

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЧУСОВСКОГО ВОДОЗАБОРА ГОРОДА ПЕРМИ*



А.К. Лаптева,
Институт экологии и генетики
микроорганизмов УрО РАН



М.А. Шишкин,
Институт экологии и генетики
микроорганизмов УрО РАН



И.Л. Масленникова,
Институт экологии и генетики
микроорганизмов УрО РАН

Исследовались образцы речной воды и донного ила у оголовка водозабора, а также вода на этапах водоподготовки, в магистральной сети на насосных станциях и в конечных пунктах водопотребления.

Цель работы – химико-аналитическая и экотоксикологическая оценка загрязненности воды, подаваемой потребителю с Чусовского водозабора.

Исследованы неорганические и органические поллютанты, общая токсичность и бактериологические показатели исходной и очищенной воды.

Ключевые слова: речная вода, донные отложения, органические и неорганические поллютанты, общая токсичность, экотоксикологическая оценка, санитарно-гигиенические нормативы.

Обеспокоенность пермской общественности ситуацией с реконструкцией Чусовских очистных сооружений (ЧОС) и качеством водопроводной воды отражена в многочисленных выступлениях СМИ [1–5 и др.], разные аспекты проблемы водоснабжения города рассматривались в

научных публикациях [6–11].

Качество подаваемой населению с ЧОС воды зависит от степени антропогенной трансформации водной экосистемы у оголовка, технологических схем водоподготовки, а также вторичного загрязнения в магистральных водоводах.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-05-96017.

Исследования загрязнения речной воды и донных отложений (ДО) проводили в 2011–2013 гг. в характерные фазы водного режима Камского водохранилища. Было отобрано и проанализировано по 3 пробы в период весеннего наполнения, по 4 – в режиме летнего «наполнения сработки» и по 3 – перед ледоставом. В глубокую сработку зимой была отобрана только проба речной воды.

Водоподготовку на ЧОС оценивали в образцах, отобранных после смесителей (2 пробы), после фильтров (2 пробы) и на станции второго подъема (2 пробы) в мае – июле 2013 года.

Качество воды, подаваемой с очистных сооружений, изучали на 4 насосных станциях по ходу ее движения от ЧОС в октябре 2012 и в июле 2013 года.

Водопроводную воду у конечных потребителей исследовали в октябре 2013 года в 5 школах, расположенных в различных микрорайонах г. Перми. Наряду с традиционным подходом были применены биологические методы [12, 13].

ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ У ОГОЛОВКА ВОДОЗАБОРА

Гидрохимический режим водохранилища у Чусовского водозабора обусловлен различием в химическом составе и водности рек Чусовой и Сылвы, регламентом работы Камской ГЭС и сбросами предприятий.

Вода на глубине оголовка отличалась высокой цветностью, в отдельных пробах весной и летом норматив был превышен в 5–10 раз (табл.1). Также она загрязнена биогенами. В единичных пробах в весенне-летний период содержание NO_3^- превысило предельно допустимую концентрацию (ПДК_в) для воды водных объектов питьевого назначения в 1,3–2 раза, но средние значения не вышли за пределы норматива. Летом и перед ледоставом в воде появляется ион аммония (максимальное значение – 23,4 мг/дм³ (47 ПДК_в), при-

чем среднее содержание NH_4^+ превысило норматив более чем в 11 раз. В период открытой воды (май–октябрь) наблюдаются высокие концентрации фосфора фосфатов, в среднем от 0,012 до 0,036 мг/дм³, что составляет 120–360 ПДК_в.

Зимой общая жесткость воды на глубине оголовка становится в 3 раза выше, чем в поверхностном слое, достигая 10–11 мг-экв/дм³. [11]. В пробе от 04.04.2012 г. ее величина составила 11,1 мг-экв/дм³; содержание ионов кальция, магния, карбонатов и гидрокарбонатов, сульфатов и величина сухого остатка также было наибольшим. Во время весеннего наполнения водохранилища жесткость снизилась в среднем до 1,45 мг-экв/дм³ и повысилась к осени до 5,23 мг-экв/дм³.

Химическое потребление кислорода (ХПК) весной и перед ледоставом незначительно превысила норматив, в отдельных пробах достигая 1,5 ПДК.

Забираемая вода имела повышенные концентрации Al, Fe, Mn, Ni, Cd, Pb и Cr (см. табл. 1). Зимой норматив для Fe был превышен в 2 раза, Mn – в 1,4 и Pb – в 5 раз. Содержание Fe во время весеннего паводка в отдельных пробах достигает 7 ПДК_в при среднем значении 3,6 ПДК_в. Летом и осенью превышения по Fe не наблюдалось. Содержание Mn достигало максимума также весной – от 4,8 ПДК_в в разовых пробах, до 2 ПДК_в – в среднем. В другие сезоны в отдельных пробах наблюдались концентрации Mn до 1,4–1,5 ПДК_в. Концентрации Ni изменяются в широких пределах – от 4 ПДК_в до значений, на порядок меньших ПДК_в. В 2011/12 гидрологическом году повторяемость превышений ПДК_в для Ni была 100 %. Содержание Cd в зимней пробе оказалось ниже предела обнаружения. В другие сезоны концентрация Cd изменялась от аналитического нуля до 6,9–9 ПДК_в, при средних значениях от 2,4 до 3,1 ПДК_в. Содержание Pb превысило норматив только в 2 пробах из 11. Весьма высокое содержание Al отмечено только в одной пробе (08.06.2011 г.) – 6,6 ПДК_в; весной и осенью 2013 г. содержание Al

Таблица 1

Основные показатели качества воды на глубине оголовка ЧОС (2011–2013 гг.)

Показатель	ПДК _в , ГН 2.1.51315-03	Класс опасности/ показатель вредности	Фазы гидрологического режима водохранилища			
			Глубокая сработка зимой (1 проба)	Весеннее наполнение (3 пробы)	Наполнение- сработка летом (4 пробы)	Перед ледоставом (3 пробы)
Цветность, градус	20		50	200-130*/163**	100-30/66,7	60-40/50
pH	6		7,68	7,1-6,71/6,87	7,1-6,88/7,0	7,6-6,87/7,18
Растворенный O ₂ , мг-экв/дм ³	не менее 5		9,44	9,52-8,36/8,85	9,6-8,2/8,67	9,6-8,96/9,38
Cl ⁻ , мг/дм ³	350	4/орг.привк.	32,2	5,94-3,4/4,92	16,96-10,6/ 11,95	22,3-19,68/21,3
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	3,3	2/с.-т.	0,09	0,678-0,05/0,45	2,26-отс./0,65	0,81-0,005/0,28
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	45,0	3/с.-т.	0,136	57,7-1,69/20,4	89,3-1,63/21,3	44,1-3,79/16,2
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	500	4/орг.привк.	408,2	24-3,36/10,7	177,7-9,6/63,8	163,3-12,5/55,3
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³			248,8	66,5-51,2/59,6	115,9-86,0/ 101,4	128,7-103,7/ 118,1
CO ₃ ²⁻ , мг/дм ³			13,8	отс.	18-отс./4,5	12,0-6,1/8,83
P _{фосфатов} , мг/дм ³	0,0001	1/с.-т.	отс.	0,098-0,045/ 0,058	0,0163-отс./ 0,009	0,055-0,0068/ 0,025
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0,5	4/орг.зап.	отс.	отс.	23,4-0,015/5,86	12,7-0,004/5,57
Ca ²⁺ , мг/дм ³	100***		200,4	30,1-18,2/24,4	102,2-40,7/69,8	86,2-82,16/84,2
Mg ²⁺ , мг/дм ³	50***		13,4	3,64-1,2/2,63	7,3-3,6/5,86	20,67-7,3/12,5
Fe _{общ.} , мг/дм ³	0,3	3/орг.окр.	0,61	2,06-0,3/1,08	0,33-0,12/0,2	0,13-0,1/0,12
Al ³⁺ , мг/дм ³	0,2	2/с.-т.	не опр.	1,33-0,11/0,58	0,19-0,063/0,12	0,4
Сухой остаток, мг/дм ³	1000		1097,8	159-108,3/ 132,4	543,6-184,1/325	465-317/397,2
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	7 (не более 10)		11,1	1,6-1,2/1,45	5,7-2,46/3,97	5,8-4,9/5,23
Щелочность, мг-экв/дм ³			4,31	1,1-0,84/0,98	1,8-2,2/1,8	2,2-1,84/2,08
БПК ₅ , мгO ₂ /дм ³	3,0		1,04	2,48-1,7/2,07	2,7-0,88/1,71	3,2-1,78/2,08
ХПК, мгO ₂ /дм ³	15		7,96	22-8/16,5	14,2-6,78/9,48	22,75-9,4/16,8
Cr, мг/дм ³	0,05	3/с.-т.	отс.	0,0072-отс./ 0,0036	0,098-отс./ 0,026	0,0076-отс./ 0,0025
Mn, мг/дм ³	0,1	3/орг./окр.	0,14	0,475-0,02/0,21	0,15-0,06/0,1	0,15-0,04/0,08
Ni, мг/м ³	0,02	2/с.-т.	0,04	0,023-0,005/ 0,016	0,04-0,003/ 0,012	0,086-0,002/ 0,031
Cu, мг/дм ³	1,0	3/орг./окр.	0,008	0,011-0,006/ 0,008	0,02-0,001/ 0,006	0,007-0,003/ 0,005
Zn, мг/дм ³	1,0	3/общ.сан.	0,05	0,046-0,0125/ 0,024	0,0225-0,009/ 0,015	0,042-0,0125/ 0,024
Cd, мг/дм ³	0,001	2/с.-т.	<0,0001	0,0069- <0,0001/ 0,0024	0,009-<0,0001/ 0,0024	0,009-<0,0001/ 0,0031
Hg, мг/дм ³	0,0005	1/с.-т.	отс.	<0,0001-отс./ <0,0001	0,0001-отс./ 0,00008	0,0001-<0,0001/ 0,0001
Pb, мг/дм ³	0,03(0,01)	2/с.-т.	0,05	0,003-отс./ 0,002	0,007-отс./ 0,003	0,05-отс./0,019

Примечание: * – размах содержаний; ** – среднее значение; *** – норматив ЕС для питьевой воды; «отс.» – отсутствие ингредиента в пробе; выделенные значения – превышают нормативные.

было на уровне 1,6–2 ПДК_в. Только в одной пробе летом определено 2 ПДК_в Cr.

Из органических соединений в забираемой на ЧОС воде с фактором сходства более 80 % идентифицированы углеводороды (алканы, алкены), кислородсодержащие соединения (спирты, сложные эфиры, фенолы). Наиболее распространены в речной воде сложные эфиры фталевой кислоты – фталаты (ДБФ, ДЭФ, ДЭГФ, ДМФ), относящиеся к стойким органическим соединениям. В среднем их относительная доля составила 89,2 %. Доля углеводородов и спиртов – 5,3–4,7 % соответственно, для хлорпроизводных углеводородов – 0,55 %, фенолов – 0,18 %.

Суммарное содержание фталатов изменяется от 0,02 до 0,68 мг/дм³ и не превышает нормативов. И только в одной пробе, от 17.10.2013 г., концентрация наиболее опасного ДЭГФ (I класс опасности с канцерогенным воздействием) была 0,634 мг/дм³ или 79 ПДК.

В целом, вода в районе оголовка ЧОС характеризовалась невысокими средними значениями коэффициента комплексности загрязнения (K_j , %) [14]: 2011 г. – 34,3 %, 2012 г. – 34,1 %, 2013 г. – 19 %.

В конце зимы при глубокой сработке водохранилища вода имела допустимую величину индекса токсичности ($T = 18,7 \pm 0,5$ %). Во время весеннего наполнения (конец мая – начало июня) водохранилища также наблюдался допустимый уровень или отсутствие токсичности. Значительные колебания индекса токсичности (от нуля до $42,1 \pm 3,5$ %) характерны для режима «наполнения – сработки» водохранилища летом и осенью. За весь период наблюдений (13 образцов) забираемая ЧОС вода была токсична только дважды – в конце октября 2011 г. и в конце августа 2013 г. (рис. 1). Высокому индексу токсичности воды в октябре соответствовало и высокое значение коэффициента K_j [15], а во втором случае такой зависимости не выявлено: K_j составил всего 18,8 %. Вероятно, что ухудшение качества воды и загрязнение донных отложений осенью 2011 г. связано с погодными условиями и

отмиранием гидробионтов.

Количество сапрофитных бактерий (N_s) за отчетный период увеличивалось в ряду зима–весна–лето–осень (табл. 2). Зимой вода отнесена к классу «чистая», весной – «удовлетворительной чистоты», летом – «загрязненная», осенью – «грязная» [16]. Коли-индекс воды соответствовал классу воды «удовлетворительной чистоты» во все сроки. Однако количество фекальных колиформ в воде во все сроки превосходило допустимый уровень (4×10^3 КОЕ/л), принятый департаментом по защите окружающей среды Флориды [17]. Это свидетельствует о необходимости пересмотра стандартов качества воды водохранилищ в России в соответствии с мировыми для проведения полной очистки природной воды.

Для водной экосистемы, особенно находящейся под антропогенным воздействием, важным фактором формирования химического состава водных масс становятся донные отложения [18]. У оголовка водозабора в тонкодисперсном сером иле с редкими включениями гальки и раковин беззубки выявлена устойчивая многолетняя ассоциация накапливающихся относительно кларка литосферы элементов: $V_{8,3} > V_{8,6} > Sb_{7,4} > Hg_{4,6} > P_{2,5} > Mn_{1,6} > Cd_{1,4}$. Все они отнесены к высокотоксичным элементам [19]. В единичных образцах отмечены повышенные содержания Li ($K_c = 1,9$), Ti (7,2), Zn (1,7), As (1,5) и Pb (1,7). Остальные элементы в отдельных случаях имели близкларковые значения или не накапливались (табл. 3).

В экологическом отношении репрезентативны оценки водорастворимых форм металлов (табл. 4). Из донного ила в воду могут поступать Mg, K, Ca, Mn, Fe, Ni, Cd и Pb, и вероятно, высокая жесткость забираемой воды зимой обеспечивается не только подтоком более жестких вод р. Сылвы, но и поступлением Ca и Mg из донных отложений. Высокие концентрации Mn, Fe, Ni, Cd, Pb в отдельных пробах воды зимой и во время летне-осеннего режима также свидетельствуют о вторичном загрязнении.

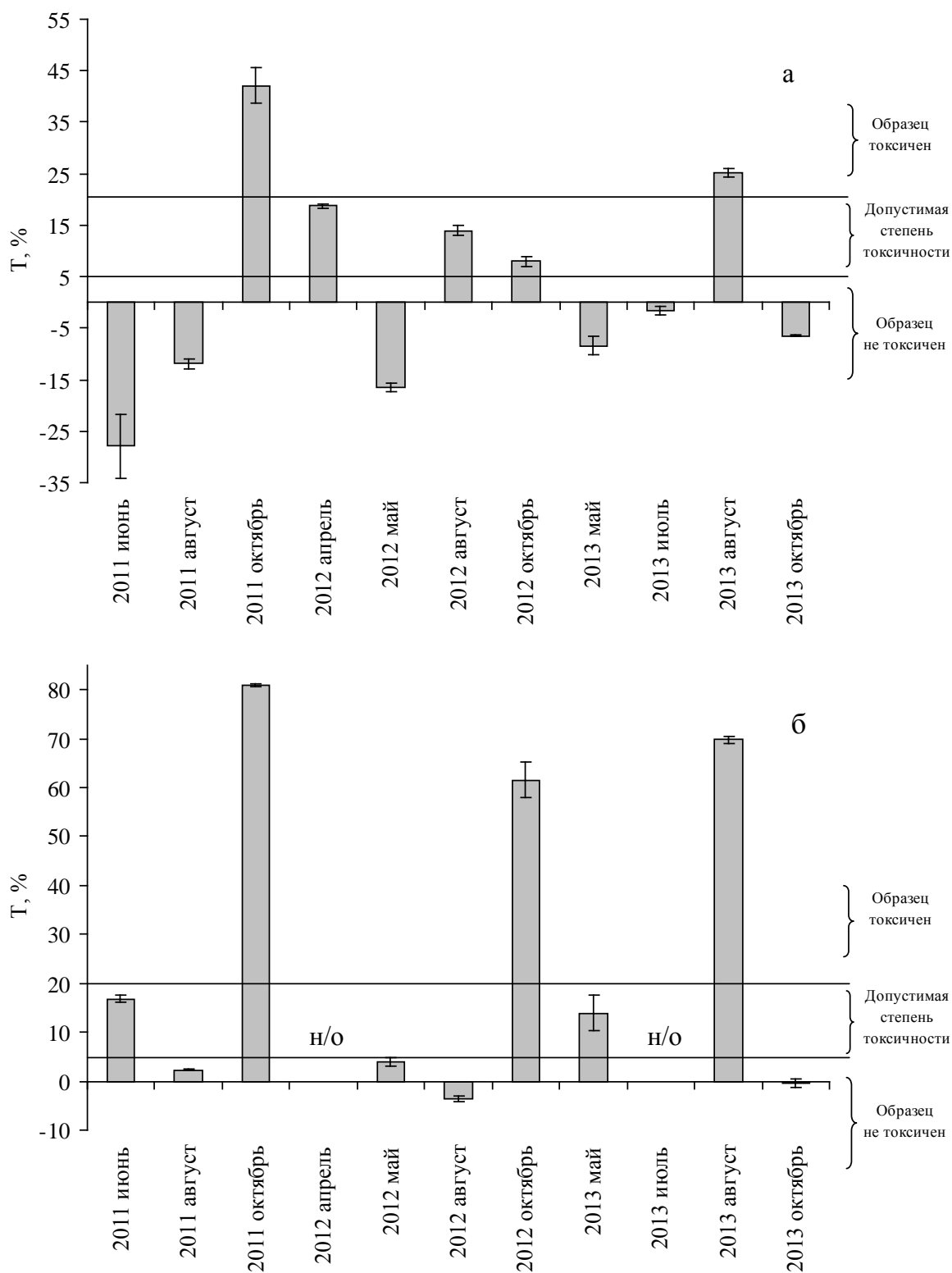


Рис. 1. Общая токсичность T воды (а) и водных вытяжек донных отложений (б) Чусовского плеса Камского водохранилища (отрицательные значения T рекомендуется считать нулевыми; знак «н/о» – отсутствие образца)

Таблица 2

Общее количество сапрофитной микрофлоры и коли-индекс воды и водных вытяжек донных отложений

Дата отбора	Показатели			
	Вода		Донные отложения	
	N _s , КОЕ/мл	Коли-индекс, КОЕ/л	ОМЧ, КОЕ/мл	Коли-индекс, КОЕ/л
Зима				
04.04.2012	4,40×10 ¹	1,55×10 ⁴	–	–
Весеннее наполнение вдхр.				
30.05.2012	5,00×10 ³	6,75×10 ⁵	3,40×10 ⁶	5,32×10 ⁵
27.05.2013	–	1,06×10 ⁶	–	7,66×10 ⁵
Режим «наполнения-сработки» летом				
23.08.2012	5,65×10 ²	1,85×10 ⁵	3,05×10 ⁵	8,71×10 ⁵
09.07.2013	2,10×10 ⁴	1,30×10 ⁶	–	–
22.08.2013	4,25×10 ³	1,45×10 ⁵	6,91×10 ⁵	8,58×10 ³
Режим «наполнения-сработки» осенью				
24.10.2011	1,55×10 ⁴	9,75×10 ⁶	5,11×10 ⁵	1,26×10 ⁶
10.10.2012	8,15×10 ²	2,50×10 ⁴	5,55×10 ⁴	2,32×10 ⁴
17.10.2013	2,39×10 ⁴	1,15×10 ⁴	3,56×10 ⁵	1,04×10 ⁴

Примечание: знак «-» - отсутствие определений.

Таблица 3

Валовое содержание элементов (мг/кг) в донных отложениях в районе Чусовского водозабора

Ингредиенты	Кларк литосферы (по Л.Н. Овчинникову, 1990)	У оголовка водозабора			У водовыпуска промывных вод
		Размах (число проб)	Среднее/коэффициент концентрации (K _c)	% проб с превышением над кларком	
Li	25	48,3 (1)	-/1,9		не опр.
B	9	4467-75 (9)	759/84,3	100	89/9,9*
Mg	22600	16030-3371,6 (7)	4371	–	не опр.
Al	80700	91540-30900 (6)	63223	33	52980
Si	279900	285050 (1)	-/1,02	–	не опр.
Р фосфатов	100	407,5-166,9 (9)	250/2,5	100	135,6/1,36
K	21300	11910-938,9 (7)	2733	–	не опр.
Ti	530	3830 (1)	-/7,2	–	не опр.
V	12	117-94,1 (5)	103,4/8,6	100	не опр.
Cr	92	110-18,0 (10)	34,0	10	18,2
Mn	900	3370-44,1(8)	1485/1,65	87.5	804,4
Fe	53300	63650-453,6 (10)	19653	10	3560,3
Ni	70	64,4-0,91 (10)	30,4	–	13,3
Cu	53	52,1-19,6 (10)	30,5	–	16,3
Zn	68	113-44,4 (10)	66,3	30	31,6
As	1,8	2,69-0,18 (3)	1,57	66.7	не опр.
Cd	0,17	0,66-0,04(10)	0,23/1,35	50	0,12
Sb	0,3	2,33-2,13 (2)	2,23/7,4	100	не опр.
Hg	0,072	0,76-0,12(9)	0,33/4,6	100	0,073/1,01
Pb	13	21,8-7,43 (10)	12,7	30	9,34

Примечание: * – в знаменателе приведен K_c

В донных отложениях так же, как и в воде, наибольшее распространение получили фталаты и нефтяные углеводороды [15].

Сильная токсичность донных отложений проявилась в конце лета

(22.08.2013 г.) и перед ледоставом (24.11.2011 и 10.10.2012 гг.) (см. рис. 1), причем, в 2011 и 2013 гг. одновременно были токсичны и вода, и донный ил, а в 2012 г. при токсичном иле вода имела до-

Таблица 4

Валовое содержание элементов (мг/кг) в донных отложениях в районе Чусовского водозабора

Ингредиенты	ПДК _в (ГН 2.1.5.1315-03)	Размах (число определений)	Среднее/ коэффициент концентрации (K_c)	% проб с превышением над нормативом
Mg	50*	66,0–6,3 (8)	19,4/–	12.5
K	12*	40,6–6,5 (7)	26,1/2,2	85.7
Ca	100*	1900,4–107,2 (10)	1112,9/6,2	100
Cr	0.05	0,015–отс. (10)	0,0015/–	–
Mn	0.1	9,3–0,12 (5)	4,95/49,5	100
Fe	0.3	11,7–1,2 (10)	5,13	100
Ni	0.02	0,68–отс. (10)	0,23/11,5	90
Cu	1.0	0,52–0,11(10)	0,40/–	–
Zn	1.0	0,74–0,094 (10)	0,33/–	–
Cd	0.001	0,10–отс. (10)	0,029/29	80
Pb	0.01	0,33–отс. (10)	0,16/16	50

Примечание: * – нормативы ЕС; выделенные концентрации превышают нормативные

пустимую величину «Т». Уровень генотоксичности ДО в 2011 г. не превысил положительный контроль (0,01 мМ H₂O₂) и, согласно показателю истинного значения фактора индукции биолюминесценции, находился в пределах 0,95–1,01 [13].

Количество аэробных сапрофитных микроорганизмов (общее микробное число, ОМЧ) в донных отложениях во все сроки наблюдения было ниже (см. табл. 2), чем в поверхностных илах высокопродуктивных водоемов [20]. Это может рассматриваться как плохой прогностический признак в отношении процессов самоочищения водоема. Процессы формирования донных отложений в Камском водохранилище не закончены [21], кроме того, оно отличается от водохранилищ Волжского каскада более низкими средними температурными режимами и, соответственно, менее интенсивными обменными процессами у придонных бионтов. Поэтому загрязнение органическими и неорганическими веществами несбалансированного водного резервуара Камского водохранилища может привести к гибели экосистемы, загрязнению воды, в том числе питьевой.

Необходимо отметить, что при определенных гидрологических условиях возможно загрязнение технологическими сточными водами ЧОС забираемой воды. Однако в сбрасываемых водах по данным 3 опробований превышены те же

показатели, что и в речной воде (цветность в 3,8 раза, концентрации Al³⁺ и P_{фосфатов} (K_c соответственно 13,2 и 44,2), в отдельных случаях – по NO₃⁻ ($K_c = 4,7$), Fe ($K_c = 2,3 \div 2,5$), ХПК ($K_c = 1,1 \div 1,4$), Ca ($K_c = 1,87$) и Mn ($K_c = 1,87$).

Уровень токсичности сточных вод ЧОС, был очень высок 27.05.2013 г. (97,8 ± 0,02 %). Это вполне объяснимо, так как во время половодья ЧОС работают с повышенной нагрузкой, что приводит к дополнительному загрязнению производственных стоков. Летом и осенью индекс токсичности изменялся в пределах 3–12,8 %.

Донные отложения у водосбросной трубы представлены тем же илом, что и у оголовка, но со значительной примесью песка и крупной гальки. Эти осадки отличались только повышенным содержанием бора ($K_c = 9,9$) и близкларковым – ртути и фосфора фосфатов (см. табл. 3).

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

На ЧОС применяется традиционная двухступенчатая технология водоподготовки – реагентное осветление с последующим фильтрованием. В последние годы проводятся мероприятия по техническому переоснащению водоподготовки: введена процедура хлораммонизации [22,

23], повышается энергоэффективность традиционных технологий [24] и др.

Уровень водоподготовки на ЧОС достаточно высок (табл. 5). Однако вторичное хлорирование воды перед ее подачей в город приводит, очевидно, к недопустимо высокому содержанию свободного остаточного хлора: на насосной 2-го подъема – в среднем 2,26 ПДК для питьевой воды. Из других неорганических ингреди-

ентов в единичных пробах превышен Al (6,5 ПДК) и на всех стадиях очистки – фосфор фосфатов – на 2-3 порядка по сравнению с ПДК питьевой воды и сопоставимо с речным (см. табл. 1), а также величина ХПК (3–4 ПДК).

На всех технологических стадиях водоподготовки с фактором сходства более 80 % обнаружены по мере убывания их относительной доли фталаты (74,4 %), уг-

Таблица 5

Основные физико-химические показатели водоподготовки на ЧОС

Показатели	СанПин-2.1.4.1074-01	2012 год	2013 год					
		30.10. (2-й подъем)	30.05. (после смесителей)	30.05. (после фильтров)	30.05. (2-й подъем)	09.07. (после смесителей)	09.07. (после фильтров)	09.07. (2-й подъем)
Цветность, градус	20	40	26	б/ц	б/ц	30	б/ц	б/ц
Растворенный O ₂ , мг-экв/дм ³	–	10,08	9,76	10	9,9	7,52	7,84	8,4
Водородный показатель, ед. рН	(6–9)	7,10	5,67	5,6	5,8	6,73	6,56	6,65
Сухой остаток, мг/дм ³	1000	344,4	97,2	106,1	103,7	205,9	207,9	231,9
Cl ⁻ , то же	350	22,05	6,78	8,5	10,2	11,87	10,85	12,38
SO ₄ ²⁻ , -"	500	9,6	43,2	38,5	43,2	8,64	10,08	10,57
HCO ₃ ⁻ , -"		122	24,4	23,7	22,5	76,25	68,3	70,5
CO ₃ ²⁻ , -"		отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.
Ca ²⁺ , -"	(30–140)	72,14	18,04	18,2	18,0	42,8	45,29	45,69
Mg ²⁺ , -"	(20–85)	17	3,65	3,9	4,3	5,84	4,13	6,08
NH ₄ ⁺ , -"	0,5	0,405	сл.	сл.	сл.	сл.	0,01	0,005
NO ₂ ⁻ , -"		0,391	0,5	0,4	0,3	0,29	0,23	0,226
NO ₃ ⁻ , -"	45	1,52	4,173	5,5	7,7	9,06	8,79	9,89
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	3	0,16	0,72	0,6	0,2	0,8	0,64	0,32
ХПК, мг O/дм ³	5	20	20	16	12	14,2	18,2	18,2
Общая жесткость, мг-экв/дм ³	7	5	1,2	1,2	1,3	2,62	2,6	2,78
Остаточный Cl свобод., мг/дм ³	0,3–0,5	0,64	0,71	0,5	1,4	0,18	0,28	1,35
Al, мг/дм ³	0,2	0,056	1,31	0,19	0,15	1,31	0,12	1,22
Fe, то же	0,3	0,1083	0,16	0,04	0,07	0,24	0,173	0,05
Cd ⁻ , -"	0,001	0,0005	0,0004	0,0001	0,0003	0,0002	0,00014	0,0002
Mn, -"	0,1	0,0127	0,045	0,023	0,015	0,07	0,032	0,006
Cu, -"	1	0,0024	0,0022	0,001	0,001	0,0023	0,0021	0,0011
Hg, -"	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ni, -"	0,1	сл.	0,038	0,002	0,003	0,019	0,0037	0,0039
Pb, -"	0,03	0,0088	0,0033	0,004	0,003	0,0014	сл.	сл.
P фосфатов, -"	0,0001	0,02608	0,00652	0,00652	0,00652	0,00117	0,00652	0,0075
Cr, -"	0,05	0,0028	0,0017	0,001	0,003	0	0,0008	0
Zn, -"	1	0,0365	0,0087	0,01	0,019	0,0074	0,0097	0,0104

леводороды (13,5 %), спирты (10,2 %), фосфорсодержащие соединения (1,2 %), фенолы (0,5 %) и хлорорганика (0,2 %). Суммарное содержание фталатов после смесителей составило 0,017 мг/дм³, после фильтров – 0,03 и на станции 2-го подъема – 0,025 мг/дм³. Превышений допустимых концентраций ДБФ, ДЭФ, ДЭГФ и ДМФ не выявлено.

Общая токсичность воды (Т, %) после смесителей весной 2013 г. доходила до 91, снижаясь в июле до 51,7, после фильтров – соответственно 93 и 26,4. Причина высокого значения Т (100 и 98,8 %) на станции 2-го подъема – ее вторичное хлорирование перед подачей в город. После прохождения этапов очистки вода соответствовала санитарно-гигиеническим показателям по ОМЧ и коли-индексу.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ОСНОВНЫХ ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЯХ

В магистральном водоводе вода имела ряд недопустимых свойств для питьевых вод (СанПиН 2.1.4.1074-01). Осенью 2012 г. на всех обследованных перекачивающих станциях цветность была в 2 раза выше допустимой (табл. 6). Оба контрольных отбора показали высокое содержание органики: величина ХПК была превышена от 2 до 7,2 раз, остаточного свободного хлора – от 1,6 до 2,8 раз и фосфор фосфатов – от 65 до 59 000 раз! Такого содержания фосфора авторы не встречали ни в загрязняемых водах открытых водотоков, ни в подземных водах активного водообмена (максимум – 4800 ПДК) [25]. Даже с учетом рекомендуемого Госкомэкологии норматива содержания растворенных фосфатов в 0,05 мг/дм³, обнаруженные содержания фосфора фосфатов выше в 2–118 раз. Возможно, это связано с исполнением Методических рекомендаций 2.1.4.559-96, требующих постоянной обработки воды фосфатами для снижения внутренней коррозии труб.

В воде на перекачивающих станциях идентифицированы фталаты (96,8 %), углеводороды (1,96 %), спирты (1,12 %), хлорпроизводные соединения (0,09 %) и фенолы (0,03 %). По мере удаления от ЧОС суммарное содержание фталатов составило: на НС-1 («Кислотные дачи») 0,04 мг/дм³, в микрорайоне Вышка II (НС-2 «Центральная подзона»), 6 мг/дм³, в центре города (ул. Белинского, НС-3 «Южная») 0,03 мг/дм³, в микрорайоне Нагорный (НС-4 «Геологов») 0,85 мг/дм³. Причем на НС-2 и НС-4 обнаружены высокие концентрации ДЭГФ – 70,9 и 68,2 ПДК соответственно.

Осенью 2012 г. показатель токсичности был выше допустимого на всех НС (рис. 2), в июле 2013 г. – аналогично и только на НС «Геологов» он составил $7 \pm 0,2$ %. Следует отметить, что отстаивание анализируемой воды в течение 24 ч при 20 °С не приводило к снижению ее токсичности.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ В КОНЕЧНЫХ ПУНКТАХ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

В конечных пунктах водопотребления (табл. 7) подаваемая ЧОС вода не соответствовала нормативу для питьевой воды по цветности (микрорайоны «Пролетарский» и «Водники»), ХПК (микрорайоны «Вышка II» и «Водники»), Fe («Водники»). У всех потребителей отмечено превышение фосфора фосфатов от 65 до 200 раз. Величина общей жесткости и остаточного свободного хлора, основных контролируемых лабораторией очистных сооружений ингредиентов, у всех потребителей не превысила норматив. Из органических соединений, как и в предыдущих случаях, преобладают фталаты (средняя относительная доля 89 %), а содержание углеводов и спиртов – 5,7 % и 3,8 % соответственно.

В микрорайонах «Вышка II» и «Садовый» допустимый уровень токсичности воды превышен в 4 раза (Т = 80 %).

Основные физико-химические показатели водоподготовки на ЧОС

Показатели	СанПин-2.1.4.1074-01	Класс опасности/вредность	31.10.2012 года				09.07.2013 года			
			1-НС	2-НС	3-НС	4-НС	1-НС	2-НС	3-НС	4-НС
Цветность, градус	20		40	40	40	40	б/ц	б/ц	б/ц	б/ц
Растворенный O ₂ , мг-экв/дм ³	–		10,24	10,32	10,32	10,32	7,87	6,16	8,4	7,84
Водородный показатель, ед. рН	4		7,44	7,46	7,46	7,47	6,48	6,5	6,62	6,58
Сухой остаток, мг/дм ³	1000		346,7	334	332	345,9	204,7	191,1	202,6	214,8
Сг, то же	350	4/орг. привк.	22,05	22,05	22,05	22,05	12,21	12,38	11,7	12,38
SO ₄ ²⁻ , -"	500	4/орг. привк.	11,04	12	9,6	10,6	40,83	48,03	38,42	42,23
HCO ₃ ⁻ , -"			128,1	128,1	128,1	128,1	64,05	64,05	65,27	64,05
CO ₃ ²⁻ , -"			отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.
Ca ²⁺ , -"	(30–140)		72,14	72,14	72,14	72,14	43,28	41,08	44,09	44,09
Mg ²⁺ ,	(20–85)		14,59	14,59	15,8	15,8	7,05	5,47	6,08	6,08
NH ₄ ⁺ , -"	0,5	4/орг. зап.	0,005	0,006	0,008	0,005	0,01	0,01	отс.	отс.
NO ₂ ⁻ , -"		2/с.-т.	0,332	0,337	0,387	0,382	0,0228	0,146	0,189	0,244
NO ₃ ⁻ , -"	45	3/с.-т.	1,46	1,403	1,327	1,392	6,34	9,76	7,96	8,29
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	3		0,16	0,24	0,16	0,3	0,8	0,64	1,28	1,4
ХПК, мг O/дм ³	5		16	16	10	11,0	21,2	24,2	36,2	20,2
Общая жесткость, мг-экв/дм ³	7		4,7	4,7	4,8	4,8	2,74	2,5	2,7	2,7
Щелочность, мг-экв/ дм ³			2,1	2	2	2	1,05	1,05		1,05
Остаточный Сl своб., мг/дм ³	0,3–0,5		0,78	не опр.	не опр.	не опр.	1,42	1,07	1,24	0,178
Al, мг/дм ³	0,5	2/с.-т.	0,046	0,064	0,057	0,055	0,25	0,15	0,48	0,78
Fe, мг/дм ³	0,3	3/орг. окр.	0,1212	0,1131	0,0815	0,1363	0,1093	0,271	0,1224	0,5723
Cd ⁻ , то же	0,001	2/с.-т.	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,00003	0,00009	сл.	0,00009
Mn, -"	0,1	3/орг. окр.	0,0129	0,0129	0,0155	0,019	0,0199	0,0162	0,0209	0,0452
Cu, -"	1	3/орг. привк.	0,0039	0,002	0,0044	0,003	0,0011	0,0043	0,0017	0,002
Hg, -"	0,0005	1/с.-т.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ni, -"	0,1	2/с.-т.	0,0032	0,0003	0,0041	0,0	0,0033	0,0022	0,0011	отс.
Pb, -"	0,03	2/с.-т.	0,0048	0,0805	0,0048	0,003	0,0019	0,0042	0,0065	0,005
P фосфатов, -"	0,0001	1/с.-т.	0,026	5,933	1,757	0,401	0,00652	0,01206	0,0163	0,00782
Cr, -"	0,05	3/с.-т.	0,028	0,017	0,022	0,022	0	0	0	0
Zn, -"	5	3/орг.	0,02	0,045	0,058	0,057	0,004	0,0167	0,009	0,017

РЕЗЮМЕ

Незагрязненные ксенобиотиками поверхностные водоисточники к настоящему времени практически отсутствуют [26], поэтому так важно в этих условиях

обеспечение населения качественной питьевой водой. Мониторинг экосистемы одного из современных и крупных водозаборов РФ – Чусовских очистных сооружений г. Перми – подтвердил выводы других исследователей [9, 11] и впервые

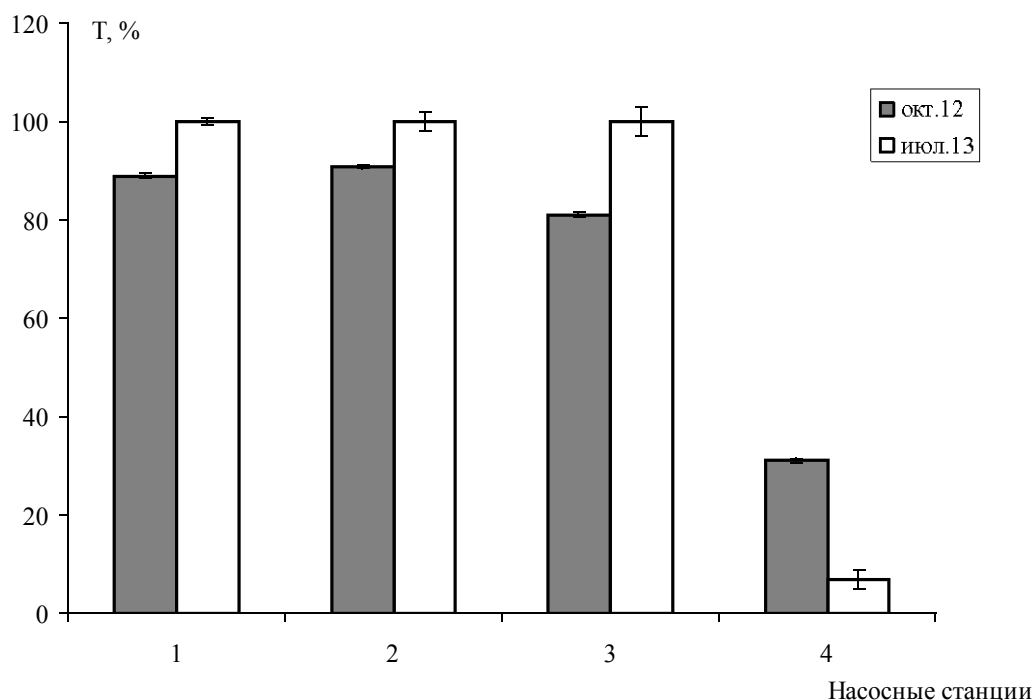


Рис. 2. Общая токсичность воды на насосных станциях г. Перми:
 1 – Кислотные дачи; 2 – Центральная; 3 – Южная; 4 – ул. Геологов

выявил опасные экотоксиканты в воде и донном иле у оголовка водозабора – тяжелые металлы и органические примеси.

Стандартная программа определения гидрохимических показателей была дополнена результатами биотестирования [13]. Вода, поступающая с ЧОС в город соответствовала санитарно-гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, однако по ряду химических ингредиентов нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 не соблюдались. Особую тревогу вызывает высокое значение ХПК, как показатель наличия в воде трудноокисляемых органических соединений, остаточного свободного хлора и фталатов.

Остаточный хлор и его производные в составе воды – канцерогенные вещества, нарушающие иммунную и эндокринную системы [27], губительны для микробиоты человека, что выявлено по ингибированию свечения тестерного микроорганизма биосистемы *Escherichia coli*. Кроме этого, хлорирование вносит вклад в селекцию патогенных бактерий, устойчи-

вых к хлорированию в регенерированных городских сточных водах [28], что может оказать неблагоприятное влияние на санитарно-гигиеническую обстановку в городе по питьевой воде. Воздействие фталатов, в частности ДЭГФ, на организм в течение длительного периода может привести к потенциально канцерогенному эффекту и нарушению эндокринной и репродуктивной систем [29, 30]. Исследования на животных показали, что высокие концентрации фталатов (23 нг/л) увеличивают частоту смертности плода, внутриутробных пороков развития [31].

В связи с отмеченным, населению необходимо настоятельно рекомендовать внутриквартирную доочистку подаваемой воды, а не только ограничиваться ее отстаиванием [4].

Авторы благодарят главного инженера ФГУП «Камводэксплуатация» А.Г. Казакова за помощь в отборе проб, а также химиков-аналитиков В.В. Фурсова (ФГУП МНИИЭкоТЭК), Н.П. Шерстобитову и В.А. Гусева (ИЭГМ УрО РАН).

Основные физико-химические показатели водопроводной воды

Показатели	СанПин-01	Класс опасности/ вредность	21.10.2013				
			Школа № 1	Школа № 40	Школа № 24	Гимназия № 7	Детско-юношеский клуб «Антей»
Цветность, градус	20		30	50	20	20	14
Растворенный O ₂ , мг-экв/дм ³	–		8,64	8,64	7,84	8,64	9,9
Водородный показатель, ед. рН	(6–9)		7,2	7,2	7,25	7,17	7,4
Сухой остаток, мг/дм ³	1000		399,9	395,9	407,5	411,7	398
Cl ⁻ , то же	350	4/орг.привк.	22,05	22,05	22,05	22,05	23,76
SO ₄ ²⁻ , -"	500	4/орг.привк.	16,81	16,81	16,81	16,81	16,81
HCO ₃ ⁻ , -"			115,9	115,9	122	122	128,1
CO ₃ ²⁻ , -"			отс.	отс.	отс.	отс.	отс.
Ca ²⁺ , -"	(30-140)		82,16	82,16	82,16	82,16	82,16
Mg ²⁺ ,	(20-85)		19,45	19,45	19,45	19,45	19,45
NH ₄ ⁺ , -"	0,5	4/орг.зап.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.
NO ₂ ⁻ , -"		2/с.-т.	0,036	0,036	0,015	0,068	0,033
NO ₃ ⁻ , -"	45	3/с.-т.	1,082	1,463	1,742	1,75	2,483
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	3		0,16	0,24	0,4	0,4	0,4
ХПК, мг O/дм ³	5		5,64	3,76	3,76	5,6	3,8
Общая жесткость, мг-экв/дм ³	7		5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
Щелочность, мг-экв/дм ³			1,9	1,9	2	2	2,1
Остаточный Cl своб., мг/дм ³	0,3-0,5		0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
Al, мг/дм ³	0,5	2/с.-т.	0,08	0,09	0,11	0,09	0,1
Fe, то же	0,3	3/орг.окр.	0,41	0,407	0,306	0,192	0,269
Cd ⁺ , -"	0,001	2/с.-т.	0,00031	0,0002	0,0003	0,0003	0,0004
Mn, -"	0,1	3/орг.окр.	0,039	0,0173	0,0154	0,012	0,013
Cu, -"	1	3/орг.привк.	0,0011	0,011	0,0021	0,0039	0,012
Hg, -"	0,1	2/с.-т.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ni, -"	0,0005	1/с.-т.	0,0028	0,0025	0,004	сл.	0,0026
Pb, -"	0,3	2/с.-т.	0,00097	0,0058	0,0041	0,007	0,005
P фосфатов, -"	0,0001	1/с.-т.	0,00652	0,00652	0,0068	0,00717	0,02

Примечание: выделенные концентрации превышают нормативные.

Библиографический список

1. Электронный ресурс: http://www.permoboz.ru/pdf/PO_576.pdf.
2. *Замятина М.* А ЧОС и ныне там // Новый компаньон. 22.10.2013. С. 8.
3. Электронный ресурс: <http://ideanevs.ru/date/goszakypki-tenders-2014-02-25.htm>.
4. Электронный ресурс: <http://properm.ru/health/news/65401/>
5. Электронный ресурс: <http://veved.ru/perm/perm-press/32070-chto-pet-viktor-basargin-pitevaya-voda-v-permi-v-skorom-vremeni-prevratitsya-v-toksichnyu-otravu-no-kraevye-vlasti-molchat.html>
6. Селективный отбор воды / *А.П. Лепухин, Б.Б. Немковский, Е.Н. Капитанова, В.А. Онянов* // Водоснабжение и санитарная техника. – 1988. – № 3. – С. 27–28.
7. Водоснабжение города Перми: проблемы, пути решения / *С.А. Двинских, М.В. Дьяков, А.Б. Китаев, А.В. Рочев* // Водное хозяйство России. – 2007. – № 4. – С. 55–65.

8. *Двинских С.А., Китаев А.Б.* Проблемы водоснабжения Перми // *Экология и развитие общества*. – СПб., 2008. – С. 20–25.
9. *Двинских С.А., Китаев А.Б., Зуева Т.В.* Гидрохимическая характеристика вод камских водохранилищ в районе водозаборов Перми // *Географический вестник*. – 2008. – № 2(8). – С. 155–166.
10. *Китаев А.Б., Зуева Т.В.* Качество воды в источниках водоснабжения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2009. – № 6. – С. 49–51.
11. *Лепихин А.П., Любимова Т.П.* Проблемы питьевого водоснабжения г. Перми: гидрологические и гидродинамические аспекты // *Вестник Пермского научного центра*. – 2011. – № 2. – С. 12–18.
12. *Шмырина И.Л.* Люминесцентный микробиотест: возможные пути его оптимизации и расширение сферы использования: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Пермь, 2000. – 21 с.
13. *Масленникова И.Л., Шишкин М.А., Лантева А.К.* Экотоксикологическая оценка воды и донных отложений Чусовского плеса Камского водохранилища в районе водозабора г. Перми // *Материалы докл. Всерос. конф. «Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ»* – Борок, 2012. – С.179–181.
14. РД 52. 24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» – М.: Росгидромет, 2002. – 25 с.
15. *Лантева А.К., Шишкин М.А., Масленникова И.Л.* Современная оценка качества воды в районе Чусовского водозабора г. Пермь // *Вода: химия и экология*. – 2013. – № 1. – С. 28–35.
16. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / *О.П. Оксюк, В.Н. Жуковский, Л.П. Брагинский* [и др.] // *Гидробиологический журнал*. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62–76.
17. Assessment of sources of human pathogen and fecal contamination in Florida freshwater lake / *C. Staley, K.H. Reckhow, J. Lukasik, V.J. Harwood* // *Water Research*. – 2012. – Vol. 46 (17). – P. 5799–5812.
18. *Линник П.Н., Набиванец Б.И.* формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 268 с.
19. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов: справочник в 6 кн. Кн.1: s-элементы / под ред. *Э.К. Буренкова*. – М.: Недра, 1994. – 305 с.
20. *Дзюбан А.Н.* Деструкция органического вещества и цикл метана в донных отложениях внутренних водоемов. – Ярославль: Принтхаус, 2010. – 192 с.
21. *Авакян А.Б., Широков В.М.* Комплексное использование и охрана водных ресурсов. – Минск: Университетское, 1990. – 240 с.
22. Электронный ресурс: <http://www.novogor.perm.ru/publ/18-1-0-275>.
23. Электронный ресурс: <http://www.shaspik.spb.ru/russian/v-permi-provedyt-rekonstrukciyu-vodozabora-i-ochistnyx-sooruzhenij/>
24. Вторая жизнь Чусовских очистных сооружений (опыт повышения энергоэффективности традиционных технологий подготовки питьевой воды из поверхностных водоисточников города Перми) / *О. Мамонов, Л. Чипкина, В. Мамонов, О. Сальникова* // *Вода Magazine*. – 2012. – № 9 (61). – С. 4–6.
25. *Шишкин М.А., Лантева А.К.* Эколого-геохимический анализ современных ландшафтов Прикамья. – Екатеринбург, 2009. – 286 с.
26. *Арменский А.Е., Кочубей С.Э., Устюгов В.В.* Экономика устойчивого развития: прорывные идеи и технологии. – М.: Агентство «Социальный проект», 2009. – 424 с.
27. Anti-estrogenic activity formation potential assessment and precursor analysis in reclaimed water during chlorination / *X. Tang, Q.Y. Wu, Y. Du* [et al.] // *Water Res.* – 2014. – Vol. 1(48). – P. 490–497.
28. Inactivation, reactivation and regrowth of indigenous bacteria in reclaimed water after chlorine disinfection of a municipal wastewater treatment plant / *D. Li, S. Zeng, A.Z. Gu* [et al.] // *J. Environ. Sci.* – 2013. – Vol. 25(7). – P. 1319–1325.
29. Carcinogenicity testing of phthalate esters and related compounds by the National Toxicology Program and the National Cancer Institute / *W.M. Kluwe, E.E. McConnell, J.E. Huff* [et al.] // *Environ. Health Perspect.* – 1982. – Vol. 45. – P. 129–133.
30. *Kamrin M.A.* Phthalate risks, phthalate regulation, and public health: a review // *J. Toxicol Environ Health B.* – 2009. – Vol. 12. – P. 157–174.
31. Endocrine disrupting chemicals and disease susceptibility / *T.T. Schuga, A. Janesick, B. Blumberg* [et al.] // *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* – 2011. – Vol. 127. – P. 204–215.

HYDROCHEMICAL AND TOXICOLOGICAL CHARACTERIZATION OF AQUATIC ECOSYSTEM IN THE CHUSOVAYA RIVER WATER INTAKE FOR THE CITY OF PERM

A.K. Lapteva, M.A. Shishkin, I.L. Maslennikova

Samples of river water and bottom mud near the head wall of the water intake were analyzed, as well as water at the stages of water treatment, backbone network at the pumping stations and at the terminal points of water consumption.

The aim of the research was chemical-analytic and ecotoxicological evaluation of the contamination rate of water being supplied to the consumers from the Chusovaya river water intake.

Determination of inorganic and organic pollutants, general toxicity and bacteriological parameters of initial and purified water was carried out.

Keywords: river water, bottom sediments, organic and inorganic pollutants, general toxicity, ecotoxicological evaluation, health-based exposure limits.

Сведения об авторах

Лаптева Анна Кирилловна, кандидат географических наук, старший инженер группы физико-химических исследований, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (ИЭГМ УрО РАН), 614081, г. Пермь, ул. Голева, 13; e-mail: sma@iegm.ru

Шишкин Михаил Андреевич, кандидат геолого-минералогических наук, руководитель группы физико-химических исследований, ИЭГМ УрО РАН; e-mail: sma@iegm.ru

Масленникова Ирина Леонидовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ИЭГМ УрО РАН; e-mail: I.Maslennikova@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 23.05.2014 г.