

УДК 556.551 (470.55)

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ РУСЛОВОГО ТИПА

Живетина А. В.¹, Нохрин Д. Ю.², Дерхо М. А.¹, Мухамедьярова Л. Г.¹

¹*ФГБОУ ВО «Южно–Уральский государственный аграрный университет», Троицк
Челябинской обл., Россия*

²*ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет», Челябинск, Россия
E-mail: derkho2010@yandex.ru*

Химический состав и качества воды в водохранилище руслового типа зависит от сезона года и его гидрологических особенностей. Вода относится к гидрокарбонатно-сульфатным магниевно-кальциевым водам со слабощелочной реакцией среды. Сезонная изменчивость воды определяется, во-первых, дополнительным поступлением загрязнителей в водохранилище в составе паводковых вод весной, во-вторых, включения элементов воды летом и осенью в биологический цикл водоема. Пространственная изменчивость воды от верховой к приплотинной части отражает самоочищающуюся способность водохранилища и скорость перехода элементов или в донные отложения, или в живые организмы. Ведущими факторами в формировании санитарного состояния водохранилища являются природные и техногенные воздействия, а ведущими процессами – поступление загрязнителей в водоём весной с осаджением в его нижней части (приплотинной) и минерализация органического вещества в весенний период.

Ключевые слова: водохранилище руслового типа, сезонные и пространственные особенности химического состава воды.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день среди большого количества водных объектов особый интерес представляют водохранилища, имеющие огромное народнохозяйственное значение. Во-первых, в них сосредоточен основной запас пресной воды, применяющейся в дальнейшем для водоснабжения населения и промышленных предприятий, обеспечения технологических процессов гидроэлектростанций. Во-вторых, они используются для борьбы с наводнениями, рыбохозяйственных и рекреационных целей. В-третьих, являются конечным звеном, концентрирующим промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки [1–4]. В последние годы, как результат снижения экологической безопасности различных производств на фоне их активного развития, значительно увеличилась нагрузка на водные экосистемы, в которых самоочищающаяся способность не эквивалентна уровню поступления загрязнителей антропогенного происхождения, что отражается на качестве воды [5].

Экологическое состояние воды в водохранилище, во-первых, формируется за счет извлечения из русла питающих рек большого количества воды и питательных веществ. Это служит основой для активного размножения, особенно в верхних

слоях воды, различных видов биоты, процессы жизнедеятельности которой сопряжены с формированием запаха, вкуса, мутности, прозрачности воды, содержанием органических веществ и состоянием донных отложений [6]. Во-вторых, качество воды взаимосвязано с поступлением в водохранилище химических веществ в составе сточных вод промышленных и муниципальных предприятий [7, 8]. В-третьих, водохранилища, имея достаточный водный потенциал, регулируют уровень речного стока в зависимости от сезона года [9, 10]. Следовательно, качество воды в водохранилище, как и в любом другом водном объекте, определяется совокупностью природных и антропогенных факторов, варьирующих сезонно и пространственно [11]. Это актуализирует проблему оценки вод водохранилища не только в количественном отношении (запас пресной воды), но и по экологическому состоянию (качеству).

Целью работы явился анализ химического состава и качества воды в водохранилище руслового типа в зависимости от сезона года и его гидрологических особенностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2019–2020 гг. Объектом исследований было выбрано Троицкое водохранилище Челябинской области, расположенное после слияния рек Увелька и Уй. Оно относится к русловому типу, имеет резко изрезанную береговую линию, площадь зеркала и водосбора составляет 10,85 и 15100,00 км², объем воды 45,10 млн. м³, коэффициент водообмена равен 9,44 и характер его регулирования сезонный (максимум в апреле) [10]. Материалом исследований служили пробы воды, отбор которых проводился со среднего уровня весной (май), летом (июль) и осенью (сентябрь) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592–2000 [12]: в верховье (В), центральной (Ц) и приплотинной (П) частях водохранилища.

Лабораторные исследования выполнены на базе ООО «Троицкий водоканал водоснабжение» (г. Троицк, Челябинская область) с использованием стандартных аналитических методов (ГОСТ, ПНД Ф). Для оценки качества воды были определены следующие показатели: запах (ГОСТ Р 57164–2016), цветность (РД 52.24.497–2019), мутность (РД 52.08.104–2002), рН (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97), жесткость (РД 52.24.395–2017), минерализация (ПНД Ф 14.1:2:4.261–2010), взвешенные вещества (ПНД Ф 14.1:2:4.254-09), щелочность, карбонаты и гидрокарбонаты (ГОСТ 31957 – 2012), хлориды (ПНД Ф 14.1:2:3.96–97), сульфаты (ПНД Ф 14.1:2.159–2000), калий, натрий, кальций, магний (ГОСТ 31869–2012); алюминий (ГОСТ 18165–2014;), аммоний, нитраты и нитриты (ГОСТ 33045–2014), окисляемость (ПНД Ф 14.1:2:4.154–99), биохимическое потребление кислорода (НДП 10.1:2:3.131–2016), нефтепродукты (ПНД Ф 14.1:2.116–97), поверхностно–активные вещества (РД 52.24.368–2006), растворенные газы: кислород (ПНД Ф 14.1:2.101–97), углекислый газ (ЦВ 1.01.17–2004; ФР.1.31.2005.01580), общее железо (ПНД Ф 14.1:2:4.50– 96), хром (VI), марганец, никель, мед, цинк, кадмий, свинец (ПНД Ф 14.1:2:4.139–98), фторидов (ПНД Ф 14.1:2:3:4.179–2002) [13–34].

Полученные данные сравнивали со значениями предельно допустимых концентраций веществ для рыбохозяйственных водоемов – ПДК_{вр} [35].

В ходе анализа полученных данных использовали графические и статистические методы. Соотношения главных ионов, водородный показатель и минерализацию изображали на диаграмме С. А. Дурова [36]. Статистический анализ предусматривал анализ главных компонент. Расчёты и графические построения выполнены в пакетах PAST (version 4.03) [37], RockWare AqQA (v. 1.1.5.1) и векторном редакторе TrX (v. 1.5) [38].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водные ресурсы, их количество и качество играют важную роль в обеспечении социально-экономического благополучия населения любого региона России [39–41]. При анализе сезонных и межгодовых изменений химического состава воды в водохранилище было установлено, что приоритетным антропогенным загрязнителем являются сточные воды, на воздействие которых дополнительно накладывается поступление поверхностных вод и почвы с территории береговой полосы в период паводков и дождей. Это определяет сезонную неоднородность всех параметров, определенных нами в составе воды.

Из органолептических свойств в пробах воды, независимо от точки их взятия (В, Ц, П), была выявлена избыточность величин запаха, цветности и мутности (табл. 1, 2). основополагающая причина – это низкий уровень водообмена для такого типа водохранилищ, как Троицкое, что, в свою очередь, не позволяет протекать процессам самоочищения с достаточной скоростью [10]. Кроме этого, большую роль играют абиотические факторы. Поэтому уровень мутности и цветности воды в пробах очень сильно возрастал весной в результате дополнительного попадания в водохранилище паводковых вод, и достаточно был высок летом и осенью за счет развития биоты и ливневого стока. Отчетливый запах воды, независимо от сезона года и точки взятия проб, являлся следствием сброса недостаточно очищенных сточных вод в питающие водохранилище реки. В целом, количественная вариабельность органолептических параметров свидетельствовала о преимущественно антропогенном характере загрязнения изучаемых природных вод.

С органолептическими свойствами взаимосвязан такой параметр воды, как взвешенные вещества, величина которого обуславливает и мутность, и цветность [42]. Поэтому сезонная изменчивость их количества однотипна с данными органолептическими показателями (табл. 1, 2). С учетом высокой концентрации в воде взвешенных веществ, независимо от сезона года и точки взятия проб, уровень минерализации воды в водохранилище был невысок [35]. Это, во-первых, позволяет классифицировать ее как пресную воду. Во-вторых, напрямую свидетельствует о попадании в водохранилище загрязнителей преимущественно в коллоидно-дисперсном состоянии [39]. В-третьих, отражает способность водохранилища самоочищаться от растворенных в воде минеральных солей. В частности, сезонная изменчивость минерализации (сухой остаток) отражала способность минеральных солей переходить из растворенного состояния в

нерастворимое (взвешенные вещества) и далее накапливаться в донных отложениях [43].

Из общих свойств воды нами была определена активная реакция среды (рН), которая, колебалась в пределах 7,10–8,70 ед. (слабощелочная). Сезонная изменчивость рН была сопряжена с работой буферных систем воды, развитием и интенсивностью разложения органической биомассы, продукцией углекислого газа [43]. Так, летний минимум рН, особенно в 2020 г., определялся уровнем жизнедеятельности гидробионтов, влияющим на окисляемость воды и содержание углекислого газа.

Таблица 1
Химический состав воды Троицкого водохранилища в 2019 г.

Показатели	Сезон / Станция									ПДК _{ВР}
	Весна			Лето			Осень			
	В	Ц	П	В	Ц	П	В	Ц	П	
Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Общие										
Взвешенные вещества, мг/дм ³	15,20	13,40	10,20	3,00	1,90	1,50	5,90	4,90	5,00	0,25
<i>Запах, балл</i>	4,00	4,00	3,70	3,00	2,70	2,30	4,00	3,70	3,30	2,00
<i>Цветность, °Цв.</i>	131,10	112,30	101,90	67,30	52,90	52,00	38,10	36,90	34,70	30,00
<i>Мутность, мг/дм³</i>	10,01	9,00	9,00	2,65	2,59	2,48	4,39	3,69	3,45	1,5–2,0
<i>рН (вод. показ.)</i>	7,41	7,47	7,49	7,93	7,45	7,19	8,69	8,47	8,16	6,00–9,00
<i>Щелочность, мг-экв/дм³</i>	4,20	4,47	4,55	4,77	4,73	5,17	3,97	4,10	4,26	–
<i>Жесткость, °Ж</i>										7,00–10,00
<i>титриметрически – [Ca²⁺]+[Mg²⁺]</i>	8,27 6,14	7,68 6,61	7,45 7,13	6,78 6,13	6,73 6,58	6,70 7,10	6,95 6,88	6,90 8,06	7,00 9,03	
<i>Минерализация, мг/дм³</i>										
– сухой остаток	536,00	557,00	558,00	526,00	533,00	503,00	702,00	661,00	658,00	1000,00
– сумма ионов	711,00	712,00	734,00	669,00	681,00	701,00	649,00	689,00	718,00	
Главные ионы и карбонаты, мг/дм³										
Гидрокарбонаты	261,90	271,50	290,80	285,70	288,70	312,20	243,40	271,20	284,30	–
Хлориды	67,20	63,70	63,00	54,30	51,00	51,00	53,70	54,80	56,70	300,00
Сульфаты	228,7	209,6	201,8	149,5	147,8	132,3	178,5	170,7	166,4	100,00
Карбонаты	0,40	0,48	0,54	1,42	0,48	0,29	6,67	4,64	2,45	–
Калий	4,20	5,80	6,00	10,00	11,80	13,50	7,90	8,70	9,30	50,00
Натрий	47,60	49,60	55,00	62,10	67,90	72,10	45,90	47,20	50,60	120,00
Кальций	56,30	60,90	61,40	70,20	76,40	78,10	64,60	79,50	93,20	180,00
Магний	40,50	43,40	49,40	32,00	33,60	38,90	44,50	49,80	53,20	40,00

Продолжение таблицы 1

Биогенное и органическое вещество (мг/дм ³)										
Аммоний	0,97	0,73	0,64	0,74	0,50	0,39	0,69	0,55	0,53	0,50
Нитриты	0,11	0,97	0,10	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,08
Нитраты	5,58	5,05	4,87	2,82	2,13	1,39	2,42	1,16	0,94	40,00
Окисляемость, мгО/дм ³	10,95	10,66	10,13	8,10	8,66	8,20	6,71	6,36	6,27	5,00–7,00
БПК ₅	3,93	3,26	3,30	1,20	1,34	1,55	2,07	2,20	2,55	2,10
Нефтепродукты	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
СПАВ	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
Растворенные газы, мг/дм ³										
Кислород	10,60	8,72	9,40	8,65	9,16	9,06	8,30	11,30	11,82	6,00
Углек. газ	15,70	14,20	14,50	5,20	15,80	31,10	0,80	1,40	3,00	–
Микроэлементы и тяжелые металлы, мг/дм ³										
Фториды	0,72	0,67	0,66	0,43	0,41	0,53	0,61	0,63	0,66	0,75
Алюминий	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,50
Хром VI	0,15	0,12	0,11	0,04	0,01	-	0,01	0,01	-	0,07
Марганец	0,60	0,50	0,45	0,12	0,10	0,01	0,05	0,03	0,02	0,01
Железо общее	0,56	0,48	0,32	0,26	0,17	0,16	0,40	0,25	0,19	0,10
Никель	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	-	0,02	0,01	0,01	0,01
Медь	0,09	0,07	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,001
Цинк	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Кадмий	0,001	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	0,005
Свинец	0,010	0,005	0,005	0,005	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,006

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК_{вр} [35]

Это сдвигало динамическое равновесие между карбонатами и гидрокарбонатами в сторону последних (табл. 1, 2). Высокое значение рН в осенний период (рН=8,16–8,69) на фоне снижения окисляемости было сопряжено с восстановлением карбонатов в соответствующей буферной системе воды [43].

Сезонная изменчивость жесткости воды определялась вариабельностью главных элементов карбонатной буферной системы [43]. Для неё был характерен весенний максимум и летне-осенний минимум, за счет активного усвоения элементов водными организмами (табл. 1, 2). При этом между титриметрической и расчетной величиной жесткости воды не выявлено пропорциональности, что обусловлено, как различиями в количестве двухвалентных катионов, учитываемых в каждом методе, так и степенью их усвоения гидробионтами.

Содержание главных ионов (хлориды, сульфаты, калий, натрий, кальций и магний) и карбонатов независимо от сезона года и точки взятия проб не превышало значений ПДК_{вр} (табл. 1, 2), за исключением сульфатов, количество которых особенно сильно возрастало в паводковый период. При этом среди анионов преобладали гидрокарбонаты и сульфаты, а среди катионов – магний и кальций, что позволяло с учетом жесткости воды и рН отнести её к гидрокарбонатному (или смешанному) классу и магниево-кальциевой группе. Сезонная изменчивость параметров группы «Главные ионы и карбонаты» позволяет констатировать, что

доминирующие анионы определяют и уровень минерализации, и жесткости воды за счет регулирования растворимости органических и неорганических соединений (табл. 1, 2).

По данным [42, 44] содержание взвешенных веществ сопряжено с сезонной динамикой развития водной фауны и соответственно с количеством биогенных и органических веществ в воде. Так, концентрация ионов аммония, являющихся индикатором санитарного состояния водоема и свежего органического загрязнения, была избыточна во все сезоны года в верховье и приплотинной частях водохранилища от 1,40 до 2,70 раз (табл. 1, 2). Соотнесение концентрации аммония с уровнем нитритов, нитратов и окисляемостью позволяет считать, что в воде водохранилища содержится достаточно высокая концентрация органических веществ, склонных к ферментативному окислению, и неорганических восстановителей, особенно в весенне-летний период».

Таблица 2
Химический состав воды Троицкого водохранилища в 2020 г.

Показатели	Сезон / Станция									ПДК _{ВР}
	Весна			Лето			Осень			
	В	Ц	П	В	Ц	П	В	Ц	П	
Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Общие										
Взвешенные вещества, мг/дм ³	8,20	6,70	6,80	2,80	1,90	1,20	3,60	3,40	3,20	0,25
<i>Запах, балл</i>	4,00	4,00	4,00	3,30	2,70	2,50	4,00	4,00	3,20	2,00
<i>Цветность, °Цв.</i>	79,40	76,20	64,80	27,70	25,00	24,70	22,00	21,70	21,80	30,00
<i>Мутность, мг/дм³</i>	8,20	7,80	6,65	2,35	2,15	2,02	3,73	3,64	3,21	1,50–2,00
<i>pH (вод. показ.)</i>	7,29	7,66	7,59	7,28	7,16	7,11	8,50	8,42	8,33	6,00–9,00
<i>Щелочность, мг-экв/дм³</i>	3,50	3,75	4,00	4,82	4,90	5,32	4,68	4,85	4,92	–
<i>Жесткость, °Ж</i> –титриметрически – [Ca ²⁺]+[Mg ²⁺]	8,21 7,54	7,87 5,15	7,73 5,70	6,98 7,39	6,60 7,66	6,50 7,93	6,72 7,13	6,54 7,15	6,30 7,60	7,00–10,00
<i>Минерализация, мг/дм³</i> – сухой остаток – сумма ионов	512,00 677,00	459,00 692,00	445,00 711,00	517,00 678,00	570,00 687,00	534,00 698,00	694,00 698,00	637,00 686,00	624,00 710,00	1000,00
Главные ионы и карбонаты, мг/дм³										
Гидрокарбонаты	213,50	265,30	290,60	295,90	300,40	324,30	276,30	282,30	296,70	–
Хлориды	67,10	62,10	60,00	54,10	49,70	38,00	59,90	55,60	57,40	300,00
Сульфаты	218,10	213,50	197,70	129,60	125,70	119,00	178,50	166,00	160,00	100,00
Карбонаты	0,25	0,71	0,67	0,33	0,26	0,25	5,03	4,29	3,70	–
Калий	4,30	5,90	6,40	9,60	13,80	14,60	8,70	9,00	9,70	50,00

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ...

Продолжение таблицы 2

<i>Натрий</i>	49,80	50,30	54,10	60,30	66,40	67,30	50,10	52,00	56,90	20,00
Кальций	63,50	66,00	68,50	87,80	90,20	93,50	71,60	72,00	79,50	80,00
Магний	21,30	22,60	27,80	36,60	38,40	39,70	43,30	43,20	44,20	40,00
Биогенное и органическое вещество (мг/дм³)										
Аммоний	1,35	1,18	1,08	0,65	0,39	0,35	1,31	0,94	0,87	0,50
Нитриты	0,09	0,09	0,09	0,06	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,08
Нитраты	4,85	3,97	3,64	2,55	0,85	0,79	2,47	0,62	0,50	40,00
Окисляемость, мгО/дм ³	9,08	8,99	8,76	7,56	7,11	7,06	5,38	5,04	5,00	5,00-7,00
БПК ₅	4,67	4,23	4,05	2,69	2,53	2,13	1,34	1,72	1,74	2,10
Нефтепродукты	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
СПАВ	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	0,10
Растворенные газы, мг/дм³										
Кислород	9,40	8,80	7,13	7,80	8,20	9,60	8,15	12,30	11,93	6,00
Углек. газ	16,80	8,90	11,50	24,00	32,00	38,80	1,40	1,70	2,10	-
Микроэлементы и тяжелые металлы, мг/дм³										
Фториды	0,75	0,67	0,63	0,58	0,60	0,62	0,50	0,51	0,63	0,75
Алюминий	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,50
Хром VI	0,05	0,05	0,04	0,10	0,09	0,01	0,02	0,02	0,01	0,07
Марганец	0,25	0,21	0,20	0,04	0,01	0,01	0,06	0,05	0,02	0,01
Железо общее	0,83	0,60	0,54	0,28	0,18	0,13	0,27	0,22	0,20	0,10
Никель	0,02	0,02	0,02	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Медь	0,08	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001
Цинк	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Кадмий	0,001	0,001	0,001	0,001	-	-	0,001	-	-	0,005
Свинец	0,01	0,005	0,004	0,005	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,006

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК_{вр} [35]

По данным [42, 45, 46] скорость процессов окисления взаимосвязана с концентрацией в воде различных микроорганизмов, источником которых служат сточные воды. Это позволяет предположить, что в условиях исследуемого водохранилища, как результат сброса высоко загрязненных сточных, активно развиваются бактерии, повышающие уровень биогенных элементов в воде и определяющие скорость эвтрофирования водоема, что инициирует ухудшение качества воды.

Содержание специфических органических веществ (нефтепродуктов и СПАВ) в исследуемые годы было незначительным (табл. 1, 2), хотя их уровень преобладал в пробах весенней воды за счет поступления в составе талых и дождевых вод, и был минимален в летне-осенний период, как результат повышения температуры воды и скорости процессов биодеструкции [47].

Характеристика газового состава воды показала, что: 1) самое большое содержание углекислого газа отмечается в весенний и летний периоды года, особенно в приплотинной части водохранилища, что отражает интенсивность процесса эвтрофикации водоема; 2) концентрация кислорода в воде не имеет межгодовых и межсезонных различий и колеблется от 7,10 до 12,3 мг/дм³ (табл. 1,

2). Обычно уровень окисляемости и растворенного кислорода находятся в реципрокных взаимоотношениях. Однако в воде исследуемого водохранилища данный вид взаимосвязи не выявлен, что по данным [46] сопряжено с характером обмена водных масс и температурой воды, определяющим растворимость кислорода. Кроме этого, скорость окисления свежих азотсодержащих соединений тоже влияет на количество растворенного кислорода в воде.

При оценке экологического состояния водного объекта большое внимание уделяется химическим элементам, уровень которых, за исключением алюминия, кадмия и фторидов, на протяжении исследуемого периода если не постоянно, то сезонно был избыточен (табл. 1, 2). Во-первых, концентрация железа была избыточна в составе воды, что сопряжено с геохимическими особенностями региона [39]. Однако более низкая концентрация элемента в приплотинной части водохранилища (на 26–54 % в зависимости от сезона года) свидетельствует о способности металла переходить в нерастворимую форму и оседать на дно в глубоководной части водохранилища. Во-вторых, внутри- и межгодовая избыточность характерна для меди, цинка, марганца и никеля (весной и осенью). В-третьих, в весенний период года, особенно в верховой части водного объекта, увеличивалась в воде концентрация свинца, никеля и хрома, по сравнению с летом и осенью. В совокупности выявленные изменения в минеральном составе воды могут служить доказательством наличия техногенного воздействия на водохранилище.

Проанализированный массив данных (табл. 1, 2) позволяет констатировать, что величина изучаемых показателей резко возрастает в весенний период года и наиболее сильно в верховой части водохранилища за счет прямого поступления загрязнителей в составе питающих его рек; наименьшие значения параметров воды выявлены в приплотинной и самой глубоководной части водохранилища, как результат оседания на дно минеральных соединений за счет потери растворимости; химический состав воды отражает природные особенности региона и уровень техногенного воздействия на водный источник. Для подтверждения данных выводов, а также выявления взаимосвязей между основными катионами и анионами в воде водохранилища мы построили диаграмму Дурова (рис. 1).

Так, в 2019 г. (рис. 1а), вода водохранилища имела смешанный катионный состав; при этом летние пробы отличались меньшей долей Mg^{2+} . В составе анионов отмечался либо смешанный тип, либо гидрокарбонатный. В пробах воды преобладали гидрокарбонат–ион и сульфат–ион, изменения которых имели характер короткого тренда: от весенних проб к летним доля HCO_3^- и CO_3^{2-} увеличивалась, а затем к осени вновь снижалась. Доля хлорид–ионов была практически неизменной и составляла немногим более 15 % в эквивалентных концентрациях.

В целом, по главным ионам наблюдалось относительно высокое постоянство состава воды: точки катионного и анионного составов проецировались в очень узкую зону результирующего поля диаграммы. Более заметные изменения наблюдались по минерализации: видно, что её значение варьировало от 503 до 702 мг/дм³. Более высокие значения отмечались в весенних пробах, и особенно – в нижней части водохранилища (образец № 3). Летние пробы характеризовались промежуточными уровнями минерализации, а осенние были наиболее

изменчивыми: от 702 мг/дм³ в верхней части водохранилища до 658 мг/дм³ в нижней. По величине рН более щелочной реакцией выделялись осенние пробы.

В 2020 г. химический состав воды водохранилища имел те же закономерности, особенно – по анионному составу и рН (рис. 1б). По соотношению главных ионов вода была преимущественно сульфатно–гидрокарбонатной магниево–кальциевой. Однако вариабельность минерализации в течение 3 сезонов была примерно в 2 раза меньше, причём как за счёт меньшего притока ионов в весенний период, так и за счёт меньшего разбавления вод в осенний период.

Анализ данных позволил установить следующие закономерности: 1) катионно–анионный состав воды зависел от сезона года и, соответственно, был взаимосвязан с источниками их поступления в водный объект (весенний максимум был результатом дополнения к существующему уровню техногенной нагрузки паводковых вод); 2) межгодовые различия в катионно–анионном составе воды отражали восстановительный потенциал водохранилища и степень изменения качества воды за счет его исключения из технологического цикла теплостанции; 3) уровень ионов был минимальным в приплотинной и самой глубоководной части водохранилища, отражая возможность более быстрой коагуляции и седиментации взвешенных частиц органического и неорганического происхождения за счет изменения, в первую очередь, их растворимости в условиях сильной вариабельности температуры воды.

Для выявления наиболее общих закономерностей санитарного состояния водоёма был проведён многомерный анализ, в который были включены концентрации биогенного и органического вещества, взвешенных веществ, растворённых газов, микроэлементов и металлов, а также рН, запах и мутность. Результаты анализа представлены на координатной диаграмме (рис. 2). Из неё видно, что в первую компоненту с положительными нагрузками вошли практически все показатели, а их векторы направлены в сторону весенних проб. Таким образом, около 60 % изменчивости показателей санитарного состояния водоёма обусловлено сезонным стоком загрязнителей в водоём. В продольном разрезе ТВ их концентрация в воде снижалась (вероятно, в результате осаждения), что видно из обратного направлению векторов следования номеров меток 1, 2 и 3 на диаграмме.

Вторая главная компонента была биполярной: с наиболее сильными положительными нагрузками в неё вошли рН, концентрация ионов NH₄⁺, запах, кислород, а с отрицательными – углекислый газ и окисляемость. Таким образом, данная компонента отражала процессы преобразования (разложения) органического вещества в водоёме. Видно, что в нижней части диаграммы расположились метки летних проб (№№ 4, 5, 6) проб, а также весенние пробы 2019 г. (№№ 19_1 – 19_3). Для этих проб была характерна нейтральная реакция среды, высокое содержание свободной углекислоты и неокисленного органического вещества (окисляемость). Напротив, в верхней части диаграммы находятся осенние пробы и, в меньшей степени, – весенние 2020 г. Для них характерны процессы распада органического вещества с выделением запаха, образованием наименее окисленной формы минерального азота – катиона аммония и сдвигом реакции среды в щелочную сторону. Вклад данных процессов в общую изменчивость (дисперсию) показателей был относительно невелик и составлял 14,2 %.

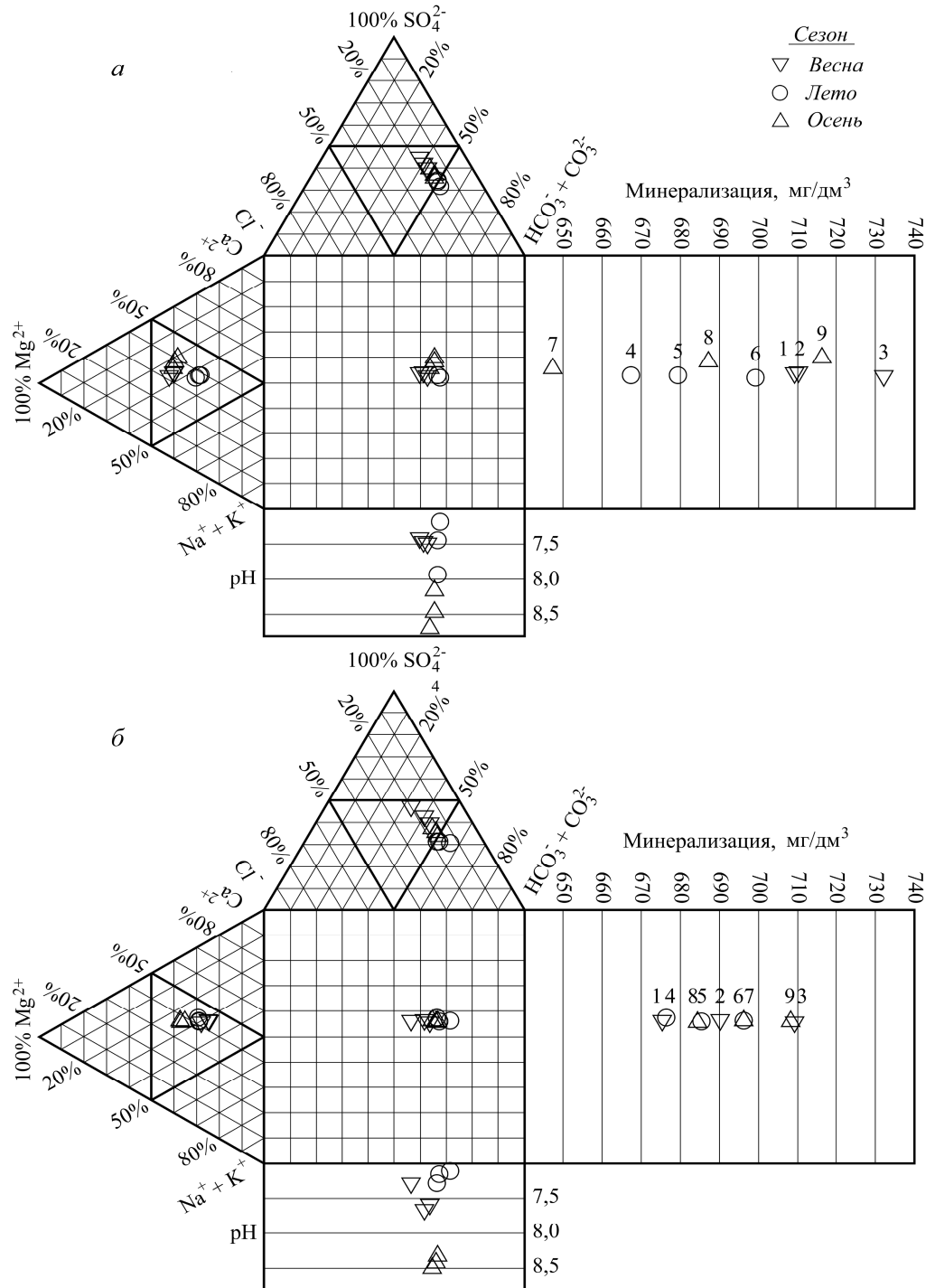


Рис 1. Химический состав воды Троицкого водохранилища на диаграмме Дурова: а – 2019 г., б – 2020 г. Номер образца – табл. 1, 2.

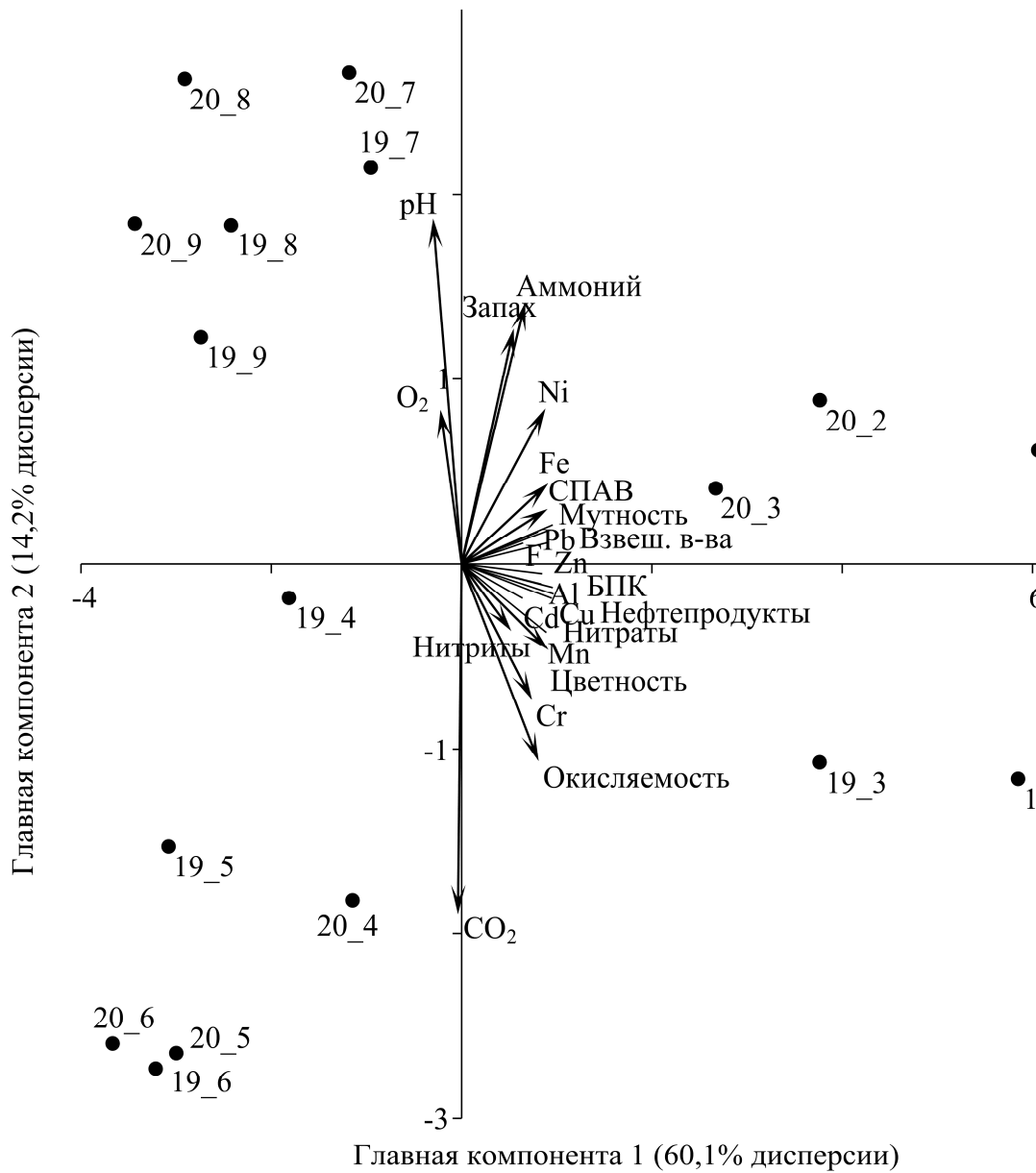


Рис 2. Показатели качества воды Троицкого водохранилища в пространстве двух главных компонент: 19_№ – 2019 г., 20_№ – 2020 г., № – номер образца

Таким образом, многомерный анализ позволил выявить 2 ведущих процесса в формировании санитарного состояния водохранилища: 1) поступление загрязнителей в водоём весной с осаднением к нижней части водоёма и 2) минерализацию органического вещества в весенний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Природные особенности региона определяют отношение воды в водохранилище к гидрокарбонатно-сульфатным магниево-кальциевым со слабощелочной реакцией среды и низким уровнем минерализации.
2. Наиболее высокая сезонная изменчивость характерна для органолептических параметров, титриметрической жесткости, количества взвешенных частиц, хлоридов, сульфатов, связанных форм азота, окисляемости, БПК₅, углекислого газа, минеральных веществ в воде, что весной сопряжено с дополнительным попаданием загрязнителей в водохранилище в составе паводковых вод, а летом и осенью – их участием в биологическом цикле водоема.
3. Пространственная изменчивость химического состава воды от верховой к приплотинной части отражает самоочищающуюся способность водохранилища и скорость перехода элементов или в донные отложения, или в живые организмы.
4. Формирование санитарного состояния водохранилища определяется не столько геохимическими особенностями региона, сколько уровнем техногенного воздействия на водный источник.

Список литературы

1. Арсентьева Н. Ю. Качество воды и микробиологическая характеристика водохранилища Троицкой ГРЭС / Н. Ю. Арсентьева, Д. Ю. Нохрин // Вода: химия и экология. – 2010. – № 7(25). – С. 22–28.
2. Сокол Э. В. Экогеохимическое состояние водохранилища Южноуральской ГРЭС / Э. В. Сокол, Д. Ю. Нохрин, Е. Н. Нигматуллина [и др.] // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35, № 6. – С. 715–729.
3. Yu Y. Assessment of the Multi-Objective Reservoir Operation for Maintaining the Turbidity Maximum Zone in the Yangtze River Estuary / Y. Yu, P. Wang, Ch. Wang [et al.] // Int. J. Environ Res Public Health. – 2018. – Vol. 15, № 10. – P. 2118. (doi: 10.3390/ijerph15102118).
4. Liro M. Changes in the hydrodynamics of a mountain river induced by dam reservoir backwater / M. Liro, V. Ruiz-Villanueva, P. Mikuš [et al.] // Sci Total Environ. – 2020. – Vol. 744. – P. 140555. (doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140555).
5. Бестужева А. С. Проблемы экологического здоровья водохранилищ / А. С. Бестужева // Вестник МГСУ. – 2006. – №2. – С. 70–77.
6. Жирнов А. В. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду [Электронный ресурс]. URL: science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016 (дата обращения 15.12.2020).
7. Хрусталева М. А. Эколого-гидрохимические особенности качества вод в Москворецкой и Волжской водохозяйственных системах / М. А. Хрусталева, С. В. Суслов // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 3. – С. 52–56. (doi: 10.24411/1728–323X–2019–13052).
8. Бархатов В. И. Рациональное использование природных ресурсов Челябинской области: Монография / В. И. Бархатов, И. П. Добровольский, Ю. Ш. Капкаев. – Челябинск : Изд-во ЧГУ, 2015. – 282 с.
9. Юдин М. Ф. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в системе «вода–донные отложения – гидробионты» : Монография / М. Ф. Юдин, А. Р. Таирова, Е. А. Красноперова. – Троицк: ЮУрГАУ, 2017. – 200 с.
10. Экологическое и ветеринарно-санитарное состояние водохранилищ Челябинской области: монография / под ред. Д. Ю. Нохрин. – Барнаул: Новый формат, 2020. – 226 с.
11. Шайхудинова А. А. Сезонная динамика макрозообентоса при градиенте минерализации в реке Тузлукколь / А. А. Шайхудинова // Ученые записки Крымского федерального университета В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5(71), № 3. – С. 184–194.
12. ГОСТ 31861–2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 12 с.

13. ГОСТ Р 57164–2016 Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200140391> (дата обращения 25.02.2021).
14. РД 52.24.497–2019 Цветность природных вод. Методика измерений фотометрическим и визуальными методами. – Ростов на Дону: Госгидромет, 2019. – 20 с.
15. РД 52.08.104–2002. Методические указания. Мутность воды. Методика выполнения измерений [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/48/48865/> (дата обращения 25.02.2021).
16. ПНД Ф 14.1:2:3.4.121–97 Количественный химический анализ вод. Методика измерений рН проб вод потенциометрическим методом. – Москва, 2018. – 13 с.
17. РД 52.24.395–2017. Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. – Ростов–на–Дону, 2017. – 30 с.
18. ПНД Ф 14.1:2:4.261–2010 Методика измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатка в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm> (дата обращения 25.02.2021).
19. ПНД Ф 14.1:2:4.254-09 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/556339176> (дата обращения 25.02.2021).
20. ГОСТ 31957 – 2012 Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 25 с.
21. ПНД Ф 14.1:2:3.96–97. Количественный химический анализ вод. Методика измерения массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом. – Москва, 2016. – 20 с.
22. ПНД Ф 14.1:2.159–2000. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат – ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200075508> (дата обращения: 15.12.2021).
23. ГОСТ 31869–2012. Вода. Методы определения содержания катионов (аммония, бария, калия, кальция, лития, магния, натрия, стронция) с использованием капиллярного электрофореза. Москва: Стандартинформ, 2019. 23 с.
24. ГОСТ 18165–2014 Вода. Методы определения содержания алюминия (Переиздание с поправкой). – Москва: Стандартинформ, 2019. – 25 с.
25. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (дата обращения: 15.12.2021).
26. ПНД Ф 14.1:2:4.154–99 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200056567> (дата обращения: 26.02.2021).
27. НДП 10.1:2:3.131–2016. Методика определения биохимического потребления кислорода после 5 дней инкубации (БПК₅) в пробах питьевых, природных и сточных вод амперометрическим методом. – Москва, 2016. 23 с
28. ПНД Ф 14.1:2.116–97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом колоночной хроматографии с гравиметрическим окончанием [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200066876> (дата обращения: 26.02.2021).
29. РД 52.24.368–2006 Массовая концентрация анионных синтетических поверхностно–активных веществ в водах. методика выполнения измерений экстракционно–фотометрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837328.htm> (дата обращения: 26.02.2021).
30. ПНД Ф 14.1:2.101–97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенного кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод йодометрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293846/4293846286.htm> (дата обращения: 20.02.2021).
31. ЦВ 1.01.17–2004 ФР.1.31.2005.01580 Качество воды. Методика выполнения измерений содержания свободной углекислоты в пробах питьевых и природных вод. Титриметрический

- метод. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293797/4293797540.htm> (дата обращения: 26.02.2021).
32. ПНД Ф 14.1:2:4.50–96. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. – Москва, 2011. – 20 с.
 33. ПНД Ф 14.1:2:4.139–98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, поверхностных и сточных вод методом Атомно–абсорбционной спектроскопии [Электронный ресурс]. URL: <files.stroyint.ru/Index2/1/493832/429832535/htm> (дата обращения: 15.12.2021).
 34. ПНД Ф 14.1:2:3:4.179–2002. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации фторид–ионов в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах фотометрическим методом с лантан (церий) ализаринкомплексом. – Москва, 2012. – 23 с.
 35. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 15.12.2021).
 36. Дуров С. А. Классификация природных вод и графическое изображение их состава / С. А. Дуров // Доклады АН СССР. – 1948. – Т. 59, № 1. – С. 87–90.
 37. Hammer Ø. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis / Ø. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // *Palaeontologia Electronica*. – 2001. – Vol. 4, № 1. – P. 9.
 38. TrX – A drawing tool for Windows. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ctan.org/pkg/tpx> (дата обращения: 30.12.2020).
 39. Дерхо М. А. Некоторые эколого–химические показатели качества питьевой воды / М. А. Дерхо, Т. И. Береговская // Актуальные вопросы биотехнологии ветеринарной медицины: теория и практика: Материалы национ. науч. конф. ИВМ. Челябинск : Южно-Уральский ГАУ, 2018. – С. 80–84.
 40. Кутявина Т. И. Изучение качества воды малых водохранилищ (на примере водохранилищ северо–востока Кировской области) / Т. И. Кутявина // Современное естествознание и охрана окружающей среды: Труды международной молодежной конференции. – Киров, 2013. – С. 119–120.
 41. Макаренко Д. В. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду / Д. В. Макаренко, С. Л. Паршина, А. А. Снежко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – Т. 2. – С. 181–182.
 42. Соколов Д. И. Изменение окисляемости и цветности воды под влиянием водохранилища / Д. И. Соколов // Вестник Московского университета. – 2013. – № 6. – С. 9–15.
 43. Артеменко В. М. Гидрохимический режим и микроэлементный состав вод Чернореченского водохранилища в 1991–2004 гг. / В. М. Артеменко, Ю. П. Ильин, В. С. Кучеренко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – № 12. – С. 129–148.
 44. Законнов В. В. Пространственно–временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги / В. В. Законнов, И. Л. Григорьева, А. В. Законнова // Водное хозяйство России. – 2018. – № 3. – С. 35–48.
 45. Селезнёва А. В. Опыт экологического нормирования биогенной нагрузки на примере Саратовского водохранилища / А. В. Селезнева, В. А. Селезнёв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – С. 26–31.
 46. Селезнёва А. В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья / А. В. Селезнева, В. А. Селезнёв, К. В. Беспалова // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 88–96.
 47. Аничкина Н. В. Экологическое состояние Матырского водохранилища и его влияние на вмещающий ландшафт Окско–Донской низменности / Н. В. Аничкина // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 10. – С. 60–64.

SEASONAL FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND QUALITY OF WATER IN A CHANNEL-TYPE RESERVOIR

Zhivetina A. V.¹, Nokhrin D. Y.², Derkho M. A.¹, Mukhamedyarova L. G.¹

¹South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk region, Russia

²Ural State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: derkho2010@yandex.ru

The analysis of the chemical composition and water quality of the Troitsky reservoir of the Chelyabinsk region, depending on the season of the year and its hydrological features, is given. The object of the study was water samples from the upper (station 1), central (station 2) and near-dam (station 3) parts of reservoirs, taken from the average level in spring (May), summer (July) and autumn (September) in the period 2019–2020 in accordance with the requirements of GOST R 51592-2000. Experimental, physico-chemical and mathematical methods of research are used in the work. It is established that the water of the channel reservoir belongs to the bicarbonate-sulfate magnesium-calcium waters with a slightly alkaline reaction of the medium, reflecting the natural features of the region. The main anthropogenic pollutant of the reservoir is industrial and domestic wastewater, which enters it mainly as part of the rivers that feed it. The highest seasonal variability is characteristic for the organoleptic parameters of water, titrimetric hardness, the amount of suspended particles, the concentration of chlorides, sulfates, bound forms of nitrogen, oxidability, BPK5, carbon-acid gas, and minerals, which in spring is associated with additional ingress of pollutants into the reservoir as part of flood waters, and in summer and autumn—their participation in the biological cycle of the reservoir. The spatial variability of water in the reservoir from the upper to the near-dam part reflects its self-cleaning ability and the rate of transition of water components either to bottom sediments or to living organisms. The leading factors in the formation of the sanitary state of the reservoir are natural and man-made impacts, and the leading processes are the entry of pollutants into the reservoir in the spring with precipitation in its lower part (near the dam) and the mineralization of organic matter in the spring. The toxicity of water to biota is determined by the current content of elements such as zinc, copper, nickel and manganese, which are produced by industrial enterprises located in the catchment area of the rivers feeding the reservoir. The level of copper exceeds the MPC for fisheries reservoirs by 11.00–85.00 times, zinc by 1.10–7.90 times, manganese by 2.00 to 60.00 times, nickel by 2.00 times. The revealed excess of iron in water is specific for all fresh waters in the region, it exceeds the norm from 1.60 to 5.60 times.

Keywords: channel-type reservoir, seasonal and spatial features of water chemical composition.

References

1. Arsenteyeva N. Yu., Nokhrin D. Yu., Water quality and microbiological characteristics of Troitsk GRES reservoir, *Water: chemistry and ecology*, 7(25), 22 (2010). (in Russ.).

2. Sokol E. V., Nokhrin D. Yu., Nigmatullina E. N., Gribovski Yu.G. Ecogeochemical state of the reservoir of the Yuzhnouralskaya GRES, *Water Resources*, **35** (6), 715 (2008). (in Russ.).
3. Yu Y., Wang P., Wang Ch., Wang X., Hu B. Assessment of the Multi-Objective Reservoir Operation for Maintaining the Turbidity Maximum Zone in the Yangtze River Estuary, *Int. J. Environ Res Public Health*, **15**(10), 2118 (2018). doi: 10.3390/ijerph15102118.
4. Liro M., Ruiz-Villanueva V., Mikuš P., Wyzga B., Bladé Castellet E. Changes in the hydrodynamics of a mountain river induced by dam reservoir backwater, *Sci Total Environ*, **744**, 140555 (2020). doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140555.
5. Bestuzheva A. S. Problems of ecological health of reservoirs, *Vestnik MGSU*, **2**, 70 (2006). (in Russ.).
6. Zhirnov A. V. *Influence of hydroelectric power plants on the environment*, <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016> (Accessed December 15, 2020). (in Russ.).
7. Khrustaleva M. A., Suslov S. V. Ecological and hydrochemical features of water quality in the Moskvoretsky and Volga water management systems, *Problems of regional ecology*, **3**, 52 (2019). (doi: 10.24411/1728-323X-2019-13052). (in Russ.).
8. Barkhatov V. I., Dobrovolsky I. P., Kapkaev Yu. Sh. Rational use of natural resources of the Chelyabinsk region, *Monograph*, 282 (2015). (in Russ.).
9. Yudin M. F., Tairova A. R., Krasnoperova E. A. Features of accumulation and distribution of heavy metals in the system "water–bottom sediments–hydrobionts", *Monograph*, 200. (2017). (in Russ.).
10. Nokhrin D. Yu. Ecological and veterinary–sanitary condition of reservoirs of the Chelyabinsk region, *Monograph*, 226 (2020). (in Russ.).
11. Shaikhutdinova A. A. Seasonal dynamics of macrozoobenthos at the gradient of mineralization in the Tuzlukkol river, *Scientific notes of the Crimean Federal University V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **5** (71), 184 (2019). (in Russ.).
12. GOST 31861-2012 Water. General requirements for sampling, *Standartinform*, 12 (2013). (in Russ.).
13. GOST R 57164-2016 *Drinking water. Methods for determining the smell, taste and turbidity*, <http://docs.cntd.ru/document/1200140391> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
14. RD 52.24.497-2019 Chroma of natural waters. Methods of measurement by photometric and visual methods, *Gosgidromet*, 20 (2019). (in Russ.).
15. RD 52.08.104-2002. *Methodological guidelines. Turbidity of the water. Methods of performing measurements*, <https://files.stroyinf.ru/Data1/48/48865/> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
16. PND F 14.1:2:3:4.121-97 Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the pH of water samples by the potentiometric method, *Moscow*, 13 (2018). (in Russ.).
17. RD 52.24.395-2017. The hardness of the water. Method of titrimetric measurements with triton B, *Rostov-on-Don*, 30 (2017). (in Russ.).
18. HDPE F 14.1:2:4.261-2010 *Method of measuring the mass concentration of dry and calcined residue in samples of drinking, natural and waste water by gravimetric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
19. PND F 14.1:2:4.254-09 *Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring mass concentrations of suspended and calcined suspended substances in samples of drinking, natural and waste water by gravimetric method*, <http://docs.cntd.ru/document/556339176> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
20. GOST 31957-2012 Methods for determining the alkalinity and mass concentration of carbonates and hydrocarbonates, *Standartinform*, 25 (2013). (in Russ.).
21. PND F 14.1:2: 3.96-97. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of chlorides in samples of natural and treated wastewater by an argentometric method, *Moscow*, 20 (2016). (in Russ.).
22. PND F 14.1:2.159-2000. *Quantitative chemical analysis of water. Method of performing measurements of the mass concentration of sulfate ions in samples of natural and waste water by the turbidimetric method*, <http://docs.cntd.ru/document/1200075508> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
23. GOST 31869-2012. Water. Methods for determining the content of cations (ammonium, barium, potassium, calcium, lithium, magnesium, sodium, strontium) using capillary electrophoresis, *Standartinform*, 23 (2019). (in Russ.).
24. GOST 18165-2014 Water. Methods for determining the aluminum content (Revised edition), *Standartinform*, 25 (2019). (in Russ.).

25. GOST 33045-2014 *Water. Methods for determining nitrogen-containing substances*, <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
26. PND F 14.1:2:4.154-99 *Quantitative chemical analysis of water. Method of performing measurements of permanganate oxidability in samples of drinking, natural and waste water by titrimetric method*, <http://docs.cntd.ru/document/1200056567> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
27. NDP 10.1:2:3.131-2016. Method of determination of biochemical oxygen consumption after 5 days of incubation (BPK5) in samples of drinking, natural and waste water by amperometric method, *Moscow*, 23 (2016). (in Russ.).
28. PND F 14.1:2.116-97 *Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of petroleum products in natural and waste water samples by column chromatography with gravimetric termination*, <http://docs.cntd.ru/document/1200066876> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
29. RD 52.24.368-2006 *Mass concentration of anionic synthetic surfactants in water. the method of performing measurements by the extraction-photometric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837328.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
30. PND F 14.1:2.101-97 *Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of dissolved oxygen in samples of natural and treated wastewater by the iodometric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293846/4293846286.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
31. CV 1.01.17-2004 FR. 1. 31. 2005. 01580 *Water quality. Methods for measuring the content of free carbon dioxide in samples of drinking and natural waters. Titrimetric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293797/4293797540.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
32. PND F 14.1:2:4.50-96. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of total iron in drinking water, surface water and wastewater by photometric method with sulfosalicylic acid, *Moscow*, 20 (2011). (in Russ.).
33. PND F 14.1:2:4.139-98. *Quantitative chemical analysis of water. Methods for measuring the mass concentrations of iron, cobalt, manganese, copper, nickel, silver, chromium and zinc in samples of drinking, surface and waste water by Atomic absorption spectrometry*, files.stroyinf.ru/Index2/1/493832/429832535.htm (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
34. PND F 14.1:2:3:4.179–2002. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of fluoride ions in drinking, surface, underground fresh and wastewater by photometric method with lanthanum (cerium) alizarin complex, *Moscow*, 23 (2012). (in Russ.).
35. *Order of the Federal Agency for Fisheries No. 20 of 18.01.2010 " On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of Fisheries Significance, including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Water Bodies of Fisheries Significance*, <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
36. Durov S. A. Classification of natural waters and graphic representation of their composition, *Reports of the USSR Academy of Sciences*, **59** (1), 87 (1948). (in Russ.).
37. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*, **4** (1), 9 (2001).
38. *TpX – A drawing tool for Windows. 2020*, <https://www.ctan.org/pkg/tpx> (Accessed December 30, 2020).
39. Derkho M. A., Beregovskaya T. I. Some ecological and chemical indicators of drinking water quality, *Materials of the National Scientific conference*, 80 (2018). (in Russ.).
40. Kut'yavina T. I. Studying the water quality of small reservoirs (on the example of reservoirs in the north-east of the Kirov region, *Proceedings of the International Youth Conference*, 119 (2013). (in Russ.).
41. Makarenko D. V., Parshina S. L., Snezhko A. A. Influence of hydroelectric power plants on the environment, *Actual problems of aviation and cosmonautics*, **2**, 181 (2015). (in Russ.).
42. Sokolov D. I. Change in the oxidability and color of water under the influence of the reservoir, *Bulletin of the Moscow University*, 6, 9 (2013). (in Russ.).
43. Artemenko V. M., Ilyin Yu. P., Kucherenko V. S., Riabinin A. I., Bobrov S. A., Gutsalyuk A. N., Malchenko Y. A., Saltykova L. V. Hydrochemical regime and microelement composition of the waters of the Chernorechensk reservoir in 1991–2004, *Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources*, 12, 129 (2005). (in Russ.).

44. Zakonnov V. V., Grigorieva I. L., Zakonnova A. V. Spatiotemporal transformation of the ground complex of Volga reservoirs, *Water management of Russia*, 3, 35 (2018). (in Russ.).
45. Selezneva A. V., Seleznev V. A. Experience of ecological regulation of biogenic load on the example of the Saratov reservoir, *Bulletin of Samara Scientific Centre of Russian Academy of Science*, **13**, 26 (2011). (in Russ.).
46. Selezneva A. V., Seleznev V. A., Bespalova K. V. Mass development of algae in reservoirs of the Volga river in low water conditions, *Povolzhskiy journal of ecology*, 1, 88 (2014). (in Russ.).
47. Anichkina N. V. Ecological state of the Matyr reservoir and its influence on the enclosing landscape of the Oka–Don lowland, *Successes of modern natural science*, 10, 60 (2017). (in Russ.).