

Введение Гигиенические требования и нормативы качества питьевой воды в своей основе содержат три известных методологических принципа, при стандартизации качества питьевой воды. Она должна быть: а) безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении; б) безвредной по химическому составу и в) иметь благоприятные органолептические свойства. Этим требованиям вода должна соответствовать перед её поступлением в распределительную сеть, а также в точках водоразбора наружной и внутренней водопроводной сети. Экспериментальная часть По данным анализа ФИФ СГМ за 2009 – 2011 гг., к числу приоритетных веществ, загрязняющих питьевую воду систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, относят: - соли кальция и магния, железо, аммиак, кадмий, марганец и его соединения, мышьяк и его соединения, нитраты, свинец и его неорганические соединения, фториды, хром трехвалентный, цинк, ионы стронция, меди и др. (за счет поступления из источника водоснабжения); - алюминий, железо, хлор (за счет загрязнения воды в процессе водоподготовки); - аммиак, железо (за счет загрязнения воды в процессе транспортировки) [1,2]. Катионный состав питьевых вод подлежит систематическому контролю ввиду доминирующего водно-пищевого пути поступления химических элементов в организм человека. Согласно биогеохимической теории академика В.И. Вернадского, существует биогенная миграция атомов по цепочке почва —> вода —> пища —> человек, в результате которой практически все элементы, окружающие человека, в большей или меньшей степени попадают внутрь его организма. В таблице 1 показано преобладание поступления металлов в организм водно-пищевым путем по сравнению с поступлением с вдыхаемым воздухом. Опасность поступления металлов заключается в склонности к депонированию в организме, длительном периоде полувыведения (табл.2). Таблица 1 – Суточное поступление металлов в организм человека

| Металл | Суточное поступление: Резорбция, % | Водно-пищевым путем, мг | С воздухом, мг |      |
|--------|------------------------------------|-------------------------|----------------|------|
| Cd     | 0,15                               | 0,001                   | 55             |      |
| Pb     | 0,1                                | 0,01                    | 8-20           |      |
| Sr     | 1,9                                | 10-60                   | Cr             | 0,15 |
| Cr     | 0,0001                             | до 70                   | Mn             | 3,7  |
| Mn     | 0,002                              | 1-4                     | Cu             | 3,5  |
| Cu     | 0,02                               | 5-30                    | Zn             | 13   |
| Zn     | 0,1                                | 20-30                   | Fe             | 40   |
| Fe     | 0,03                               | 10                      |                |      |

Таблица 2 – Суточное выведение металлов из организма

| Металл     | Суточное выведение: Период полувыведения с мочой, мг | с потом, мг | с калом, мг | прочее, в том числе волосы, мг |
|------------|------------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|
| Cd         | 0,1 - 0,05                                           | до 47 лет   | Pb          | 0,05                           |
| Pb         | 0,65                                                 | 0,3         | 0,03        | до 33 лет                      |
| Sr         | 0,34                                                 | 0,02        | 1,5         | 0,0002                         |
| Cr         | 0,07                                                 | 0,001       | 0,08        | 0,0006                         |
| Mn         | 0,03                                                 | 0,04        | 3,6         | 0,002                          |
| до 40 сут. | Cu                                                   | 0,05        | 0,4         | 3,4                            |
| 0,0003     | до 51 час.                                           | Zn          | 0,5         | 0,8                            |
| 11         | 0,03                                                 | до 245 сут. | Fe          | 0,25                           |
| 0,5        | 15                                                   | 0,01        | до 5,5 лет  |                                |

Каждый элемент имеет присущий ему диапазон безопасной экспозиции, который поддерживает оптимальные тканевые концентрации и функции и у каждого элемента имеется свой токсический диапазон, когда безопасная степень его экспозиции превышена. Рассмотрим подробнее основные физико-химические свойства, пути попадания в питьевую воду и степень негативного воздействия на организм элементов, присутствующих в питьевой воде. Механизм повреждающего действия

различных металлов на организм человека во многом сходен. Общим свойством многих металлов является склонность к образованию комплексов с многочисленными радикалами (аддендами), в том числе с компонентами клеток, белков, аминокислот. Патогенное действие металлов (кадмий, свинец, ртуть и ряда других) выражается в блокировании сульфгидрильных (SH) групп более 100 ферментов, причем наиболее существенно поражаются ферментные системы, участвующие в энергетическом обмене. Металлы, реагирующие с SH-группами, могут влиять на биокаталитические процессы – клеточное дыхание, окислительное фосфорилирование. В результате нарушается структура и функция биологических мембран, внутриклеточных ферментов, отмечается неконтролируемое усиление перекисного окисления липидов, сопряженное с угнетением иммунного ответа [3]. Опасность избыточного поступления металлов заключается в их высокой устойчивости, способности к биогенной миграции, невозможности самостоятельной деструкции и элиминации из организма человека. Наличие катионов железа в подземных водах связано с широким распространением этого элемента в природе. Обычно отмечается избыточное содержание железа почти все водоносные горизонты пресных вод, независимо от принадлежности к тому или иному артезианскому бассейну. В основных напорных горизонтах железо часто превышает предельно допустимые концентрации (ПДК, установленная по органолептическому признаку 0,3 мг/л) в 5-20 раз и более, а в грунтовых водах это превышение иногда возрастает в 40-60 раз (до 12-18 мг/л).[4] Значительные количества железа поступают в поверхностные воды со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками. В питьевой воде железо может присутствовать также вследствие использования на муниципальных станциях очистки воды железосодержащих коагулянтов, которые применяют для осветления поступающей воды, либо из-за коррозии водопроводных труб. При непродолжительном контакте с кислородом воздуха железо окисляется, придавая воде желтовато-бурую окраску. Уже при концентрациях железа выше 0,3 мг/л такая вода способна вызвать появление ржавых потеков на сантехнике и пятен на белье при стирке. Железо не только придает воде неприятную красно-коричневую окраску, но и, вызывает развитие железобактерий, отложение осадка в трубах и их засорение. При содержании железа выше 1 мг/л вода становится мутной, окрашивается в желто-бурый цвет, у нее ощущается характерный металлический привкус. Все это делает такую воду практически непригодной для питьевого водоснабжения [5]. Железо в организме человека относится к числу биоэлементов, входящих в состав подавляющего большинства веществ, участвующих в реакциях терминального окисления [6]. Относительно большие дозы железа подавляют всасывание других микроэлементов в тонкой кишке (Cu, Mn и др.) и могут оказывать неблагоприятный эффект на здоровье.

Главной причиной повышенного выделения этих МЭ из организма при высоком уровне железа в пище является наличие конкуренции между данными металлами за трансферрин – белок, транспортирующий металлы от слизистой оболочки кишечника в органы и ткани организма, причем предпочтение отдается иону железа, который обладает более высоким сродством к трансферрину [3]. Повышенное содержание ионов стронция в подземных водах являются результатом особенностей геологического строения водовмещающих пород. В биологическую миграцию ежегодно вовлекаются десятки миллионов тонн стронция. Средняя концентрация в речной воде составляет 0,08 мг/л. Общетоксическое действие стронция, связанное с нарушением минерального обмена в условиях длительного поступления (более 3-х месяцев), проявляется при концентрациях стронция около 80 мг/л и его содержание в воде 20-30 мг/л вызывает лишь обратимые изменения функционального состояния костной ткани. При повышенном содержании стронция в организме возникает «Уровская болезнь», вследствие вытеснения ионов кальция ионами стронция из костной ткани. Норматив содержания стронция в питьевой воде установлен на уровне 7,0 мг/л, а порог привкуса для воды ощущается при концентрации 12 мг/л. Значительно более жесткие нормативные содержания стронция в воде приняты в некоторых других странах, например, в США рекомендуемый норматив содержания стронция для питьевой воды составляет 22 мг/л. Обследование детей, проживающих в регионах Республики Татарстан с содержанием стронция в воде 7-8 мг/л, выявило гипоплазию эмали зубов у 51% детей при 24% в контрольной группе (стронций в воде 1,2 — 2,4 мг/л). Длительное пользование водой из источников с содержанием стронция 10 мг/л и выше отражается на росте детей, видимо, вследствие стимуляции обмена кальция [6]. Ионы марганца являются постоянным компонентом природных вод и также поступают в воду с промышленными стоками и из материалов водопроводных конструкций. Марганец содержится в сточных водах металлургических, машиностроительных и химических производств. В водах марганцеворудных обогатительных фабрик концентрация марганца может достигать 35 мг/л [7]. Средние уровни марганца в питьевой воде обычно колеблются от 0,005 до 0,025 мг/л. При концентрациях 0,2 мг/л в трубопроводах образуется осадок и при стирке наблюдается окрашивание белья. ПДК марганца в воде источников питьевого водоснабжения равно 0,1 мг/л и она установлена по изменению цветности воды [6]. Марганец относится к важнейшим микроэлементам и является компонентом целого ряда ферментов, выполняя в организме многочисленные функции. Среднесуточная потребность в марганце человека составляет 2-5 мг. Оптимальная интенсивность поступления марганца в организм 3-5 мг/день; уровень, приводящий к дефициту, и порог токсичности оцениваются в 1 и 40 мг/день соответственно [8]. При наличии избытка ионов марганца в организме человека наблюдаются различные функциональные нарушения работы печени, желудочно-кишечного тракта и

нервной системы [9]. Жесткость воды определяется содержанием в воде солей кальция и магния. При употреблении вод, жёсткость которых превышает 10 мг-экв/л, происходит усиление местного кровотока, изменяется процесс фильтрации и реабсорбции в почках. Данное явление служит защитной реакцией организма, но из-за продолжительного влияния возникает истощение регулирующих систем и может развиваться мочекаменная болезнь и/или гипертоническая болезнь [6]. ПДК магния в воде составляет 50 мг/дм. Воды характеризуются следующим его распределением: кларк океанической воды - 0,12 г/дм<sup>3</sup>, речных -  $4,1 \cdot 10^{-4}$  мг/дм<sup>3</sup>. Для сульфатных и гидрокарбонатно-сульфатных вод рек земного шара содержание магния колеблется в более широких пределах - от 0,5-101 мг/дм<sup>3</sup>. В озерных водах содержание магния связано со степенью солености. В грунтовых водах концентрации магния колеблются в широких пределах: сульфатные и хлоридные соленые 1600 мг/дм<sup>3</sup>, пресные 24 мг/дм<sup>3</sup>; гидрокарбонатно-кальциевые 8 мг/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатно-кремнеземные 3,3 мг/дм<sup>3</sup>. Избыток магния в организме приводит к вымыванию (замещению) других необходимых микроэлементов. Концентрация кальция в поверхностных водах имеет заметные сезонные колебания: весной содержание ионов кальция повышено, что связано с легкостью выщелачивания растворимых солей кальция из поверхностного слоя почв и пород. В речных водах содержание кальция редко превышает 1 г/л. Обычно же его концентрация значительно ниже. ПДК кальция составляет 180 мг/л. Поступают ионы кальция в природные воды при растворении известняков и гипса. Растворение известняков, а также содержащих кальций алюмосиликатов происходит под действием присутствующей в воде углекислоты. Реакция эта обратима, концентрация образующихся гидрокарбонатных ионов зависит от содержания в воде равновесной углекислоты; при уменьшении ее количества протекает обратный процесс выделения в осадок нерастворимого карбоната кальция. Такие явления наблюдаются при выходе на поверхность богатых  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  подземных вод с образованием туфов. Огромные количества гидрокарбоната кальция выносятся реками в моря и океаны, где в результате частичной потери углекислоты образуются пересыщенные растворы  $\text{CaCO}_3$ . Потребность в кальции зависит от возраста. Для взрослых в возрасте 19-50 лет и детей 4-8 лет включительно дневная потребность (RDA) составляет 1000 мг [10], а для детей в возрасте от 9 до 18 лет включительно - 1300 мг в сутки. В подростковом возрасте потребление достаточного количества кальция очень важно из-за интенсивного роста скелета. Избыточные дозы кальция и витамина D могут вызвать гиперкальцемию. Максимальная безопасная доза для взрослых в возрасте от 19 до 50 лет включительно составляет 2500 мг в сутки. Ионы свинца и кадмия относят к категории тиоловых ядов. При отравлении свинцом поражаются в первую очередь органы кроветворения, нервная система, почки и органы пищеварения. При остром отравлении кадмием повреждаются дыхательные

пути либо желудочно-кишечный тракт. Существуют данные о возможном канцерогенном эффекте. Концентрация свинца в природных водах может достигать 25 мкг/л. Он содержится в сточных водах металлургических, машиностроительных, химических и многих других производств. Средняя концентрация свинца в сточных водах машиностроительных предприятий составляет 450 мкг/л [7]. Появление свинца в питьевой воде обычно происходит вследствие его поступления в водопроводные системы с загрязненных территорий или из свинцово-медных водопроводных систем. Такие системы до сих пор существуют во Франции и Великобритании. В России избыточное поступление свинца в питьевую воду возможно в населенных пунктах, расположенных вблизи плавильных производств. Норматив свинца в воде водоисточников составляет 0,03 мг/л по санитарнотоксикологическому показателю (Рекомендация ВОЗ — 0,01 мг/л) [6]. Свинец, поступивший в организм, распространяется в виде соединений с фосфатными продуктами белкового распада. Он накапливается в мембранах эритроцитов, соединяясь со свободными SH-группами белков [11] или откладывается в клетках нерастворимых комплексов с гемоглобином. Вначале действие свинца на организм человека проявляется изменениями на молекулярном уровне, причем раньше всего на воздействие свинца реагируют ферменты [12]. Он подавляет активность дыхательных ферментов, снижает процессы окислительного декарбоксилирования, действует на SH-содержащие ферменты [13]. В природных водах кадмий (II) содержится на микрограммовом уровне. При использовании в водопроводе пластмассовых труб кадмий иногда обнаруживается в питьевой воде. Он содержится в сточных водах металлургических, машиностроительных, химических и других производств [7]. Кадмий относится к токсичным микроэлементам. В организм человека в сутки поступает 10-20 мкг кадмия. Однако считается, что оптимальное поступление должно составлять не более 1-5 мкг. Дефицит может развиваться при недостаточном поступлении этого элемента (0,5 мкг/сутки и менее), а порог токсичности составляет 30 мкг/сутки. Повышенные уровни мышьяка в воде могут быть связаны с его поступлением от естественных минеральных формаций, содержащих мышьяк, со сточными водами плавильных производств и при использовании мышьяк-содержащих пестицидов. Мышьяк появляется как в трехвалентном, так и в пятивалентном состоянии, так же как и в органических формах. Трехвалентные соединения обычно более токсичны, чем пятивалентные соединения. Случаи избытка хрома в питьевой воде обычно являются результатом загрязнения промышленными свалками. Трехвалентный хром относительно нетоксичен, но шестивалентный хром оказывает токсическое воздействие на почки, печень, кожу и желудочнокишечный тракт. Шестивалентный хром также канцерогенен и мутагенен. Трехвалентный хром может превращаться в шестивалентный хром в условиях окисления,

возникающего во время хлорирования. Этот микроэлемент вызывает специфические поражения кожи (дерматит, язвы), изъязвления слизистой оболочки носа, неблагоприятно протекающую, склонную к перфорации и пенетрации язву желудка и двенадцатиперстной кишки, нарушает регуляцию сосудистого тонуса и сердечной деятельности [14]. В повышенных дозах хром способен проявлять аллергическое, мутагенное, канцерогенное, нефро- и общетоксическое действие [15]. Соединение хрома при пероральном поступлении вызывают раздражение и воспаление с гиперплазией клеток и гипертрофией слизистой оболочки кишечника, усиление его секреторной и моторной функции. По результатам эксперимента, проведенного Т.Д. Здольник, Л.В. Шустаевой [16] пероральное поступление бихромата калия в дозе 5 мг\кг давало местный и резорбтивный эффект. Местное действие заключалось в раздражении слизистой оболочки тонкой кишки, что проявлялось усилением секреции фермента энтероцитов – мальтазы. Резорбция соединения хрома оказывала токсическое действие на поджелудочную железу с нарушением гидролиза крахмала. Порог токсичности хрома составляет 5 мг/день. В природных водах и источниках водоснабжения в основном содержится порядка нескольких мкг/л меди (II). Она присутствует в сточных водах металлургических, металлообрабатывающих, химических и других производств, например, концентрация меди в сточных водах молибдено-вольфрамовых заводов может достигать 27 мг/л [7]. Медь участвует в процессах тканевого дыхания и кроветворения. При дефиците меди в организме уменьшается абсорбция железа, увеличивается скорость обмена железа плазмы и внедрения его в эритроциты, развивается микроцитарная анемия, гипохромия, гипоферремия, уменьшается продолжительность жизни эритроцитов [17]. Медь участвует не только в кроветворении, но и необходима также для нормального течения многих физиологических процессов – пигментации, остеогенеза, формирования миелина, репродуктивной функции [18]. Недостаток меди приводит к деструкции кровеносных сосудов, патологическому росту костей, дефектам в соединительных тканях и поражению центральной нервной системы. Избыток меди (II) вызывает нарушения работы мозга, печени, вестибулярного аппарата, приводит к недостатку цинка в организме, а при очень больших содержаниях - к летальному исходу [9]. Считается, что оптимальная интенсивность поступления меди в организм составляет 2-3 мг/сутки. Дефицит меди в организме может развиваться при недостаточном поступлении этого элемента (1 мг/сутки и менее), а порог токсичности для человека равен 200 мг/сутки. Концентрация цинка (II) в природных водах варьирует в широком диапазоне. Он содержится в сточных водах горнодобывающих комбинатов, металлообрабатывающих, химических, цементных и других производств. Концентрация цинка в сточных водах обогатительных фабрик цветной металлургии может достигать 50 мг/л [7]. Особое внимание к цинку связано с тем, что он является компонентом

многих энзимов, от него зависит действие ряда гормонов. Считается, что оптимальная интенсивность поступления цинка в организм 10-15 мг/день. Дефицит цинка может развиваться при недостаточном поступлении этого элемента в организм (1 мг/день и менее). Усвоению цинка препятствуют медь, марганец, железо и кальций (в больших дозах). Кадмий способен вытеснять цинк из организма [18]. При недостатке цинка в организме человека происходит медленное заживление ран, выпадение волос, ухудшение памяти, замедление роста и многие другие нарушения здоровья [19]. Избыточное поступление в организм цинка оказывает канцерогенное влияние и токсическое действие на сердце, кровь, гонады и другие органы. Цинк проявляет токсические свойства при дозе 150-600 мг, летальная доза - 6 г [9]. Рассмотренные нами пути поступления металлов в питьевую воду, опасность высоких содержаний металлов в потребляемой питьевой воде для организма человека обосновывает необходимость доочистки питьевых вод от катионов металлов в домах и квартирах.