

УДК 621.137+622.58.33

Высоцкий С.П.<sup>1</sup>, д.т.н., Вахтангишвили Н.Н.<sup>2</sup>

1 — АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка, 2 — ДонНУ, г. Донецк

## ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

*Описано влияние соледержащей воды, в частности таких компонентов солей, как кальций, натрий, хлорорганические соединения, а также рН водных растворов на баланс солей в человеческом организме и состояние здоровья. Выполнен анализ эффективности систем очистки воды с точки зрения удаления из нее вредных примесей.*

### Введение

Человечество живет в окружении воды; да и сам человек почти на 70 % состоит из воды. Если всю воду равномерно распределить по поверхности Земли, то получится вселенская водная среда — океан глубиной 2,5 км.

Однако пригодной для питья пресной воды очень мало — всего 3 % мирового запаса воды. Из этих запасов пресной воды 99 % находится во льдах, на вершинах гор и лишь 1 % пресной воды доступен для использования. И этот 1 % пресной воды распределен по Земле чрезвычайно неравномерно. На протяжении ближайших 25 лет нашего столетия 35-40 % человечества столкнется с острой проблемой нехватки пресной воды. Главным дефицитом будет не нефть и газ, а пресная вода.

В развивающихся странах 80 % всех болезней уже сейчас возникают из-за употребления загрязненной воды. Благополучие с потреблением чистой воды даже в развитых странах в большинстве случаев кажущееся.

В табл. 1 представлены нормы качества питьевой воды в разных странах. Обращает на себя внимание значительное отличие отдельных показателей качества питьевой воды: жесткости, мутности, соледержания, концентрации хлоридов, аммония и т. д. [1].

Таблица 1

Нормируемые показатели качества воды в разных странах

Элемент	Ед. измер	ВОЗ 1984	ЕЭС (1980)		США	Япония	Германия	Канада
		[1]	РЗ	ПДК	ПДК	ПДК	ПДК	ПДК
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура	°С	НУЗ		25			25	15
рН	—	6,5-8,5	6,5-8,5		6,5-8,5	6,8-8,6	6,5-9,5	6,5-8,5
Вкус и запах	—		0					
Цвет	По кобальтовой шкале	15	1	20		5		15
Мутность	Нефелометр.	5	0,4	4		2	1,5	5
Хлорбензол		НУЗ						
Детергент		НУЗ		0,2				
Проводимость	см/см		400				2000	
Общее соледержание	мг/л	1000		1500	500	500		500

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общая жесткость	мг/л	500				300		
Щелочность	мг/л	не нормируется						
Кальций	мг/л		100				400	
Магний	мг/л		30	50			50	
Стронций	мг/л							
Натрий	мг/л	200	20	(150)			150	
Калий	мг/л		10	12			12	
Аммоний	мг/л		0,05	0,5			0,5	
Фосфор	мг/л		0,4	5			5	
Железо	мг/л	0,3	0,05	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3
Марганец	мг/л	0,1	0,02	0,05	0,05	0,3	0,05	0,05
Цинк	мг/л	5	0,1		5	1	5	5
Медь	мг/л	1	0,1		1	1	3	1
Алюминий	мг/л	0,2	0,05	0,2			0,2	
Хлориды	мг/л	250	25	(200)	250	200	250	250
Сульфаты	мг/л	400	25	250	250		240	500
Сурьма	мг/л			0,01			0,01	
Мышьяк	мг/л	0,05		0,05	0,05	0,05	0,01	0,05
Барий	мг/л	НУЗ	0,1		1		1	1
Бериллий	мг/л	НУЗ						
Бор	мг/л		1				1	5
Кадмий	мг/л	0,005		0,005	0,01	0,01	0,005	0,005
Хром	мг/л	0,05		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Цианид	мг/л	0,1		0,05		НДП	0,05	0,2
Фторид	мг/л	1,5		1,5	2	0,8	1,5	1,5
Олово	мг/л	0,05		0,05	0,05		0,04	0,05
Ртуть	мг/л	0,001		0,001	0,002	НДП	0,001	0,001
Никель	мг/л	НУЗ		0,05			0,05	
Нитрат	мг/л	10	25	50	10	>10	50	10
Нитрит	мг/л	НУЗ		0,1			0,1	1
Азот	мг/л			1			1	
Перманганат калия	мг/л		2	5		10	5	
Селен	мг/л	0,01		0,01	0,01		0,01	0,01
Серебро	мг/л	НУЗ		0,01	0,05		0,01	0,05

Примечание: НДП — не должно присутствовать  
 НУЗ — неустановленное значение  
 ПДК — предельно допустимая концентрация  
 РЗ — рекомендуемое значение

Даже принятое в США понятие жесткой воды (от 2,4 до 3,6 мг·экв/л) и очень жесткой (более 3,6 мг·экв/л) для осведомленного отечественного потребителя кажется странным. Во многих городах Украины население потребляет воду по жесткости в несколько раз превышающую эти значения.

### **Влияние солесодержания воды на процессы метаболизма**

Учитывая то, что вода, а точнее водные растворы, занимает особое место в системе жизнеобеспечения, включая пищеварение, усвоение продуктов питания, кровообращение и процессы выделения, рассмотрим влияние отдельных наиболее важных компонентов на состояние здоровья человека.

Известно, что микроэлементы в пище имеют большое значение для обеспечения метаболизма живых клеток, поддержания здоровья и предотвращения заболеваний. Микроэлементы являются важной составной частью гормонов и позволяют регулировать гормональную активность всей эндокринной системы. Усвоение витаминов осуществляется только в присутствии ряда микроэлементов. Например, витамин Е не усваивается без надлежащего уровня коллоидного цинка в крови, витамины С и D важны для обеспечения адсорбции, соответственно, железа и кальция.

Ведущие биохимики и физиологи считают, что закисление среды организма является причиной старения, развития болезней сердца, раковых опухолей и других дегенеративных процессов. В организме человека, как в саморегулирующей системе, всегда поддерживается надлежащее кислотно-основное равновесие. Дефицит так называемых критических минералов (таких как уже упоминаемый кальций) вызывает понижение рН жизненно важных жидкостей организма и вызывает остеопороз. В нормальных условиях анаболические жидкости являются щелочными, а выделяемые отходы метаболизма — катаболические — кислыми. При снижении рН анаболических жидкостей красные кровяные тельца — переносчики кислорода — могут функционировать только на 5-10 % от их емкости.

В настоящее время значительное количество больших городов на земном шаре употребляют для питья воду низкого или очень низкого солесодержания. Такие города, как Санкт-Петербург, Нью-Йорк, Сиэтл, Бостон, Балтимор, Дэнвер, Сан-Франциско, большинство городов Сибири употребляют для питья воду с низкой жесткостью и солесодержанием от 30 до 90 мг/л. На военных кораблях США в течение более 50 лет используется вода с солесодержанием менее 3 мг/л. Национальное агентство США по авиации и космическому пространству (NASA) уже длительное время в космических полетах использует воду с солесодержанием менее 0,05 мг/л. При самом тщательном медицинском контроле не обнаружено какого-либо неблагоприятного влияния в результате употребления воды даже с очень низким солесодержанием.

Уместно вспомнить великого исследователя Поля Брега. Он в возрасте 96 лет мог переносить такие физические нагрузки, которые были недоступны молодым и опытным спортсменам. Употребление дистиллированной воды и дозированное (лечебное) голодание сохранили его организм в совершенной форме.

Расчеты физиологических равновесий в человеческом организме показывают, что если в межклеточное пространство будет введен 1 л абсолютно чистой воды, осмолярность межклеточной жидкости останется в гомеостатических пределах и составит 293 мОсм/л (нормальное значение осмолярности внеклеточной жидкости составляет 300 мОсм/л). При низком содержании натрия в плазме происходит секреция альдостерона и натрий реабсорбируется, вызывая образование более разбавленной мочи. Благодаря механизму гомеостаза концентрация натрия поддерживается в пределах  $\pm 3\%$ , а калия  $\pm 7\%$ . Концентрация кальция поддерживается гормонами паращитовидной железы в пределах нескольких процентов. Эти показатели остаются стабильными практически независимо от солесодержания питьевой воды.

Только за счет слюны, секреция которой у здорового человека составляет 0,8-1,5 л в сутки, «дозировка» уже на входе в пищеварительный тракт хлорида натрия составляет 0,7-1,3 г, а только гидрокарбоната-иона до 6,4 г. Доля солей, приходящих с питьевой водой, даже при солесодержании питьевой воды 300 мг/л, составляет при среднем потреблении жидкости 2 л/день 6-10 %. С учетом наличия солей в пище этот показатель снижается до 2-4 %.

### *Анализ работы систем очистки воды для приготовления воды питьевого качества*

Очистка воды от ряда тяжелых металлов может осуществляться с использованием как природных, так и синтетических сорбентов. Наиболее широко в мире применяется ионообменная очистка воды, связанная с процессом умягчения [2, 5]. При этом в воду добавляется катион натрия, по поводу которого существуют различные точки зрения. Рассмотрим, какое количество катионов натрия вообще поступает в организм. Основным его источником является хлорид натрия, содержащийся в пище и питьевой воде. Соединения натрия также находятся во многих консервантах и столовых водах щелочного класса. В среднем человек употребляет с пищей около 3500 мг натрия в день. Дополнительно с питьевой водой приходит еще 60-100 мг натрия в день. Усредненное количество натрия, поступающего с умягченной водой, составляет от 100 до 200 мг в день. Нетрудно заметить, что с умягченной водой человек получает всего 6 % натрия от ежедневного количества, приходящего с пищей и водой.

В чем же преимущество умягченной, то есть натрий-катионированной воды? Из нее, помимо кальция и магния, удаляется целый ряд весьма токсичных компонентов, таких как свинец, кадмий, радиоактивные вещества. Кадмий, к примеру, вызывает повышение кровяного давления, хромосомные нарушения, повреждения почек, инициирует возникновение саркомы и рака. Свинец имеет свойство накапливаться в организме и вызывать тяжелейшие отравления.

На протяжении последних 90 лет в мире используется хлорирование воды для уничтожения и подавления в ней роста микроорганизмов. Медленная реакция хлора с фенолами или соединениями, содержащими фенольные группы, вызывает образование весьма неприятно пахнущих хлорфенолов. Хлор также реагирует с фульво- и гуминовыми группами с образованием нежелательных органических соединений — тригалогенметанов (ТГМ). ТГМ являются канцерогенами. Проблема отравления людей ТГМ состоит в том, что последние проникают в человеческий организм не только при употреблении пищи, приготовленной на воде, загрязненной ими, или при питье такой воды, но даже при вдыхании их паров в душе, в ванной или при мытье посуды.

Самыми опасными представителями галогенпроизводных, присутствующих в воде, являются диоксины. Диоксины признаны во всем мире как абсолютные яды. Это самые токсичные вещества из всех, созданных человеком. Молекула классического диоксина имеет размер 30 Å. Этот размер достаточно точно соответствует размерам рецепторов живых организмов. При поступлении диоксинов в организм человека поражается система регулирования жизненными функциями организма, угнетается иммунная система.

Установленная в разных странах суточная санитарная норма употребления диоксинов составляет от 0,006 до 10 пикограмм ( $10^{-12}$  г) на один килограмм живого веса. Это значит, что человек среднего веса (70 кг) не должен употреблять больше  $6,13 \cdot 10^{-9}$  г (!) диоксина за год. Соответственно, предельная годовая норма «потребления» диоксина для населения Украины — 0,32 г.

Опасность загрязнения воды диоксинами проявляется при хлорировании воды, содержащей фенолы, нефтепродукты. При зарегулировании главной артерии страны — Днепра резко увеличилось цветение воды в реке и загрязнение воды гуминовыми и фульвокислотами, которые являются одним из источников образования фенолов. Соответственно, увеличилась опасность образования запределных концентраций диоксинов.

Как известно, 60-70 % населения страны употребляют питьевую воду, полученную из днепровской воды, которая значительно загрязнена органическими веществами. Традиционное водоочистное оборудование на отечественных водопроводных станциях, работающее по схеме: обеззараживание хлором, коагуляция коллоидных и механических примесей и фильтрация в механических фильтрах практически не способно удалять из воды химические загрязнения. Существующая технология вызывает даже вторичное загрязнение воды хлорорганическими соединениями. В зависимости от типа органических примесей, присутствующих в воде, на 1 мг органического углерода в исходной воде образуется 46-136 мкг ТГМ. Загряз-

ненность вод Украины органическими веществами оценивается в 7-30 мг общего органического углерода на 1 л воды.

Согласно [6] на протяжении 1992-1996 г.г. в Украине из питьевой воды больше чем в 3 % проб содержались энтеровирусы, принадлежащие 20 серотипам. Среди них поливирусы составляли 11,4 % [6].

Единственной технологией, которая позволяет эффективно очистить воду от указанных токсичных соединений и вирусов, является обратноосмотическая. Некоторое снижение концентрации диоксинов может быть достигнуто при фильтрации воды через активированный уголь.

Современные системы очистки вод [7] повышенной и средней минерализации обычно включают предочистку воды на сетчатых фильтрах, ультрафильтрацию и обессоливание в обратноосмотических аппаратах. В сетчатых самоочищающихся фильтрах удаляются любые частицы, размер которых превышает 150 мкм. Сетки изготавливаются из нержавеющей стали с полиэфирным фильтрующим материалом. В ультрафильтрационных аппаратах используются мембраны из фторированного полимера с номинальным размером пор 0,1 мкм. Ультрафильтрационные аппараты обеспечивают тонкую очистку и обеззараживание воды, удаляя из нее все частицы, вирусы и бактерии размером более 0,1 мкм. В обратноосмотических аппаратах происходит удаление солей из воды примерно на 90 %. На многих обратноосмотических установках нерешенной проблемой является сброс засоленных стоков. Следует отметить, что масса солей в указанных стоках примерно в 3 раза меньше по сравнению с традиционными ионообменными технологиями обессоливания воды [8].

В последние годы в мировой практике широко начала применяться нанофильтрационная технология очистки воды. Она основана на способности мембран, имеющих размер пор в нанодиапазоне больше, чем в обратноосмотических мембранах, пропускать через себя однозарядные катионы натрия и калия и задерживать двухзарядные катионы кальция и магния. Мембраны селективно задерживают также ионы высокой валентности.

Достоинством нанофильтрационных мембранных элементов является то, что они более проницаемы для воды и, соответственно, могут успешно эксплуатироваться при невысоких давлениях (до 4-6 бар (атм)), что примерно равно давлению воды в водопроводной сети. Вода, прошедшая через нанофильтрационные мембраны, имеет более высокое солесодержание по сравнению с обратноосмотическими мембранами.

При приготовлении питьевой воды отпадает необходимость в установке аппаратов, загруженных материалами, повышающими солесодержание очищенной воды и ее рН так называемыми «ньютралайзерами».

При работе аппаратов с нанофильтрационными мембранами в окружающую среду с продувкой контура концентрата сбрасываются растворы, обогащенные соединениями жесткости, которые присутствуют в исходной воде. Использование такой воды весьма благоприятно действует на сельскохозяйственные структуры. В этой воде повышается индекс Буданова:

$$Bu = \frac{Ca + Mg}{Ca + Mg + Na + K},$$

что улучшает структуру почвы. Здесь Ca, Mg, Na, K — содержание в водном растворе катионов кальция, магния, натрия и калия в ммоль/л.

Очевидно, что применение аппаратов с нанофильтрационными мембранами весьма перспективно для индивидуальных потребителей на дачных участках и в местах с расположенными вблизи сельскохозяйственными угодьями. Здесь продувочные воды обратноосмотических и нанофильтрационных аппаратов могут успешно утилизироваться.

### **Выводы**

Установлено, что нормативы качества питьевой воды в разных странах существенно отличаются.

Анализ показывает, что потребление питьевой воды низкого солесодержания не вызывает неблагоприятных изменений в организме человека.

Умягчение и мембранная фильтрация являются основными способами удаления из воды вредных примесей, соответственно, тяжелых металлов и хлорорганических соединений.

### **Список литературы**

1. Guidelines for drinking water quality. World health organization. — Geneva, 1984.
2. Гончарук В.В. Научные и прикладные основы подготовки питьевой воды / В.В. Гончарук, В.В. Подлеснюк, Л.Е. Фридман, И.Г. Рода // Химия и технология воды. — 1992. — Т. 14, №7. — С. 506-525.
3. Мамченко А.В. Иониты в процессах кондиционирования питьевой воды / А.В. Мамченко, П.К. Лебедев // Химия и технология воды. — 1992. — Т. 14, № 4. — С. 250-274.
4. Информационные материалы компании Rohm and Haas. — Филадельфия (США), 1997.
5. Информационные материалы компании Dow Chemical. Custo information Center. — Dow (USA), 1998.
6. Марієвський В.Ф. Біоцидні полімери в технології водопідготовки / В.Ф. Марієвський, Г.І. Баранова, Ю.В. Ніжник // Вода і водоочисні технології. — 2002. — №1. — С. 74-77.
7. John Murrer. Converting siwage affluent into high purity process water / John Murrer// Filtration +Separation. — 2002. — May. — Vol. 39, № 4. — P. 18-21.
8. Высоцкий С.П. Мембранная и ионитная технологии водоподготовки в энергетике / С.П. Высоцкий. — К.: Техніка, 1989. — 176 с.

Стаття надійшла до редакції 28.04.10  
© Висоцький С.П., Вахтангішвілі Н.Н., 2010