin village, *2* – Bataysk, *3* – Azov, *4* – Don River, pilot post, *5* – Kagalnik village, *6* – Zaymo-Obryv village, *7* – Orlovka village, *8* – Otradovka village, *9* – Eya River.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На протяжении ряда лет проводилось определение гидрохимического состава водных объектов в бассейне р. Дон (Ростовская область). В р. Дон пробы были отобраны 14.02.2021 г., 17 и 19.05.2023 г. В х. Арпачин (Багаевский район) (рис. 1) исследования проведены 17 и 19.05.2023 г. в точках «озеро» и «канал».

В районах рыборазведения отобраны образцы воды с целью определения содержания солей, негативно сказывающихся на развитии рыбы. В число исследуемых водоемов вошли Соленое озеро рыбохозяйственного комплекса «Дон-Батюшка», (г. Батайск), обводненный карьер общества с ограниченной ответственностью «ОФИ» (с. Кулешов-

Рис. 2. Садки рыборазведения ООО «ОФИ» в районе с. Кулешовка.

Fig. 2. Fish breeding cages in Limited Liability Company “OFI”, Kuleshovka village.

ка) (рис. 2), пруды с. Отрадовка, а также подземные воды из скважины в с. Орловка (Азовский район).

Результаты проведенного специалистами Южного научного центра Российской академии наук (г. Ростов-на-Дону) сравнения используемых для целей рыбоводства и аквакультуры вод, отобранных в разных местах Ростовской области, показаны в таблице 1.

Проведено сравнение химического состава вод рыбохозяйственного назначения и вод подземных источников, а также рек Дон и Кагальник при разной гидрометеорологической обстановке. Минерализация вод измерена Е.Г. Алёшиной в лабораторных условиях. Все материалы классифицированы по концентрации основных ионов, исследуемых в природных водах: катионов – $Na^+ + K^+$ (натрий- и калий-ионы), Ca^{2+} (кальций-ионы), Mg^{2+} (магний-ионы) и анионов – $SO4^{2-}$ (сульфат-ионы), Cl^- (хлорид-ионы), HCO_3^- (гидрокарбонат-ионы), – и жесткости воды. Пробы отобраны Г.Г. Матишовым, М.М. Чехой.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Особенности гидрохимического состава грунтовых вод. Представленный ионный состав воды для содержания и выращивания рыбы вызывает опасения в связи с негативным влиянием на здоровье рыб. Требования к качеству воды при разведении и выращивании осетровых рыб приведены в таблице 2. Практически по всем показателям зафиксировано значительное превышение нормативных значений химических соединений. Так, особенно превышено содержание хлорид-ионов и сульфат-ионов, а также в целом минерализация воды, жесткость как в канале, так и в озере х. Арпачин.

Анализ гидрометеоданных за полтора века показывает, что Приазовье находится в условиях дефицита водных ресурсов, отсутствия половодья, исключительно большого испарения и засухи [12]. Преобладание устойчивых антициклонов приводит к сильным восточным ветрам-суховеям. В условиях маловодья, малоснежья в степной зоне малые реки Ея, Чумбурка, Кагальник, Сал и другие стали мелеть, заболачиваться. Способствовало этому явлению сооружение запруд, дамб, рыбхозов и т.п. Современные исследования воды степных рек (рис. 1, 3) показывают заполнение их русел и примыкающих прудов, ставков и т.п. минерализованными грунтовыми водами. Степень их солености варьирует от 3 до 7 г/л. Такие слабосоленые и солоноватые воды в Азовском море типичны для акваторий Ейска – косы Кривой.

Для ионного состава грунтовых вод в бассейнах степных рек типично высокое содержание SO_4^{2-} (сульфат-ионов) – от 1400–2600 до 3200–3600 мг/л. Данный химический элемент образует основу минерализации водоемов Приазовья. На втором плане в гидрохимическом спектре ионов стоит $Na^+ + K^+$ (натрий-, калий-ионы) в количестве 500–1230 мл/л, затем HCO_3^- (гидрокарбонат-ионы) до 400–600 мг/л (табл. 1).

Для сравнения были сделаны измерения минерализации вод в рукавах (протоках) р. Дон: в судоходном канале (фарватер), у х. Колузаево и в других местах. На тот момент минерализация воды составляла порядка 1,4 г/л. Одновременно питьевая вода в селах Отрадовка и Кагальник имела солей 0,7–1 г/л.

Особенности и география аквахозяйств на грунтовых водах. Рыбоводство на грунтовых водах на юге европейской части страны в настоящее время ограничено. В степной зоне Приазовья воду из скважин или из прудов на поверхности применяют в с. Орловка, в х. Арпачин, в районе Батайска (рыбохозяйственный комплекс «Дон-Батюшка») и в других местах.

Большая часть проб имеет выраженный натриево-сульфатный состав и минерализацию 3–5 г/л. Целенаправленно отобраны пробы воды в аквахозяйстве (озеро и пруд) в районе х. Арпачин. Воды из озера и пруда имеют минерализацию 3,1 и 3,4 г/л соответственно (слабосолоноватые воды). Канал заполнен солоноватыми водами (5,5 г/л). Ионный состав всех проб отличается от донского. Для речного стока Дона характерно близкое содержание гидрокарбонатов и сульфатов (около 40 %), пониженное количество хлоридов (около 20 %). Для нижнего течения р. Дон характерна минерализация около 1 г/л. В рассматриваемых образцах из рыбного хозяйства х. Арпачин отмечено преобладание сульфат-ионов (около 70 %).

В группе катионов в пробах из х. Арпачин и из Дона имеются заметные отличия. В водах Дона суммарное содержание ионов натрия и калия составляет около 50 %, кальций-иона около 30 %, остальное содержание приходится на магний. В ряде проб отмечено преобладание кальция. В пробах, отобранных в районе х. Арпачин, более 60 % $Na^+ + K^+$. Ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} примерно равное количество, по 14–19 %. Анализ ионного состава позволяет сделать вывод об активном питании рассматриваемых водоемов за счет подземных натриево-сульфатных

Таблица 1. Ионный состав отобранных проб воды
Table 1. Ionic composition of selected water samples

Дата и место отбора Date and place of sampling	HCO_3^- (гидрокарбонат-ионы), мг/дм^3 (bicarbonate ions), mg/dm^3	SO_4^{2-} (сульфат-ионы), мг/дм^3 (sulfate ions), mg/dm^3	Cl^- (хлорид-ионы), мг/л (chloride ions), mg/l	Ca^{2+} (кальций-ионы), мг/дм^3 (calcium ions), mg/dm^3	Mg^{2+} (магний-ионы), мг/дм^3 (magnesium ions), mg/dm^3	$Na^+ + K^+$ (натрий + калий-ионы), мг/дм^3 (sodium + potassium ions), mg/dm^3	Жесткость, мг-экв/л Hardness, mg-eq/l	Минерализация, г/л Mineralization, g/l
06.03.2018 Село Кагальник, скважина Kagalnik village, borehole	744	488	1105	521	180	3267		3,3
16.08.2011 Село Займо-Обрыв, скважина Zaymo-Obryv village, borehole	393	1249	319	216	127	506		2,8
02.08.2022 Село Орловка, скважина, после очистки Orlovka village, borehole, after cleaning	378,3	53	148,9	412,8	150,8	760		4,40
16.06.2023 Село Кагальник, колодец Kagalnik village, well	595,6	768,5	361,6	244,5	51,1	489	16	2,51
25.05.2022 Батайск, «Дон-Батюшка», садок, поверхность Bataysk, “Don-Batyushka”, cage, surface	312,4	1873,2	850,8	180,4	177,5	1113	24	4,5
25.05.2022 Батайск, «Дон-Батюшка», садок, дно Bataysk, “Don-Batyushka”, cage, bottom	314,9	1873,2	886,3	204,4	162,9	1139	24	4,6
25.05.2022 Батайск, «Дон-Батюшка», возле берега Bataysk, “Don-Batyushka”, near the shore	292,9	1825,1	850,8	192,4	165,4	1090	23	4,4
02.08.2022 Село Орловка, бассейн с личинками осетровых, после очистки / Orlovka village, a pool with sturgeon larvae, after cleaning	405,2	50	134,7	436,9	197	561		4,14
19.05.2023 Хутор Арпачин, озеро Arpachin village, lake	229,4	1392,9	478,6	180,4	158,1	606,5	22	3,05
19.05.2023 Хутор Арпачин, канал Arpachin village, channel	507,7	2593,6	673,6	320,6	243,2	1133	36	5,47
17.05.2023 Хутор Арпачин, пруд Arpachin village, pond	217,2	1633	460,9	192,384	175,1	664	24	3,34

Окончание табл. 1

Дата и место отбора Date and place of sampling	HCO_3^- (гидрокарбонат-ионы), мг/дм^3 (bicarbonate ions), mg/dm^3	SO_4^{2-} (сульфат-ионы), мг/дм^3 (sulfate ions), mg/dm^3	Cl′ (хлорид-ионы), мг/л (chloride ions), mg/l	Ca^{2+} (кальций-ионы), мг/дм^3 (calcium ions), mg/dm^3	Mg^{2+} (магний-ионы), мг/дм^3 (magnesium ions), mg/dm^3	$Na^+ + K^+$ (натрий + калий-ионы), мг/дм^3 (sodium + potassium ions), mg/dm^3	Жесткость, мг-экв/л Hardness, mg-eq/l	Минерализация, г/л Mineralization, g/l
11.01.2023 Протока Кривое, уровень воды 50 см Krivoe anabranch, water level 50 cm	751,8	1392,9	2375	320,6	194,6	1908		6,9
11.01.2023 Река Кагальник, уровень воды 50 см, Kagalnik River, water level 50 cm	522,3	2593,6	1666,2	320,6	255,4	1814	37	7,1
14.06.2023 Река Ея Yeya River	476	3554,2	368,7	276,6	355,1	1230	43	6,26
14.06.2023 Село Отрадовка, пруд, Otradovka village, pond	244,1	3218,0	170,2	320,6	316,2	845	42	5,11
16.06.2023 Остров Свиной, ферма, колодец Svinoy island, farm, well	270,9	345,8	148,9	92,2	63,2	151	9,8	1,07
16.06.2023 Река Дон, канал-фарватер возле лоцпоста Don River, channel-fairway near the pilot station	258,7	614,8	148,9	232,5	73	91	17,6	1,42
14.02.2021 Азов, Западный микрорайон, водопроводная вода, нагон 300 см / Azov, Zapadnyy microdistrict, tap water, 300 cm surge	258,7	1104,7	3757,7	160,3	291,8	2531	32	8,1
14.06.2023 Село Отрадовка, вода питьевая водопроводная из Ейского водовода / Otradovka village, drinking tap water from the Yeisk water conduit	361,2	86,5	99,3	5,6	7,8	240	0,9	0,80
2.08.2022 Село Орловка, водопроводная вода Orlovka village, tap water	<0,1					489	18	
2.08.2022 Село Орловка, водопроводная вода Orlovka village, tap water	<0,1					1077	38	

Таблица 2. Требования к качеству воды при разведении и выращивании осетровых рыб
Table 2. Water quality requirements for sturgeon breeding and rearing

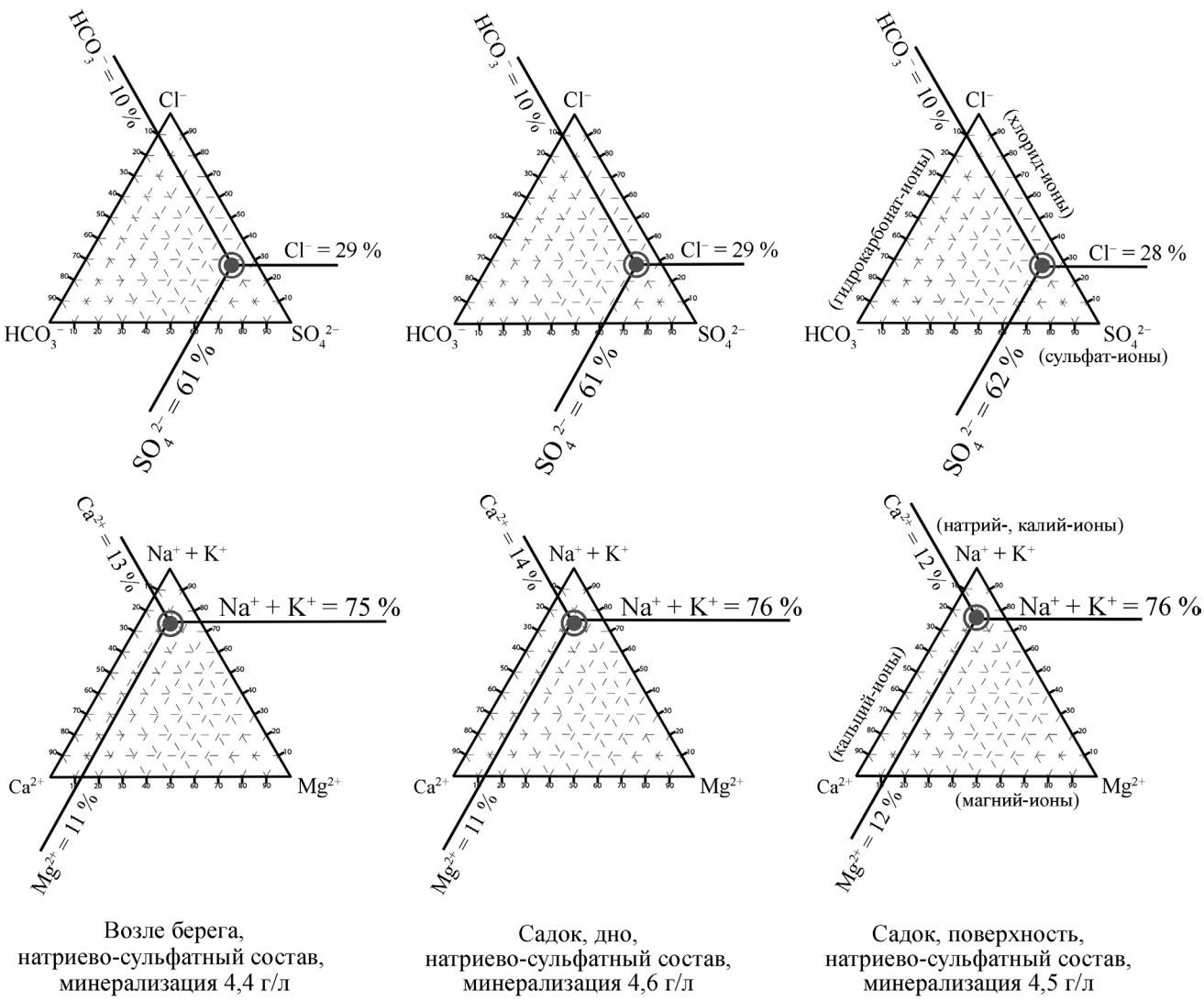
Показатель Parameter	ПДК Maximum permissible concentration
Прозрачность / Transparency	30 см / 30 cm
Цветность / Chromaticity	30°
pH	7,0–8,0
Углекислота свободная (CO_2) / Free carbon dioxide (CO_2)	10,0 мг/л / 10.0 mg/l
Кислород растворенный / Dissolved oxygen	4,0 мг/л / 4.0 mg/l
Окисляемость перманганатная / Oxidability permanganate	10,0 мг O_2/л / 10.0 mg O_2/l
Сероводород / Hydrogen Sulfide	0,002 мг/л / 0.002 mg/l
Кальций / Calcium	180 мг/л / 180 mg/l
Магний / Magnesium	40 мг/л / 40 mg/l
Кадмий / Cadmium	0,003 мг/л / 0.003 mg/l
Железо / Iron	0,01 мг/л / 0.01 mg/l
Свинец / Lead	0,003 мг/л / 0.003 mg/l
Цинк / Zinc	0,03 мг/л / 0.03 mg/l
Натрий + калий / Sodium + Potassium	120 + 50 мг/л / 120 + 50 mg/l
Хлориды / Chlorides	30 мг/л / 30 mg/l
Сульфаты / Sulfates	50 мг/л / mg/l
Фосфаты / Phosphates	0,3 мг/л / 0.3 mg/l
Гидрокарбонаты (щелочность) Bicarbonates (alkalinity)	7,0–8,0 мг экв/л, 1,0–5,0 ммоль/л / 7.0–8.0 mg-eq/l, 1.0–5.0 mmol/l
Аммоний (NH_4^+) / Ammonium (NH_4^+)	0,5 мг/л / 0.5 mg/l
Аммиак (NH_3) / Ammonia (NH_3)	0,003 мг/л / 0.003 mg/l
Азот нитритов / Nitrogen Nitrite	0,1 мг/л (мягкая вода) / 0.1 mg/l (soft water) 0,2 мг/л (жесткая вода) / 0.2 mg/l (hard water)
Азот нитратов / Nitrogen Nitrate	1,0 мг/л / 1.0 mg/l
Жесткость общая / General hardness	6,0–8,0 мг/л / 6.0–8.0 mg/l
Биохимическая потребность в кислороде (БПК5) Biochemical oxygen demand (BOD5)	2,0 мг O_2/л / 2.0 mg O_2/l
Взвешенные вещества / Suspended solids	10,0 мг/л / 10.0 mg/l

источников. Аналогичный ионный состав характерен для подземных горизонтов, питающих малую реку Кагальник.

Выделяются химическим составом воды из рыбоводного пруда в с. Кулешовка («Органик фудс инвестмент», разведение осетровых). В водоеме очень высокая общая минерализация, почти 9 г/л. Такие значения характерны для Азовского моря в районе г. Ейска. Концентрация сульфат-ионов (2113,3 мг/л) близкая к показателям других проб (г. Батайск, х. Арпачин, воды р. Кагальник при сгонах), а также соответствует региональным оценкам [7]. Одновременно в пробе очень высокое содержание хлоридов – более 3000 мг/л. Такие значения в дельте Дона характерны только в периоды сильных ветровых нагонов, когда водотоки заполняются морскими водами. Предстоит выяснить, связана ли повышенная доля хлоридов с нагонными явлениями или в этом районе поймы Дона происходит разгрузка подземных вод с другим типом минерализации.

Особенности в системе водоснабжения и водоподготовки в рыбоводном хозяйстве в с. Орловка [13]. В качестве источника воды используется скважина на территории комплекса. Она располагается в степной зоне, глубина скважины 40 м (на глубине 60 м отмечен сероводород). Гидрохимический (ионный) состав воды представлен в таблице 1. Ионный состав воды характерен для грунтовых вод южного берега дельты Дона. Имеются различия в содержании главных ионов по сравнению с водами р. Кагальник, которые преимущественно заполняют гирло Свиное дельты Дона.

Среди группы анионов преобладают гидрокарбонат-ионы (378,3 мг/л из скважины и 405,2 мг/л непосредственно в бассейне с молодью осетровых). Содержание хлоридов (порядка 150 мг/л)



Возле берега,
натриево-сульфатный состав,
минерализация 4,4 г/л

Садок, дно,
натриево-сульфатный состав,
минерализация 4,6 г/л

Садок, поверхность,
натриево-сульфатный состав,
минерализация 4,5 г/л

Рис. 3. Треугольники ионного состава проб, отобранных в рыбхозяйстве «Дон-Батюшка», г. Батайск, 25.05.2022.
Fig. 3. Triangles of the ionic composition of samples taken at the “Don-Batyushka” fish farm, Bataysk, 25 May 2022.

выше, чем сульфатов (около 50 мг/л). В катионном составе преобладает группа натрия и калия (как в Свином гирле).

ВЫВОДЫ

При использовании в качестве источника водоснабжения на предприятиях аквакультуры подземных вод, не подходящих по ионному составу, применяются технические средства водоподготовки. Наиболее простым вариантом, на наш взгляд, является технологическая схема, в которой на первом этапе производится очистка поступающей воды при помощи осмотических станций, в результате которой происходит значительная деминерализации очищаемой воды. На втором этапе (по необходимости) используется процесс реминерализации, при котором происходит доведение осмотической воды до необходимых показателей, рекомендуемых (или близких к ним) в ОСТ 15.372-87 [14].

Например, на базе малого рыбоводного хозяйства, использующего грунтовые воды (табл. 1), в с. Орловка Азовского района применяется промышленная система обратного осмоса «Гейзер Престиж Макси 6000» производительностью до 6 м^3/сутки. Производительности устройства хватает для инкубационно-малькового участка бассейнового хозяйства (уровень подмены воды при необходимости может составить до 90 % в сутки). Иногда в зависимости от грунтов в качестве предварительной очистки необходимо применять устройства для удаления глиняных примесей.

С повышением температуры воды ситуация может обостряться по сравнению с холодным периодом года, так как снижается концентрация кислорода в воде (особенно в утренние часы, 4–5 часов утра), и из-за большого содержания сульфат-иона в застойных зонах могут образовываться сероводородные зоны, высокотоксичные для рыб. О снижении содержания растворенного кислорода может свидетельствовать нахождение рыбы у поверхности воды и активная работа жаберными крышками, но это не всегда заметно. В условиях отсутствия возможности периодически осушать водоем становится проблемой накопление органического вещества, как в донных отложениях, так и растворенного в воде, что может привести к заболеваниям рыб (аэромоноз (краснуха), весенняя виремия карпа).

Для развития хозяйств рыбоводства в степях Приазовья необходимо исследовать так называемую верховодку – ближайшие к поверхности грунтовые воды, развитые на ограниченных площадях и непостоянные во времени. В этой связи особое значение приобретают наблюдения за режимом подземных вод с закладыванием группы скважин. При отборе проб воды должны быть обеспечены условия, позволяющие получить точные результаты определения свободной углекислоты, гидрокарбонатной щелочи (ионов HCO_3^-), pH и других элементов, важных при выращивании рыб от сеголеток до взрослых особей. Состав грунтовой воды по совокупности признаков резко отличается от состава морской и речной воды. В морской воде преобладают хлориды, присутствует значительное количество сульфатов и мало карбонатов. В речной воде хлориды содержатся в очень малых количествах, сульфатов несколько больше, чем в морской воде, много карбонатов и других веществ.

Содержание некоторых соединений, например таких, как сульфат-ион (SO_4^{2-}), в грунтовых водах может достигать более 62,5 % (14–62,9 %) от общего значения минерализации воды, а в ряде случаев количество сульфат-ионов более чем в 70 раз превышает рекомендуемую норму. Сложно дать определенный ответ на вопрос о влиянии некоторых соединений на рост и развитие хозяйственно ценных видов рыб.

В качестве рекомендации при использовании минерализованых вод предлагается внедрить постоянный мониторинг состава воды, используемой для выращивания объектов аквакультуры, применение методов водоподготовки и разбавления воды, эксплуатацию оборудования для снижения минерализации воды, определение состояние объектов выращивания физиологическими методами. Считаем необходимым проводить дополнительные лабораторные исследования по однофакторному и многофакторному совместному воздействию ионов (или групп ионов) на физиологическое состояние рыб.

Работа выполнена в рамках тем НИР ГЗ ЮНЦ РАН, №№ госрегистрации 122011900153-9, 122020100328-1, 122103100027-3 и 123071900007-8, а также Соглашения № 72-223/ВИПГЗ-23 от 03.04.2023 г. между ИО РАН и ЮНЦ РАН в рамках Консорциума 2 по гранту № 169-15-2023-002 от 01.03.2023 г. Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев С.В., Баканева Ю.М., Федоровых Ю.В. 2021. *Аквакультура.* СПб., Лань: 440 с.
2. Комлацкий В.И., Комлацкий Г.В., Величко В.А. 2020. *Рыбоводство.* СПб., Лань: 200 с.
3. Козлов В.И., Никифоров-Никишин А.Л., Бородин А.Л. 2006. *Аквакультура.* М., Колос: 444 с.
4. Корентович М.А., Литвиненко А.И., Сироткина Е.А. 2017. Итоги и перспективы развития геотермальной аквакультуры ценных видов рыб юга Западной Сибири. В кн: *Сборник статей всероссийской научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК». Часть 1 (Тюмень, 8 декабря 2017 г.).* Тюмень, Государственный аграрный университет Северного Зауралья: 307–317.
5. Шакирова Ф.М., Таиров Р.Г., Калайда А.Э. 2019. Первые результаты выращивания радужной форели (*Parasalmo mykiss irideus*) на минерализованных подземных водах. *Рыбоводство и рыбное хозяйство.* 3: 36–43.
6. Саваренский Ф.П. 1939. *Инженерная геология.* М. – Л., ГОНТИ: 494 с.
7. Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Бакаева Е.Н., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Фоменко Н.Е. 2016. *Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества.* Ростов н/Д, Южный федеральный университет: 170 с.
8. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. 2018. Маловодье и роль грунтовых вод в осолонении авандельты Дона. *Доклады Академии наук.* 483(4): 442–446. doi: 10.31857/S086956520003284-5
9. Муллабоев Н.Р. 2007. Влияние повышенной минерализации воды на воспроизводство некоторых промысловых видов рыб в Арнасайской системе озер. *Вестник Каракалпакского отделения Академии наук Узбекистана*. 1: 21–30.

10. Зотин А.И. 1961. *Физиология водного обмена у зародышей рыб и круглоротых.* М., Академия наук СССР: 317 с.

11. Глушанков К.В. 1965. *Практические советы рыбоводу.* М., Россельхозиздат: 160 с.

12. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Кириллова Е.Э. 2021. Цикличность климата в Приазовье: голоцен и современный период (XIX–XXI вв.). *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.* 498(1): 96–100. doi: 10.31857/S2686739721050091

13. Матишов Г.Г., Коваленко М.В., Жадан В.А., Емцев А.Г. 2021. *Опыт фермерского хозяйства по выращиванию рыбы с использованием грунтовых вод на примере Азовского района Ростовской области и Ейского района Краснодарского края.* Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 56 с.

14. *ОСТ 15.372-87. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы.* Утвержден Министерством рыбного хозяйства СССР 10 декабря 1987 г., приказ № 655. 18 с.

REFERENCES

1. Ponomarev S.V., Bakaneva Yu.M., Fedorovykh Yu.V. 2021. *Akvakul'tura.* [*Aquaculture*]. St Petersburg, Lan': 440 p. (In Russian).

2. Komlatskiy V.I., Komlatskiy G.V., Velichko V.A. 2020. *Rybovodstvo.* [*Fish farming*]. St Petersburg, Lan': 200 p. (In Russian).

3. Kozlov V.I., Nikiforov-Nikishin A.L., Borodin A.L. 2006. *Akvakul'tura.* [*Aquaculture*]. Moscow, Kolos: 444 p. (In Russian).

4. Korentovich M.A., Litvinenko A.I., Sirotkina E.A. 2017. [Results and prospects of geothermal aquaculture development of valuable fish species in the south of Western Siberia]. In: *Sbornik statey vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennye nauchno-prakticheskie resheniya v APK". Chast' 1.* [*Collection of articles of the All-Russian scientific-practical conference "Modern scientific and practical solutions in the agro-industrial complex". Part 1 (Tyumen, Russia, 8 December 2017)*]. Tyumen, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals: 307–317. (In Russian).

5. Shakirova F.M., Tairov R.G., Kalaida A.E. 2019. [Primary results of growing rainbow trout (*Parasalmo mykiss irideus*) in mineralized groundwater]. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo.* 3: 36–43. (In Russian).

6. Savarenskiy F.P. 1939. *Inzhenernaya geologiya.* [*Engineering geology*]. Moscow, Leningrad, State United Scientific and Technical Publishing House of the People's Commissariat of Heavy Industry of the USSR: 494 p. (In Russian).

7. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Bakaeva E.N., Reshetnyak O.S., Gibkov E.V., Fomenko N.E. 2016. *Poverkhnostnye i podzemnye vody v predelakh tekhnogenno narushennykh geosistem Vostochnogo Donbassa: formirovanie khimicheskogo sostava i otsenka kachestva.* [*Surface and underground waters within technogenically disturbed geosystems of Eastern Donbass: formation of chemical composition and quality assessment*]. Rostov-on-Don, Southern Federal University: 170 p. (In Russian).

8. Matishov G.G., Grigorenko K.S. 2018. Water scarcity and the role of groundwater in salinization of the Don Avandelta. *Doklady Earth Sciences.* 483(2): 1528–1533. doi: 10.1134/S1028334X18120073

9. Mullaboev N.R. 2007. [Influence of increased water mineralization on the reproduction of some commercial fish species in the Arnasay system of lakes]. *Vestnik Karakalpakskogo otdeleniya Akademii nauk Uzbekistana*. 1: 21–30. (In Russian).

10. Zotin A.I. 1961. *Fiziologiya vodnogo obmena u zarodyshey ryb i kruglorotykh*. [*Physiology of water metabolism in the embryos of fish and cyclostomes*]. Moscow, USSR Academy of Sciences: 317 p. (In Russian).

11. Glushankov K.V. 1965. *Prakticheskie sovety rybovodu.* [*Practical advice to the fish farmer*]. Moscow, Rossel'khozizdat: 160 p. (In Russian).

12. Matishov G.G., Dashkevich L.V., Kirillova E.E. 2021. Cyclicity of climate in the Sea of Azov region: the Holocene and the current period (19th to 21st centuries). *Doklady Earth Sciences.* 498(1): 436–440. doi: 10.1134/S1028334X21050093

13. Matishov G.G., Kovalenko M.V., Zhadan V.A., Emtsev A.G. 2021. *Opyt fermerskogo khozyaystva po vyrashhivaniyu ryby s ispol'zovaniem gruntovykh vod na primere Azovskogo rayona Rostovskoy oblasti i Eyskogo rayona Krasnodarskogo kraya.* [*The experience of a farm for growing fish using groundwater on the example of the Azov District of the Rostov Region and the Yeysk District of the Krasnodar Region*]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 56 p. (In Russian).

14. *OST 15.372-87. Voda dlya rybovodnykh khozyaystv. Obshchie trebovaniya i normy.* [*Industry standard 15.372-87 Water for fish farms. General requirements and norms*]. Approved by the Ministry of Fisheries of the USSR December 10, 1987, order No. 655. 18 p.

Поступила 13.07.2023