

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ РЯДА ВОДОХРАНИЛИЩ ЮЖНОГО УРАЛА

Капиллярно-электрофоретическим, атомно-абсорбционным спектрофотометрическим и химико-аналитическими методами изучен состав воды семи Южноуральских водохранилищ. С использованием графических методов (диаграмма Пайпера, цветовое ранжирование) выявлены общие закономерности и особенности водоёмов по 35 показателям состава воды.

Введение

Контроль экологического состояния водохранилищ представляет особую сложность ввиду их многоцелевого использования и невозможен без знания основных закономерностей формирования естественного химического состава воды в местных геохимических условиях. Количество доступной информации по гидрохимии Южноуральских водохранилищ невелико: большая её часть не была опубликована и содержится в преимущественно утративших актуальность отчётах о НИР [1-3]. За последнее десятилетие в ходе работ по оценке экологического и ветеринарно-санитарного состояния рыбохозяйственных водоёмов в рамках исследовательской тематики ВНИИВСГЭ РАСХН (ОНТП 05.03.28) авторами был накоплен значительный материал по гидрохимическим особенностям ряда водохранилищ. Цель работы заключалась в обобщении полученной информации.

Материалы и методы исследования

Оbjectами исследования стали 7 водохранилищ Челябинской области. Долгобродское (ДВ, север области) – молодой и слабозагрязнённый водоём в стадии заполнения; Аргазинское (АВ) – наиболее крупное, находится в ближайшей зоне влияния Карабашского медеплавильного комбината и принимает воды, дренирующие его хвостохранилища; Шершнёвское (ШВ) – питьевой водоём г. Челябинска, расположен-

Д.Ю. Нохрин*,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Уральского филиала Государственного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института ветеринарной санитарии, гигиены и экологии Российской академии сельскохозяйственных наук (Уральский филиал ГНУ ВНИИВСГЭ РАСХН)

Ю.Г. Грибовский, доктор ветеринарных наук, директор Уральского филиала ГНУ ВНИИВСГЭ РАСХН

Н.А. Давыдова, соискатель, младший научный сотрудник Уральского филиала ГНУ ВНИИВСГЭ РАСХН



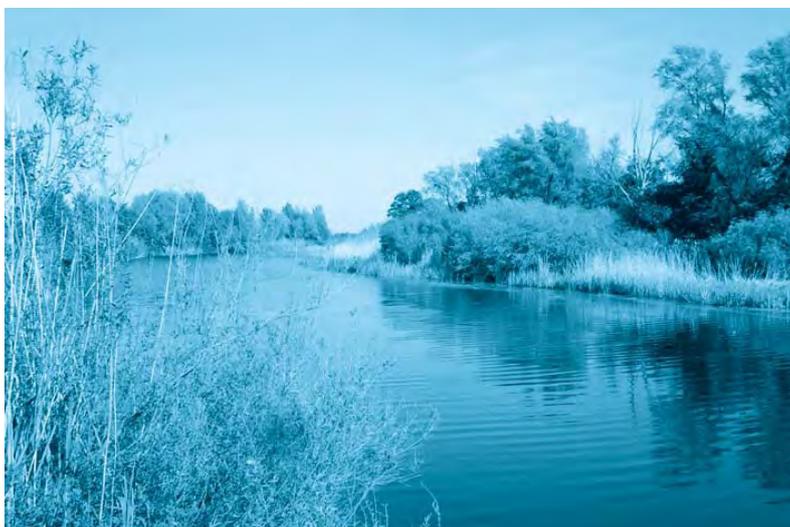
ный на его окраине, с повышенной техногенной и рекреационной нагрузками; Южноуральское (ЮУВ) и Троицкое (ТВ) – водохранилища-охладители ГРЭС, работающих на высокозольных углях; Верхнеуральское (ВУВ) – второй по величине водоём с минимальной техногенной нагрузкой; Магнитогорское водохранилище (МВ, юг области) – делит г. Магнитогорск на 2 части и включает Заводский пруд, принимающий разогретые технологические воды Магнитогорского металлургического комбината (ММК). Параметры водохранилищ приведены в *табл. 1*.

Пробы воды отбирались в 2000-2008 гг., в безлёдный период, преимущественно со среднего горизонта. Определение температуры и растворённого кислорода проводилось *in situ*. Анализ содержания главных ионов, соединений азота и фосфора, а также ионов F^- , Li^+ , Str^{2+} и Ba^{2+} был проведен методом капиллярного электрофореза на системе «Капель 103-Р» (НПФАП «Люмэкс», Россия) по методикам [4-5]. Сбор данных, анализ полученных электрофореграмм и расчеты выполнены в пакете «МультиХром для Windows» (версии 1.5-1.52u, ЗАО «Амперсенд»). Щёлочность определялась титриметрией с метиловым оранжевым, окисляемость – перманганатным методом Кубеля, сероводород – реакцией со свинцово-уксус-

* Адрес для корреспонденции: nokhrin8@mail.ru

ной бумагой [6], жёсткость и углекислый газ – расчётными методами [7]. Пробоподготовка для определения Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb проводилась методом сухой минерализации без предварительной фильтрации [8], анализ – на атомно-абсорбционном спектрофотометре «AAS-1» («Karl Zeiss Jena», Германия) в пламени смеси ацетилен-воздух или пропан-воздух.

Средние значения для элементов, содержащих цензурированные наблюдения (менее предела обнаружения) находили по робастному методу Хелсела в пакете UnCensor (v. 4.0). При интерпретации результатов анализа химического состава воды использовались значения предельно допустимых концентраций веществ в водоемах рыбохозяйственного значения (ПДК_{ВР}) [9], а также диаграмма Пайпера, построенная в пакете GW_Chart (v. 1.21).



Результаты и их обсуждение

Данные о составе воды изученных водохранилищ представлены в *табл. 2*.

Во всех водоемах вода была пресной (в ДВ – ультрапресной, в ТВ – с относительно повышенной минерализацией) и, за исключением ЮУВ, имела нейтральную или слабощелочную реакцию.

Таблица 1

Параметры семи Южноуральских водохранилищ

Показатели	Долго-бродское	Аргазин-ское	Шершнёв-ское	Южно-уральское	Троицкое	Верхне-уральское	Магнито-горское
Река	Уфа	Миасс	Миасс	Увелька	Увелька, Уй	Урал	Урал
Бассейн	Волга	Обь	Обь	Обь	Обь	Урал	Урал
Год создания	1989	1946	1969	1952	1960	1964	1937
Регулирование стока	многолет.	многолет.	сезонное	сезонное	сезонное	многолет.	сезонное
Тип	русловый	озёрный	озёрный	озёрный	русловый	озёрный	русловый
Каскад, № п/п	–	1	1	2	2	3	3
Положение в каскаде, № п/п	–	1	2	1	2	1	2
НПУ, м	366,0	274,5	224,5	201,0	161,0	382,0	351,0
Полный объём, млн. м ³	333,0	966,1	157,0	71,6	45,1	601,0	174,0
Полезный объём, млн. м ³	273,0	786,1	67,0	61,7	22,1	569,0	27,0
Площадь зеркала, км ²	35,2	102	39,0	18,2	10,8	78,0	33,4
Длина, км	19	22	18	10	20	35	18
Ширина максимальная, км	2,2	11,6	4,0	2,2	0,78	4,0	2,2
Глубина максимальная, м	32	14,5	14	12	14	25	12
Глубина средняя, м	9,5	9,5	4,0	3,9	4,2	7,7	5,2
Наполнение, %	51	71–92	84,7–89,2	99,7–103	99,9–104	89–94	100,1–101

На *рис. 1* соотношение главных ионов изображено на диаграмме Пайпера.

Как видно из её правой части, все водоёмы сосредоточились в малом треугольнике гидрокарбонатных вод. Особенности анионного состава были повышенная доля SO_4^{2-} в ДВ и Cl^- в ТВ. В целом, разнообразие анионного состава обеспечивалось приблизительно равными долями изменчивости HCO_3^- и SO_4^{2-} при вдвое меньшей доле изменчивости Cl^- . В случае катионов 6 из 7 водоёмов демонстрировали смешанный (преимущественно кальциево-магниевый) состав и только в ДВ наблюдалось отчётливое преоблада-

Таблица 2

Химический состав воды семи уральских водохранилищ

№ п/п	Показатели	Долго-бродское	Аргазинское	Шершнёвское	Южно-уральское	Троицкое	Верхне-уральское	Магнитогорское
Период исследования, мес.; годы		2; 1	3; 2	5; 5	3; 3	3; 3	2; 1	1; 1
Количество проб, шт.		18	20	36	21	22	15	10
Общие								
1	Водородный показатель (рН)	7,48	7,36	7,90	8,62	7,79	8,17	7,55
2	Щелочность общая, мг-экв/дм ³	0,53	2,32	2,79	4,25	4,26	3,07	3,70
3	Жесткость общая, мг-экв/дм ³	0,57	3,12	3,45	4,13	5,37	3,05	4,89
4	Минерализация, мг/дм ³	52,0	248	303	435	573	311	437
Главные ионы, мг/дм³								
5	Хлориды (Cl ⁻)	0,67	8,6	7,4	17,8	53,8	12,7	30,2
6	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	15,7	52,7	31,1	49,9	109,5	23,8	64,5
7	Гидрокарбонаты (HCO ₃ ⁻)	21,5	124,0	186,7	239,7	251,2	195,3	220,6
8	Карбонаты (CO ₃ ²⁻)	0,09	0,35	1,6	8,6	1,6	1,1	1,0
9	Калий (K ⁺)	0,95	2,1	2,7	5,3	4,7	4,4	7,5
10	Натрий (Na ⁺)	1,56	7,7	13,3	36,1	58,5	23,7	28,0
11	Магний (Mg ²⁺)	2,28	18,3	18,9	24,7	30,1	18,9	26,1
12	Кальций (Ca ²⁺)	7,63	32,4	38,4	42,6	57,9	30,0	55,1
Биогенное (мг/дм³) и органическое вещество								
13	Аммоний (NH ₄ ⁺)	0,425	0,246	0,270	0,090	0,082	0,005	0,038
14	Нитриты (NO ₂ ⁻)	0,088	0,258	0,092	0,430	0,956	0,024	0,146
15	Нитраты (NO ₃ ⁻)	0,702	0,495	0,493	0,901	1,66	0,020	2,92
16	Гидрофосфаты (HPO ₄ ²⁻)	0,419	0,514	0,895	2,93	1,84	0,039	0,400
17	Окисляемость, мгО/дм ³	8,05	5,23	6,20	6,77	4,77	–	–
18	БПК ₅ , мг O ₂	–	3,75	3,96	3,24	3,45	–	3,33
Растворенные газы, мг/дм³								
19	Кислород (O ₂)	–	7,75	7,56	6,64	7,66	7,72	5,66
20	Углекислый газ (CO ₂)	2,0	14,1	7,1	2,9	14,1	4,9	15,2
21	Сероводород (H ₂ S)	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Микроэлементы и тяжелые металлы, мкг/дм³								
22	Литий (Li ⁺)	13,8	55,1	~ 11,3	20,9	34,4	–	5,3
23	Фтор (F ⁻)	125	834	569	435	1006	–	665
24	Хром (Cr)	< 15	< 24,7	< 19,2	100	~ 32,9	–	< 5
25	Марганец (Mn)	41,8	41,4	41,8	49,7	39,3	35,4	50,1
26	Железо (Fe)	224	363	368	743	441	183	162
27	Кобальт (Co)	< 6,1	~ 4,3	~ 1,7	2,8	11,7	7,0	< 2
28	Никель (Ni)	8,7	32,8	9,0	6,3	~ 32,5	12,6	< 3
29	Медь (Cu)	13,1	25,4	21,7	22,1	23,9	30,3	5,6
30	Цинк (Zn)	10,8	16,9	95,5	47,3	182	68,1	23,0
31	Мышьяк (As)	–	–	–	18,3	2,32	–	–
32	Стронций (Sr ²⁺)	42,1	138	228	312	388	–	128
33	Кадмий (Cd)	< 1,9	~ 3,3	< 2,1	1,8	< 1,5	–	< 1
34	Барий (Ba ²⁺)	53,0	37,5	57,2	183	79,5	–	78,7
35	Свинец (Pb)	< 4,5	~ 5,0	< 3,7	30,3	10,2	58,6	< 3

Примечание. Выделены значения, превышающие ПДК_{вр}. «~» приблизительные средние значения для элементов, содержащих значительную долю цензурированных наблюдений. «-» определения не проводились.



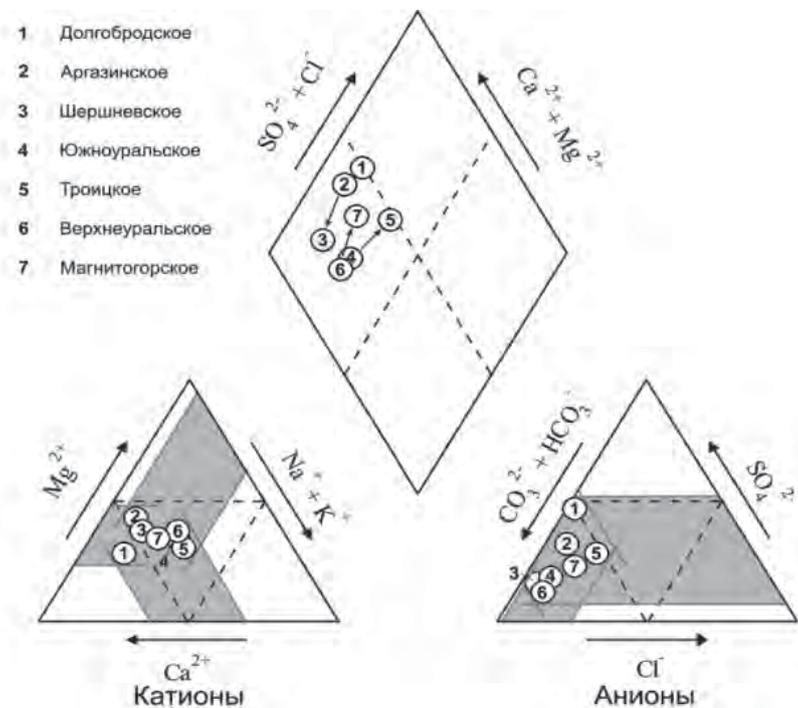


Рис. 1. Соотношения главных ионов в составе воды Южноуральских водохранилищ на диаграмме Пайпера. Серым отмечены границы варьирования. Малые стрелки указывают направления изменения состава воды в каскадах.

ние эквивалентной концентрации Ca^{2+} . В ТВ отмечался почти полный баланс основных щелочных и щелочноземельных элементов: процентное соотношение эквивалентного содержания $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+} : \text{Na}^+ + \text{K}^+$ составило 36,5 : 31,4 : 32,1. Разнообразие катионного состава водоёмов обеспечивалось приблизительно равными долями изменчивости Ca^{2+} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ при несколько

меньшей доле изменчивости Mg^{2+} . На общем поле диаграммы все изученные водоёмы попали в ромб гидрокарбонатно-кальциевых и гидрокарбонатно-магниевых вод. Соотношение главных ионов в каскадах водохранилищ изменялось разнонаправлено (рис. 1), но преимущественно за счёт анионов, при относительном постоянстве соотношения катионов.

Как видно из табл. 2, по общим показателям и главным ионам только в двух случаях наблюдались превышения ПДК_{вр}. Напротив, по нитратам, фосфатам и БПК во всех мезосапробных водоёмах, кроме приближающегося к олигосапробному ВУВ, наблюдалась неблагоприятная ситуация. Низкая концентрация кислорода была отмечена только в МВ. Из микроэлементов наблюдалось тотальное превышение ПДК по Mn, Fe, Cu и Zn, в отдельных случаях – по Pb, Ni, Co, F⁻. Анализ превышений ПДК_{вр} позволил выявить две особенности рассматриваемых водоёмов. 1) Известную для всех водохранилищ напряжённость процессов преобразования органического вещества и 2) геохимические особенности Уральского региона, проявляющиеся в повышенном естественном фоне металлов.

В попытке обобщить информацию табл. 2 был использован простейший графический приём – раскраска цветами. Для этого водоёмы были ранжированы по каждому показателю от минимума (белый цвет) через промежуточные значения (оттенки серого) и до максимума (чёрный цвет). Полученное таким образом изображение представлено на рис. 2.



Показатели	Долго-бродское	Арга-зинское	Шерш-нёвское	Южно-ураль-ское	Троиц-кое	Верхне-ураль-ское	Магни-тогор-ское
Каскад	—	1		2		3	
Положение в каскаде	—	1	2	1	2	1	2
<i>Общие</i>							
рН							
Щелочность							
Жесткость							
Минерализация							
<i>Главные ионы</i>							
СГ							
SO ₄ ²⁻							
HCO ₃ ⁻							
CO ₃ ²⁻							
K ⁺							
Na ⁺							
Mg ²⁺							
Ca ²⁺							
<i>Биогенное и органическое вещество</i>							
NH ₄ ⁺							
NO ₂ ⁻							
NO ₃ ⁻							
HPO ₄ ²⁻							
Окисляемость						—	—
БПК ₅	—					—	
<i>Растворенные газы</i>							
O ₂	—						
CO ₂							
<i>Микроэлементы и тяжелые металлы</i>							
Li ⁺						—	
F ⁻						—	
Cr						—	
Mn							
Fe							
Co							
Ni							
Cu							
Zn							
Sr ²⁺						—	
Cd						—	
Ba ²⁺						—	
Pb							

Рис.2. Ранжирование водоёмов по величине показателя: минимум – белый цвет, максимум – чёрный цвет.

Общие показатели и главные ионы

Наименьшие концентрации главных ионов, а равно и жесткости, и общей минерализации были обнаружены в ДВ, расположенном в горно-лесной природной зоне, и в АВ, расположенном на границе горно-лесной и лесостепной зон. Наиболее минерализованными были воды водохранилищ степной зоны: МВ

и ТВ. Во всех трёх каскадах наблюдался рост минерализации от первого водоёма ко второму: в паре АВ-ШВ он составил 22 %, в ЮУВ-ТВ – 32 %, в ВУВ-МВ – 41 %. В двух последних случаях вероятен техногенный вклад в минерализацию за счёт испарения разогретых вод, поступающих с Троицкой ГРЭС и ММК.

Биогенное и органическое вещество

По концентрации NH₄⁺ и окисляемости закономерно выделялось молодое ДВ. Кон-

центрация NO_2^- была высока в водохранилищах ГРЭС на р. Увельке, она в 5-12 раз (в отдельных пробах до 60 раз) превышала ПДК. Не исключено, что этому способствует тепловое загрязнение данных водоёмов, приводящее к дефициту кислорода, и, возможно, к замедлению окисления аммонийного азота до нитратов и его накоплению в форме токсичного и мутагенного нитрит-иона. Эти же объекты выделялись высокой концентрацией фосфатов. Биохимическое потребление кислорода было относительно высоким в водохранилищах р. Миасс и отражает общие для данной реки проблемы санитарного качества воды, связанные с густотой расположенных вдоль неё населённых пунктов [10].

Растворённые газы

Неблагоприятный газовый режим отмечался, главным образом, в водоёмах, принимающих разогретые технологические воды предприятий: МВ и ЮУВ. В ТВ участки с низкими концентрациями кислорода (до $5,5 \text{ мг/дм}^3$) вблизи водовыпусков ГРЭС перемежаются с наветренными проточными участками русла (свыше 10 мг/дм^3), что обеспечивает, в среднем, приемлемые его уровни. Сероводород обнаружен не был.

Микроэлементы и тяжёлые металлы

Максимальная концентрация микроэлементов отмечалась в ЮУВ и ТВ, что должно быть связано, в первую очередь, с особенностями реки Увелька, поскольку загрязнение от деятельности ГРЭС характеризуется иным спектром элементов [11]. Минимальные концентрации микроэлементов были характерны

Ключевые слова:

водохранилища,
вода,
химический состав

для ДВ и МВ, а промежуточное положение занимали АВ, ШВ и ВУВ. В целом прослеживается закономерность, что наибольшие концентрации элемента отмечаются в водоёмах, где этот элемент имеет естественное, а не техногенное происхождение. Исключениями являются автотранспортный (рекреационный) Cd в АВ и, возможно, Zn в ТВ и Сг в ЮУВ.

Заключение

Важно отметить, что результаты ранжирования водоёмов по металлам противостоят как имеющимся сведениям о величине техногенной нагрузки, так и данным о накоплении этих же элементов в донных отложениях [11]. Это может быть результатом малой растворимости техногенных носителей металлов (металлическая окалина, зольные и шлаковые частицы, силикатные микросферы с вкраплениями рудных фаз) и должно учитываться при оценке микроэлементной нагрузки на водоёмы.

Литература

1. Изучить и разработать мероприятия по предотвращению влияния антропогенного фактора на экосистемы водоёмов Южного Урала: Отчёт о НИР / Уральский НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов. 5.1.Т-4А. Руководитель: Кривопалова З.Ф. Челябинск, 1982. 108 с.
2. Разработать мероприятия по улучшению качества воды Южноуральского водохранилища и устранению помех в водоснабже-



нии: Отчет о НИР / Южно-Урал. фил-л РосНИИВХ. Руководитель: Абрамова Т.Н. Челябинск, 1992. 98 с.

3. Совместная программа управления реками. Отчет по бассейну р. Тобол: Отчёт о НИР (промежуточ.) / Mott MacDonald, Arcadis Euroconsult и Программа по водному законодательству и политике. Руководители: Якоб Й.А., Уорен С. Челябинск, 2003. 96 с.

4. Методика выполнения измерения массовой концентрации катионов цезия, калия, натрия, лития, магния, кальция, стронция и бария в пробах природных, питьевых и сточных вод и катионов аммония в пробах сточных вод с использованием системы капиллярного электрофореза "Капель": М 01-31-99. СПб: ООО "Люмэкс", 1999. 34 с.

5. Методика выполнения измерения массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природной, питьевой и сточной вод с применением системы капиллярного электрофореза "Капель": ПНД Ф 14.1:2:4.157-99. М.: Гос. ком. по охране окруж. среды, 1999. 34 с.

6. Новиков Ю.В. Методы исследования качества воды водоемов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина // М.: Медицина, 1990. 400 с.

7. Алекин О.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алекин, А.Д. Семей-



нов, Б.А. Скопинцев // Л.: Гидрометеиздат, 1989. 351 с.

8. Методические указания по атомно-абсорбционным методам определения токсичных элементов в пищевых продуктах и пищевом сырье. М.: Гос. ком. санэпид. надзора РФ, 1992. 27 с.

9. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.

10. Арсентьева Н.Ю. Микробиологическая характеристика экологического состояния реки Миасс и ее водохранилищ / Н.Ю. Арсентьева, Д.Ю. Нохрин, Ю.Г. Грибовский // Вестник Челябинского гос. ун-та. Сер.: Экология. Природопользование. 2010. Вып. 4, № 8 (189). С. 52-58.

11. Нохрин Д.Ю. Подходы к идентификации происхождения тяжелых металлов в донных отложениях и проблемы нормирования на примере двух Уральских водохранилищ ГРЭС / Д.Ю. Нохрин, Ю.Г. Грибовский, Н.А. Давыдова // Водные ресурсы. 2008. 35, № 5. С. 566-573.



D. Yu. Nokhrin, Yu.G. Gribovskiy, N.A. Davydova

CHEMICAL COMPOSITION OF WATER FOR SOUTHERN URALS RESERVOIRS

Capillary-electrophoretic, atomic absorption, spectrophotometric and analytical analyses were used for water composition determination for Southern Urals reservoirs. With

graphical approach (Payper's diagram, colour ranking) general regularities in water composition were shown, with 35 criteria used.

Key words: water reservoirs, water, chemical composition

