

ХІМІЧНИЙ СКЛАД МІНЕРАЛЬНИХ ВОД. РОЛЬ ОКРЕМИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ.

- В природных водах в 1975г. было установлено 60 элементов, в 1982 – 70. Однако различная, в большинстве случаев ограниченная растворимость веществ слагающих земную кору, значительно сокращает количество основных компонентов химического состава природных вод.
- Минерализацию природных вод создают обычно немногие соли: хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты Na, Ca, Mg, K.
- Растворимость твёрдых веществ в воде зависит не только от их химической природы, но и от температуры, давления, наличия различных примесей, газов.
- Главными компонентами химического состава природных вод являются следующие ионы: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , которые и определяют в основном химический состав вод. Эти ионы составляют обычно 90-95% всех растворённых солей.
- Эти главные ионы определяют химический тип воды и именуется **макрокомпонентами**.
- Однако, большая часть химических элементов в природных водах находится в незначительных количествах. Эти элементы не определяют химический тип воды и называются **микрокомпонентами**. Несмотря на это, изучение микрокомпонентного состава вод жизненно необходимо, так как он определяет качество питьевых вод, лечебные свойства минеральных вод, выступает в качестве гидрогеохимических показателей при поисках рудных месторождений, определяет практическую значимость промышленных вод, из которых возможно извлечение брома, йода, лития, рубидия и др. полезных компонентов.
- Ряд компонентов, растворённых в природных водах, занимают промежуточное положение между макро- и микро- и называются

мезокомпонентами. К их числу относятся NH_4^+ , NO_3^- , H_3SiO_4^- , H^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} . Эти ионы в некоторых типах вод могут приобретать превалирующее значение.

- Общая минерализация представляет собой суммарное содержание растворённых в воде минеральных солей, определяемое по сухому остатку, выраженному в г/дм^3 или мг/дм^3 который образуется после выпаривания или высушивания солей из любого объема воды при температуре 105-110 градусов. Минерализацию природных вод создают обычно немногие соли: хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты Na, Ca, Mg, K. Общая минерализация – один из главных показателей качества воды.
- Степень минерализации пресных вод, а соответственно и содержание макро- и мезокомпонентов в растворах (водах) принято выражать в граммах или миллиграммах на 1 кубический дециметр (г/дм^3 , мг/дм^3), а солёных вод и рассолов в г/дм^3 или г/кг . Для микрокомпонентов в силу их малых концентраций используется размерность – миллиграммы и микрограммы на 1 кубический дециметр (мг/дм^3 , мкг/дм^3).
- **Жесткость воды** обуславливается присутствием ионов Ca и Mg. Жесткость подземных вод имеет огромное значение для их использования. Выделяют следующие типы жесткости:
 - Общая (обусловлена содержанием в воде солей кальция и магния)
 - Устраняемая (обусловлена наличием в воде бикарбонатов, удаляется при кипячении)
 - Постоянная (равна разности общей и устраняемой жесткости)
 - Карбонатная
 - Остаточная

Жесткость выражается в мг-экв/дм^3

МАКРОКОМПОНЕНТЫ

Хлоридные ионы обладают высокой миграционной способностью. Они не образуют труднорастворимых минералов, не адсорбируются коллоидными системами, не накапливаются биогенным путём. Растворимость хлоридных солей Na, K, Mg, Ca очень высокая. Так, растворимость при комнатной температуре (20°C , г/дм³) NaCl составляет 360, KCl – 340, MgCl_2 – 545, CaCl_2 – 745. В соответствии с этим хлоридные ионы беспрепятственно мигрируют с водами. Присутствуют во всех природных водах от следов до первых сотен г/дм³. В слабо- и умеренноминерализованных водах ионы хлора количественно уступают HCO_3^- и SO_4^{2-} . С увеличением минерализации абсолютное и относительное содержание Cl^- растёт. Доминирующее значение ионы хлора приобретают, как правило, в высокоминерализованных водах и рассолах. Морская вода, рассолы глубинных подземных горизонтов и рапа большинства озёр относятся к хлоридному классу.

Главным источником хлора в природных водах является галит, как рассеянный в породах, так и содержащийся в них в виде пластов и штоков. Он поступает в воду также при выветривании магматических, метаморфических и терригенных пород. Атмосферные осадки тоже содержат хлор. Определённая часть хлора попадает в воду с вулканическими выбросами. Хозяйственные и промышленные отходы тоже поставляют его в грунтовые воды на заселённых территориях.

- **Сульфатные ионы** также обладают хорошей подвижностью, но уступают в этом отношении хлоридным. Коллоиды почв почти не

задерживают SO_4^{2-} . Растворимость сульфатных соединений, хотя и меньше хлоридных солей, является всё же довольно высокой.

- Содержание SO_4^{2-} в природных водах лимитируется присутствием ионов Ca^{2+} , которые образуют с SO_4^{2-} слабо растворимые ангидрит CaSO_4 и гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При невысоких содержаниях Ca^{2+} в минерализованных водах концентрация SO_4^{2-} достигает десятки г/дм³ воды.
- Растения усваивают серу в форме SO_4^{2-} . С этим связано биогенное накопление серы в гумусовом горизонте почв.
- Поверхностные и подземные воды неглубоких горизонтов почти всегда содержат SO_4^{2-} . На больших глубинах, в закрытых геологических структурах, обычно залегают бессульфатные воды. В слабоминерализованных они обычно уступают своё первенство гидрокарбонатным ионам. Сульфатные ионы характерны для умеренно минерализованных вод. Большие содержания сульфат-иона встречаются в районах рудных сульфидных месторождений, благодаря очень высокой растворимости некоторых сульфатов тяжёлых рудных элементов – Cu, Zn, Co, Ni, As, Au («рудные» или «рудничные» воды).
- Источником SO_4^{2-} в водах являются осадочные породы, в состав которых входят гипс и ангидрит. Существенное значение в обогащении вод SO_4^{2-} имеют процессы окисления сульфидов, широко распространённые в земной коре. Значительное количество сульфидов и особенно H_2S выделяется при вулканических извержениях и окисляется до SO_4^{2-} . Так же промышленные и бытовые отходы поставляют определённое количество SO_4^{2-} на локальных участках хозяйственной деятельности.
- **Карбонатные и гидрокарбонатные ионы** являются производными угольной кислоты H_2CO_3 .

- H_2CO_3 диссоциирует на $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ и далее на $2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$.
- Изменение содержания одного из членов этого равновесия влечёт за собой изменение другого. Эти ионы образуют карбонатную систему химического равновесия (карбонатное равновесие). Содержание H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} зависит от рН раствора. В кислых водах преобладает углекислота или двуокись углерода, т.к.
- При рН < 5 концентрация карбонатных ионов практически равна 0. В нейтральных и щелочных водах преобладают гидрокарбонатные ионы. Карбонатные ионы появляются в водах при рН > 8 и в сильно щелочных водах становятся доминирующими.
- Гидрокарбонат-ионы встречаются во всех природных водах, кроме кислых. Обычно они доминируют в водах низкой и умеренной минерализации. Все пресные воды обычно гидрокарбонатные.
- Карбонатные ионы (CO_3^{2-}) встречаются в природных водах сравнительно редко. Условия для миграции HCO_3^- в глубинной обстановке резко ухудшаются из-за уменьшения растворимости карбонатов Ca и Mg при увеличении температуры. При $T=100^\circ\text{C}$ растворимость их падает до 0.
- Источником HCO_3^- и CO_3^{2-} служат различные карбонатные породы (известняки и т.д.) и карбонатный цемент многих осадочных пород. Также могут иметь атмосферное, биохимическое и магматическое происхождение.
- **Ионы натрия** по распространённости среди катионов стоят на первом месте. Все соли натрия обладают высокой растворимостью. Поэтому миграционные способности натрия весьма широки. В этом отношении он уступает только хлору, так как может вступать в обменные реакции

с поглощённым комплексом пород и, следовательно, выводиться из раствора.

- В водах низкой минерализации катион Na^+ чаще всего занимает III-IV место по концентрации. С повышением минерализации содержание Na^+ увеличивается, и уже в водах имеющих минерализацию несколько г/дм³, в большинстве случаев он становится преобладающим катионом. В морской воде Na^+ составляет около 84% массы всех катионов. Большая часть катионов Na^+ уравнивается анионами Cl^- , образуя с ними весьма устойчивое и подвижное соединение.
- Один из источников натрия в водах – это продукты выветривания алюмосиликатов в горных породах. Второй источник – залежи его солей и рассеянные в породах и почвах его соединения (галит, мирабилит и т.д.). Третий источник – как одновалентный ион натрия вытесняется из поглощённого комплекса пород и почв двухвалентными ионами кальция и магния, что способствует его накоплению в подземных водах.
- **Калий** по химическим свойствам и величине содержания в земной коре – почти аналог натрия. Большая часть его в литосфере сосредоточена в силикатах. Калий также, как и натрий, образует легкорастворимые соединения с главными анионами. Однако ионы калия содержатся в неглубоко залегающих подземных водах в незначительных концентрациях. Количество калия обычно составляет 4-10%, от содержания Na^+ , наибольшие его относительные концентрации приходится на маломинерализованные воды. Калий извлекается из растворов животными и растительными организмами. Помимо этого он входит в кристаллическую решётку вторичных глинистых минералов. В подземных водах глубоких горизонтов, где не сказывается роль биогенного геохимического барьера для накопления

K^+ , его концентрации могут резко доминировать над другими катионами.

- **Ионы кальция.** Широко распространён в карбонатных и карбонатсодержащих породах. Среднее содержание Ca в живом веществе составляет 0,5%. Он активно участвует в биологических процессах. При отмирании организмов Ca быстро переходит в минеральную форму и поступает в грунт. Поэтому почвенные растворы, как правило, являются кальциевыми. Ca^{2+} преобладает в поглощённом комплексе почв и пород.
- Ионы Ca^{2+} часто преобладают в катионном составе слабоминерализованных вод. Гидрокарбонатно-кальциевые воды пользуются региональным распространением в хорошо дренированных местностях. С ростом минерализации относительное содержание Ca^{2+} быстро уменьшается. Это объясняется сравнительно ограниченной растворимостью солей Ca, вследствие чего при испарительном концентрировании природных вод постоянно выводятся из раствора громадные количества Ca^{2+} в виде $CaSO_4$ и $CaCO_3$. По этой причине количество Ca в природных водах редко превышает 1 г/дм^3 . Только в глубинных хлоридных кальциевых рассолах содержание Ca^{2+} выражается сотнями г/кг.
- Значительное количество Ca переходит в воду за счёт растворения карбонатных пород. Помимо этого ионы Ca^{2+} поступают в воду в процессе выветривания силикатов. Ионы Ca^{2+} поступают также при фильтрации воды через почву. Источником Ca могут быть также реакции катионного обмена и атмосферные осадки.
- **Ионы магния.** Mg по своим химическим свойствам близок к Ca, но миграция их протекает по-разному. Ионы Mg^{2+} присутствуют во всех природных водах, но очень редко встречаются воды, в которых Mg^{2+}

доминирует. Обычно в маломинерализованных водах преобладает Ca^{2+} , в сильноминерализованных – Na^+ . В то же время Mg^{2+} в громадных количествах может накапливаться в остаточных продуктах испарительного концентрирования морской воды (эвтоника) и образовывать концентрированные хлоридно-магниевые рассолы в районах развития залежей каменных и калийных солей. В минерализованных водах содержание Mg^{2+} доходит до нескольких грамм, а в рассолах – до сотен г/кг.

- Ионы Mg^{2+} в воду поступают преимущественно при растворении доломитов, мергелей или продуктов выветривания изверженных пород основного состава (базитов), содержащих железо-магнезиальные силикаты. В таких случаях даже на низких стадиях минерализации Mg^{2+} занимает в катионном составе первое место или разделяет его с Ca^{2+} .

- **Органические вещества.** Несмотря на разнообразие их форм в природных водах, состоят в основном из углерода, кислорода и водорода (до 98% по весу). Помимо этого присутствуют P, S, K, Ca и др. С санитарно-гигиенической точки зрения присутствующие в водах органические вещества делятся на две группы:

1 – продукты распада растительных и животных организмов, дающие начало главным образом различным органическим кислотам и другим сложным органическим соединениям (не ядовиты и безвредны);

2 – продукты разложения бытовых и промышленных отходов, попадающих в воду вместе со сточными водами. Являются благоприятной средой для развития болезнетворных микроорганизмов. Косвенным показателем присутствия таких соединений служат азотистая и азотная кислота, аммиак, сероводород.

- Химический состав органических веществ весьма сложен и зависит от их происхождения. Общее содержание органических веществ в

подземных водах определяется содержанием $C_{\text{орг}}$ или величиной окисляемости, измеряемой в мг кислорода на кубический дециметр ($O_2/\text{дм}^3$). Более высокой величиной окисляемости отличаются поверхностные воды по сравнению с подземными.

- Максимальные содержания органического вещества характерно для вод нефтегазовых месторождений, а минимальные – для грунтовых вод аридных областей.
- Все органические вещества в подземных водах участвуют в био- и геохимических процессах. Они играют роль в образовании органических миграционных форм элементов. Химические элементы вступают во взаимодействия с органическими веществами, образуя прочные комплексные или элементоорганические соединения. Этот процесс способствует переводу элементов из породы в водный раствор, изменяет миграционные способности элементов. То есть помимо загрязнения, органические вещества определяют и условия формирования химического состава вод.
- **Газы.** В подземных водах газы находятся в свободном и растворённом состоянии. Соотношения между ними изменяется в зависимости от температуры и давления. По закону Генри масса газа, растворённого в объёме жидкости, прямо пропорциональна давлению газа.
- Основными газами, содержащимися в подземных водах, являются кислород, азот, углекислота, сероводород, водород, лёгкие и тяжёлые углеводороды. Помимо этого присутствуют инертные газы – гелий, аргон и др.
- Содержание O_2 в подземных водах $1-15\text{мг}/\text{дм}^3$. Он расходуется на окислительные процессы и поэтому с глубиной его содержание уменьшается.

- Количество CO_2 изменяется в зависимости от мощности источника её поступления (биохимические, термометаморфические, магматические и др. процессы), химического состава подземных вод и термобарических условий среды.
- H_2S . Наиболее высокие его содержания известны в подземных водах нефтегазоносных провинций, а также в водах сульфидных месторождений.
- **Метан, азот, водород, гелий** обладают малой растворимостью в воде. Поэтому их высокие концентрации, в соответствии с законом Генри, характерны только для высоконапорных подземных термальных вод глубоких горизонтов земной коры, в связи с чем они встречаются в нефтегазоносных структурах, областях тектономагматической активизации и современного вулканизма.
- **Микрофлора.** Аэробные и анаэробные бактерии. Глубокие подземные воды характеризуются развитием бактерий, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях. Например, сульфатредуцирующие, метанообразующие, денитрифицирующие бактерии приводят к образованию в подземных водах H_2S , CH_4 , N_2 . Другие виды бактерий (водород- и углеводородокисляющие, тионовые, серобактерии) окисляют H_2 , CH_4 , H_2S и т.п.

Мікроелементи та їх роль у житті людини

Антропогенне забруднення навколишнього середовища здебільшого пов'язане з мікроелементами із групи важких металів, що своїми негативними наслідками для здоров'я різних груп населення, викликає серйозне занепокоєння.

Стабільність хімічного складу організму – одна з найважливіших і обов'язкових умов його нормального функціонування. Відхилення вмісту хімічних елементів в організмі людини від норми призводить до порушення здоров'я. Виявлення і оцінювання порушень в обміні мікроелементів та їх корегування дають змогу вирішити теоретичні та практичні аспекти їх впливу на показники здоров'я населення України.

Хоча мікроелементи містяться в організмі людини в мізерних концентраціях, але забезпечують перебіг найважливіших біохімічних реакцій, у результаті яких виділяється енергія для підтримання життєдіяльності, відбувається поділ та ріст клітин, забезпечується баланс внутрішнього середовища організму тощо.

Наведемо коротку характеристику мікроелементів.

Залізо. Поширений у природі елемент, вміст якого в організмі людини становить близько 4,25 г. 57% усього заліза в організмі міститься в гемоглобіні крові, 23% – у тканинах і ферментах тканин, решта 20% депонується в печінці, селезінці, кістковому мозку. Харчовий раціон людини в середньому має містити не менше 20 мг заліза, для вагітних – 30 мг. Залізо є життєво необхідним елементом для організму.

У разі отруєння залізом виникає блювота, діарея, знижується артеріальний тиск, настає параліч центральної нервової системи, запалення нирок. При нестачі заліза в організмі розвивається залізодефіцитна анемія.

Надмірний вміст заліза в організмі може призвести до дефіциту міді, хрому і кальцію, а також до надлишку кобальту.

Залізо – один з основних елементів природної води, у якій його концентрація коливається від 0,5 до 50 мг/дм³. Інші джерела заліза в питній

воді – це залізовмісні коагулянти (використовуються у процесах водопідготовки) та залізо, що проникає у воду з ділянок корозії сталевих і чавунних водопровідних труб.

Підвищений вміст заліза у воді надає їй іржавий колір і присмак металу, що робить воду непридатною до вживання. Постійне вживання води з підвищеним вмістом заліза – більше 0,4-1 мг/кг маси тіла в день може привести до розвитку гемохроматозу, тобто відкладанню сполук заліза в органах і тканинах.

Відомо, що дуже високі дози заліза у воді можуть бути смертельними. За даними ВООЗ смертельна доза заліза, прийнятого усередину, становить від 40 до 250 мг/кг маси тіла. При цьому розвивається геморагічний некроз (руйнування) ділянок слизуватої оболонки шлунка. Безпечна добова доза заліза за рекомендаціями Експертного Комітету ВООЗ з харчових добавок становить 0,8 мг/кг маси тіла. Виходячи із цієї дози була розрахована ПДК заліза в питній воді – 0,3 мг/дм³.

Мідь. В організм людини мідь надходить переважно з водою та їжею. Оптимальна інтенсивність надходження міді в організм становить 2-3 мг/добу. Дефіцит міді в організмі розвивається за недостатнього надходження цього елемента (1 мг/добу і менше), поріг токсичності міді для людини становить 200 мг/добу, токсична доза – понад 250 мг.

Мідь здатна проникати в усі клітини, тканини та органи. Максимальна концентрація міді в печінці, нирках, мозку, крові, проте її можна виявити і в інших органах та тканинах.

Нестача міді в організмі людини призводить до хвороби, симптоми якої – блідість, періорбітальний або претибіальний набряк, уповільнення росту, анорексія до твердої їжі, низький вміст міді й заліза у сироватці крові. Інша група випадків ілюструє синдром, ознаками якого є нейтропенія, хронічна діарея, що супроводжується різким зменшенням концентрації міді у сироватці крові, а також зниженням вмісту в крові церулоплазміну. Синдром Менкеса (хвороба кучерявого волосся) у немовлят пов'язаний із генетично

зумовленим дефектом всмоктування міді. Характерними ознаками його є прогресуюча розумова відсталість, порушення кератинізації волосся, гіпотермія, зниження концентрації міді у сироватці крові, руйнування кінців довгих трубчастих кісток, дегенеративні зміни еластину аорти.

Мідь входить до складу багатьох вітамінів, гормонів, ферментів, дихальних пігментів, бере участь у процесах обміну речовин, у тканинному диханні тощо; має велике значення для підтримання нормальної структури кісток, хрящів, сухожилів (колаген), еластичності стінок кровоносних судин, легневих альвеол, шкіри (еластин). Входить до складу мієлінових оболонки нервових волокон. Впливає на вуглеводний обмін – прискорює процеси окиснення глюкози, гальмує розпад глікогену в печінці. Входить до складу багатьох найважливіших ферментів, таких як цитохромоксидаза, тирозиназа, аскорбіназа тощо. Міститься в системі антиоксидантного захисту організму, оскільки є кофактором ферменту супероксиддисмутази, що бере участь у нейтралізації вільних радикалів кисню. Цей біоелемент підвищує стійкість організму до деяких інфекцій, зв'язує мікробні токсини і посилює дію антибіотиків. Мідь чинить виражену протизапальну дію, ослаблює прояви аутоімунних захворювань (ревматоїдний артрит), сприяє засвоєнню заліза.

У різні періоди життя людини рівень міді в організмі або різко підвищується (під час вагітності), або різко знижується (тяжкі інфекції, онкологічні захворювання). Дуже низька концентрація міді в сироватці крові може бути однією з причин розвитку атеросклерозу.

Рівень міді у природній воді досить низький, але використання міді у складових водопроводу може значно підвищувати її концентрацію в питній воді. Концентрація міді більше 3 мг/дм³ може спричинити гостре порушення функції шлунково-кишкового тракту – нудоту, блювоту, понос. У людей, що перенесли захворювання печінки, наприклад вірусний гепатит, обмін міді порушений і її довгочасне споживання з водою може сприяти розвитку цирозу печінки. Особливо чутливі до підвищеної концентрації міді у воді грудні діти на штучному вигодовуванні. У них ще в дитячому віці при

вживанні такої води може розвинути цироз печінки. Безпечна добова доза міді за рекомендаціями Експертного Комітету ВООЗ (Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я) з харчових добавок становить 0,5 мг/кг маси тіла. Виходячи із цієї дози була розрахована гранично допустима концентрація міді в питній воді – 1-2 мг/дм³.

Цинк. Оптимальна інтенсивність надходження цинку в організм – 10-15 мг/добу. Дефіцит цинку розвивається за недостатнього надходження цього елемента в організм (1 мг/добу і менше), поріг токсичності становить 600 мг/добу. Добова потреба людини в цинку коливається залежно від віку, професії, статі, фізіологічного стану (вагітність, пологи) від 1,25 до 5,45 мкг.

Для кращого засвоєння цинку організмом необхідні вітаміни А і В₆. Засвоєнню цинку заважають мідь, марганець, залізо, кальцій (у великих дозах). Кадмій здатний витіснити цинк із тканин організму.

В організмі дорослої людини міститься 1,5-3,0 г цинку. Його виявлено в усіх органах і тканинах, але найбільша його кількість у передміхуровій залозі, спермі, шкірі, волоссі, м'язовій тканині, клітинах крові.

Цинк необхідний для нормального перебігу біохімічних процесів. Цей елемент потрібний для синтезу білків, зокрема колагену, формування кісток. Цинк бере участь у процесах поділу і диференціювання клітин, формуванні Т-клітинного імунітету, функціонуванні десятків ферментів. Він відіграє найважливішу роль у процесах регенерації шкіри, росту волосся і нігтів, секреції сальних залоз. Сприяє всмоктуванню вітаміну Е і підтриманню нормальної концентрації цього вітаміну в крові. Важливу роль відіграє в переробці організмом алкоголю, тому недостатність цинку може підвищувати схильність до алкоголізму (особливо у дітей і підлітків). Входить до складу інсуліну, низки ферментів, бере участь у кровотворенні.

Цинк необхідний для підтримання нормального стану шкіри, волосся і нігтів, загоєння ран, оскільки бере участь у синтезі білків. Він зміцнює імунну систему організму, сприяє видаленню з організму діоксиду вуглецю.

Патологічні стани у людини, які є наслідком нестачі цинку в раціоні, виявляються в уповільненні росту та статевому інфантилізмі підлітків, сповільненні загоєння ран тощо.

Токсичність цинку незначна порівняно з токсичністю інших елементів. Клінічні спостереження за хворими, які вживали цинк для загоєння ран, підтвердили, що споживання близько 200 мг цинку (у розрахунку на елемент) протягом тривалого часу не викликає токсичного ефекту.

Цинк міститься у воді у вигляді солей і органічних сполук. Його вміст у природній воді не перевищує 0,05 мг/дм³, але в питній воді його концентрації можуть бути вище за рахунок надходження з водопровідних труб. Максимально припустима добова доза цинку становить 1 мг/кг маси тіла. Високий вміст солей цинку в питній воді може викликати отруєння.

Так, однократне вживання 500 мг цинку сульфату викликає лихоманку, нудоту, блювоту, болі в шлунку, понос через 12-13 годин після вживання; щоденне вживання 440 мг солей цинку спричиняє утворення ерозій на слизовій шлунка; 80-150 мг солей цинку спричиняє підвищення фракцій холестерину крові через кілька тижнів.

Встановлено, що рівень солей цинку в питній воді більше 3 мг/дм³ робить її непридатною до вживання.

Марганець. Середньодобова потреба людини в марганці – 2,5-5,0 мг. Біозасвоюваність його невисока – всього 3-5 %. Оптимальна інтенсивність надходження марганцю в організм – 3-5 мг/добу; рівень, що призводить до дефіциту, і поріг токсичності оцінюють відповідно в 1 і 40 мг/добу. Токсична доза цього елемента для людини – 40 мг/добу.

Всмоктується в організмі у тонкій кишці. У підвищених кількостях його виявлено в печінці, трубчастих кістках, підшлунковій залозі, нирках. Виводиться марганець переважно з калом, потом, сечею.

Гострими проявами нестачі марганцю в організмі лабораторних тварин є порушення росту, порушення або пригнічення репродуктивної функції, аномальне формування скелета, нервові розлади.

Ефект токсичності для людини, яка споживає підвищену кількість цього елемента, не виявлено; це видається неймовірним, окрім випадків сильного промислового забруднення довкілля. Хронічне отруєння зафіксовано тільки у шахтарів, які тривалий час працювали з марганцевими рудами. Цей елемент потрапляв в організм переважно у вигляді часточок оксиду через респіраторні шляхи, а також через шлунково-кишковий тракт із забрудненого довкілля. Легені, ймовірно, слугують «депо», звідки він безперервно всмоктується в кров. У Чилі ця хвороба відома як «марганцеве божевільня» і характеризується дратівливістю, утрудненнями ходьби, аномальною походою, порушенням мови, блукаючими болями, астеною. Тяжкі психічні симптоми виявляються також при шизофренії і призводять до неврологічних розладів, подібних до тремтливості паралічу або хвороби Паркінсона, тому людина постійно є інвалідом.

Вміст марганцю у прісних природних водах – 0,0002-110 мг/дм³.
Рекомендована ГДК марганцю для питних вод – 0,1 мг/дм³.

Хром. В організмі людини міститься близько 6 мг цього мікроелемента. Сполуки хрому в організм людини надходять з їжею, водою і повітрям. Він всмоктується переважно в порожній кишці, незасвоєний хром виводиться з калом. У тканинах органів його вміст у десятки разів вищий, ніж у крові. Найбільша кількість хрому в печінці (0,2 мкг/кг) і нирках (0,6 мкг/кг), кишковику, щитоподібній залозі, хрящовій і кістковій тканинах, легенях (за надходження сполук хрому з повітрям). Засвоєний хром виводиться з організму переважно через нирки, меншою мірою – через легені, шкіру і кишковик (близько 19%).

Людський організм потребує 50-200 мкг хрому на добу. Біозасвоюваність його з неорганічних сполук у шлунково-кишковому тракті невисока (0,5-1,0 %), проте вона збільшується до 20-25 % при надходженні хрому у вигляді комплексних сполук (піколінати, аспарагінати). Шестивалентний хром засвоюється в 3-5 разів краще, ніж тривалентний. У легенях осідає до 70 % хрому.

Дефіцит хрому в організмі розвивається за недостатнього його надходження (до 20 мкг/добу). Поріг токсичності хрому – 5 мг/добу, токсична доза для людини – 200 мг, летальна – 3,0 г.

Хром – життєво важливий мікроелемент, який є постійною складовою частиною клітин усіх органів і тканин. Він бере участь у регуляції синтезу жирів, обміну вуглеводів, сприяє перетворенню надмірної кількості вуглеводів на жири; входить до складу низькомолекулярного органічного комплексу – фактора толерантності до глюкози, що забезпечує підтримання нормального рівня глюкози в крові; разом з інсуліном діє як регулювальник рівня цукру в крові, забезпечує нормальну активність інсуліну; сприяє структурній цілісності молекул нуклеїнових кислот; бере участь у регуляції роботи серцевого м'яза і функціонуванні кровоносних судин; сприяє виведенню з організму токсинів, солей важких металів, радіонуклідів.

Хоча хром є життєво важливим елементом, за надлишкового надходження в організм він стає небезпечним токсикантом. Шестивалентний хром – канцероген I класу небезпеки. Після тривалого (15-20 років) контакту з підвищеними концентраціями хроматів (Cr^{6+}) людина може захворіти на рак легенів.

Вміст хрому в прісних природних водах – 0,0005-0,18 мг/дм³. Рекомендована ГДК хрому для питних вод – 0,05 мг/дм³.

Селен. Оптимальна інтенсивність надходження селену в організм – 20-70 мкг/добу. Його дефіцит в організмі розвивається за надходження 5 мкг/добу і менше, поріг токсичності – 5 мг/добу. Токсична доза для людини – 5 мг. Добова потреба організму людини в селені – 20-100 мкг.

Селен всмоктується в дистальному відділі тонкої кишки, де з його розчинних сполук утворюються сполуки селену з метіоніном і цистеїном. Накопичується селен насамперед у нирках, печінці, кістковому мозку, серцевому м'язі, підшлунковій залозі, легенях, шкірі та волоссі.

В організмі селен стимулює процеси обміну речовин. Його важливою біохімічною функцією є участь у побудові й функціонуванні

глутатіонпероксидази, гліцинредуктази і цитохрому С – основних антиоксидантних сполук.

Токсичну дію селену пов'язують з його здатністю замішувати в бокових молекулах сірку з утворенням селеновмісних амінокислот, що призводить до порушення окисно-відновних процесів в організмі. В результаті накопичуються недоокиснені продукти обміну (зокрема молочна кислота).

Селен бере участь як у першій фазі біохімічної адаптації (окиснення чужорідних речовин з утворенням органічних оксидів і пероксидів), так і в другій (зв'язування і виведення активних метаболітів). Він є основним компонентом ферменту пероксидази глутатіону, який захищає організм від шкідливих речовин, що утворюються при розпаді токсинів.

Селен – антагоніст ртуті й арсену, здатний захистити організм від кадмію, свинцю, талію, бере участь і в інших формах антиоксидантного захисту. Цей мікроелемент виконує численні захисні функції в організмі, зміцнює імунний захист, сприяє збільшенню тривалості життя.

Селен характеризується лікувальним ефектом при кардіопатіях різної етіології, гепатитах, панкреатиті, захворюваннях шкіри, вуха, горла, носа. Загальновідома роль селену у профілактиці й лікуванні злоякісних новоутворень.

За недостатньої кількості селену в організмі порушується цілісність клітинних мембран, значно знижується активність згрупованих на них ферментів, усередині клітин накопичується кальцій, порушується метаболізм амінокислот і кетонових кислот.

Існує кореляція між дефіцитом селену і пухлинними захворюваннями, такими як рак шлунка, простати, товстої кишки, молочної залози.

Надлишок селену спричиняє «хворобу Кешана» (за назвою провінції на північному сході країни), для якої характерні дистрофічні зміни в міокарді та розвиток серцевої недостатності. У тварин, які недоотримують селен, розвивається «білом'язова хвороба», що супроводжується дистрофією м'язів, некрозом печінки, дефіцитом білка.

Надмірне надходження селену в організм людини спричиняє захворювання – селенотоксикоз, яке виявляється у вигляді так званої «лужної хвороби». У китайській провінції Хубей зафіксовано випадки отруєння селеном, що надходить із доквілля в організм у кількості 3-7 мг/добу.

У питній воді селен звичайно міститься в дозі близько 0,01 мг/дм³. При однократному надходженні в організм великої дози селену виникають ознаки гострого отруєння – блювота, понос, біль у животі, озноб, тремтіння й оніміння кінцівок. Постійне вживання підвищених доз селену приводить до розвитку захворювання – селенозу, яке проявляється функціональними розладами в роботі травного тракту, знебарвленням і випаданням волосся, ламкістю нігтів, дерматитом, карієсом зубів. Зміни на шкірі, у нігтях і волоссі проявляються при вмісті селену у воді 0,66 мг/дм³. Рекомендований вміст селену у питній воді – 0,01 мг/дм³.

Молібден. За добу в організм дорослої людини може потрапити 75-250 мкг молібдену. Більше половини молібдену всмоктується в кров, близько 80 % молібдену, що надійшов у кров, зв'язується з білками (перемлію з альбуміном) і транспортується по всьому організму. Молібден накопичується в печінці, у крові розподіляється рівномірно між форменими елементами і плазмою. Розчинні сполуки молібдену виводяться із організму з сечею і калом.

Токсична доза для людини – 5 мг, летальна – 50 мг.

Молібден входить до низки ферментів, які виконують важливі фізіологічні функції, зокрема регулюють обмін сечової кислоти. Недостатність молібдену в організмі супроводжується зменшенням вмісту в тканинах ксантинооксидази. Тіомолібдат амонію (розчинна сіль молібдену) є антагоністом міді й порушує її утилізацію в організмі. Відомо, що молібден відіграє важливу роль у процесі включення фтору в зубну емаль, у стимуляції гемопоезу.

У деяких районах світу спостерігаються ендемічні захворювання, пов'язані зі ступенем забезпеченості населення молібденом. Наприклад,

зростання захворюваності на рак стравоходу в провінції Хенань (Китай), Транської (ПАР).

Надмірна кількість молибдену в організмі може бути наслідком перевищення безпечного рівня його надходження (0,5 мг/добу). При добовому споживанні молибдену від 0,5 до 10 мг спостерігаються лише помірно виражені біохімічні зміни, що істотно не впливають на здоров'я людини. При споживанні молибдену в межах 10-15 мг/добу виявляються клінічні симптоми інтоксикації. При дозі молибдену понад 15 мг/добу підвищується активність ксантиноксидази, накопичується сечова кислота, збільшується ризик виникнення подагри (в осіб, які контактують із молибденом у виробничих умовах). При хронічній молибденовій інтоксикації розвиваються неспецифічні симптоми, що виявляються у подразненні слизових оболонок, пневмоконіозі, зменшенні маси тіла. При надмірному вмісті молибдену в ґрунті спостерігається ендемічне захворювання населення (молибденова подагра).

Вміст молибдену в питній воді звичайно не перевищує $0,01 \text{ мг/дм}^3$, але в місцях розташування руд, багатих на цей елемент, його вміст може підвищуватися до 200 мг/дм^3 .

Надає воді слабо-в'язкий смак. У дозах $10-15 \text{ мг/дм}^3$ спричиняє підвищення рівня сечової кислоти в крові, остеопороз кісток і захворювання, подібне до подагри, яке проявляється болями в кистях і стопах, збільшенням розмірів печінки, функціональними розладами травного тракту, печінки й нирок. Рекомендований вміст у питній воді – $0,07 \text{ мг/дм}^3$.

Йод. Життєво важливий елемент, біотик. Оптимальна інтенсивність надходження йоду в організм – $100-150 \text{ мкг/добу}$. Дефіцит йоду розвивається за його надходження в організм менше 10 мкг/добу , поріг токсичності – 5 мг/добу .

У нормі в організмі людини міститься $15-25 \text{ мг}$ йоду, причому половина цієї кількості – у щитоподібній залозі. Концентрація йоду у щитоподібній залозі становить $1000-12000 \text{ мкг/г}$, тоді як у печінці – $0,2$, яєчниках, легенях –

0,07, нирках – 0,04, в лімфовузлах – 0,03, у мозку, сім'яниках і м'язах – 0,02 мкг/г. Нормальний вміст йоду у волоссі людини – близько 4 мкг/г. Виводиться він з організму переважно через нирки. Токсична доза цього мікроелемента для людини – 2 мг, летальна – 35-350 г.

Основні функції йоду в організмі полягають у його участі в регуляції: швидкості біохімічних реакцій; обміну енергії, температури тіла; білкового, жирового, водно-електролітного обміну; обміну деяких вітамінів; диференціювання тканин, процесів росту і розвитку організму, зокрема нервово-психічного; індукує підвищене споживання кисню тканинами.

Біологічне значення йоду пов'язане з розвитком ендемічного зобу. Цей мікроелемент необхідний для нормального функціонування щитоподібної залози в дозі 150-200 мкг/добу. Йодна нестача призводить до виникнення ендемічного зобу. Захворювання виявляється в гіпофункції та компенсаторному дифузному збільшенні щитоподібної залози. В ендемічних районах залежно від рівня ураження ендемічним зобом поширені залізодофіцитні анемії, відхилення у фізичному розвитку дітей, порушення процесів костеніння кісток і статевого дозрівання, зміна імунологічної реактивності організму, зниження показників розумової працездатності тощо. За тяжкої форми захворювання розвивається кретинізм – виражене недоумство, затримується ріст дітей, у дорослих розвивається ендемічний зоб.

Ендемічний зоб поширений на всіх континентах, переважно трапляється в гірських районах (Швейцарія, Австрія, Кавказ, Гірський Алтай, Урал, Закарпаття тощо). Патогенна дія дефіциту йоду посилюється в умовах нестачі в організмі Cu, Co і надлишку Mn. Незбалансованість харчування (дефіцит білків при надлишку вуглеводів, нестача вітамінів при надлишку жирів) гальмує процеси метаболізму йоду.

Вміст йоду в прісних природних водах 0,003-3,0 мг/дм³. Рекомендована ГДК йоду для питних вод – 0,0002 мг/дм³.

Кобальт. Життєво необхідний елемент для людини. Оптимальна інтенсивність надходження кобальту в організм людини – 20-50 мкг/добу. Дефіцит кобальту спостерігається при його надходженні в організм 10 мкг/добу і менше, поріг токсичності цього елемента – 500 мг/добу.

В організмі дорослої людини міститься близько 1,5 мг кобальту, зокрема у печінці – 0,11 мг, скелетних м'язах – 0,20, кістках – 0,28, волоссі – 0,31, жировій тканині – 0,36 мг. З організму він виводиться з калом (близько 80 %) та сечею (10 %).

Надмірна кількість кобальту спричиняє отруєння. Токсичні дози цього мікроелемента в продуктах харчування становлять 200-350 мг/кг. За незвичайних із погляду харчового раціону умов токсичними для людини можуть бути дози, значно нижчі за 25-30 мг/добу, що відповідає його концентрації в їжі 200-300 мг/кг.

Вміст кобальту в прісних природних водах – 2×10^{-6} -0,18 мг/дм³. Рекомендована ГДК кобальту для питних вод – 0,0001 мг/дм³.

Арсен. Оптимальна добова інтенсивність надходження арсену в організм людини становить 50-100 мкг. Дефіцит цього елемента в організмі розвивається при його надходженні менше 1 мкг/добу, поріг токсичності – 20 мг, токсична доза для людини – 5-50 мг, летальна – 50-340 мг.

В організмі людини міститься близько 15 мг арсену. Майже 80 % цього елемента всмоктується в шлунково-кишковому тракті, 10 % – надходить в організм через легені і близько 1 % – крізь шкіру. Через 24 години після надходження з організму виводиться 30 % арсену із сечею і близько 4 % – з калом. Він накопичується в легенях, печінці, шкірі, тонкій кишці.

У питній воді вміст арсену менший за 10 мкг/дм³, а ГДК для питних вод ВООЗ – 0,01 мг/дм³, проте в деяких регіонах світу (Індія, Бангладеш, Тайвань, Мексика) – перевищує 1 мг/дм³, що є причиною масових хронічних отруєнь арсеном і викликає так звану хворобу «чорної стопи».

Арсен взаємодіє з тіоловими групами білків, цистеїном, глутатіоном, ліпоєвою кислотою. Впливає на процеси окиснення в мітохондріях, бере участь у багатьох інших важливих біохімічних процесах.

Арсен є так званою «тіоловою отрутою». Механізм його токсичності пов'язаний з порушенням обміну сірки, селену й фосфору. Токсичність арсену залежить від його хімічних властивостей і знижується в такому порядку: арсин > неорганічний As^{3+} > органічний As^{3+} > неорганічний As^{5+} > сполуки арсонію > елементарний арсен.

Органами-мішенями за надмірного вмісту арсену в організмі є кістковий мозок, шлунково-кишковий тракт, шкіра, легені, нирки. Неорганічні сполуки арсену канцерогенні. Внаслідок тривалого споживання забрудненої арсеном води розвиваються низько диференційовані форми раку шкіри (рак Боуена).

Вміст арсену в прісних природних водах – 0,0005-0,002 мг/дм³. Рекомендована ГДК арсену для питних вод – 0,05 мг/дм³.

Бор. Середньодобова потреба людини в борі становить 1-2 мг (мінімальне надходження бору – 0,2 мг). В організмі дорослої людини міститься близько 20 мг цього мікроелемента. Верхня межа середньодобової безпечної дози бору для людини – 13 мг, токсична доза – 4 г.

Сполуки бору (борат натрію, борна кислота) швидко всмоктуються в шлунково-кишковому тракті. Організм засвоює понад 90 % бору. Виводиться він з організму переважно з сечею.

Більше половини загальної кількості бору локалізовано у скелеті, близько 10 % – у м'яких тканинах. В середньому в тканинах людини міститься від 0,05 до 0,6 мкг/кг бору, проте в зубах і нігтях його концентрація в кілька разів вища. В організмі бор виявлено в клітинах нервової тканини, паренхіматозних органах, жировій клітковині, у плазмі крові середня концентрація бору становить 0,02-0,075 мкг/мл. У деяких регіонах світу через підвищений вміст бору в довіллі в організм людини щоденно надходить 17-27 мг бору, тоді його вміст у крові зростає до 0,45-0,66 мкг/мл.

Бор відіграє істотну роль в обміні вуглеводів і жирів, низки вітамінів і гормонів, впливає на активність деяких ферментів. Доведено, що введення борату натрію у дозі 5-10 мг/кг підвищує рівень цукру в крові. Під впливом борату інактивуються вітаміни В₂ і В₁₂, пригнічується окиснення адреналіну.

В жінок у період менопаузи недостатність бору спричиняє погіршення мінерального обміну і стану кісткової тканини, що підтверджує роль бору як найважливішого елемента в профілактиці і лікуванні остеопорозу.

Бор відіграє регуляторну роль щодо паратгормону, тому може опосередковано впливати на метаболізм кальцію, магнію, фосфору і вітаміну D.

Недостатній вміст бору в організмі на тлі дефіциту вітаміну D спричиняє підвищення активності лужної фосфатази в плазмі крові та затримання росту. Низький вміст вітаміну D підсилював вплив дефіциту бору на обмін кальцію, магнію і фосфору.

Ознаки гострої інтоксикації сполуками бору (бура, борна кислота): блювота та інші диспепсичні розлади, шок.

Вміст бору в прісних питних водах складає 0,1-10 мг/ дм³, а ГДК для питних вод – 0,5 мг/дм³

Бром. Умовно есенційний елемент. Добове надходження цього біоелемента в організм людини становить 2-8 мг. Токсична доза для людини – 3 г, летальна – 35 г.

Бром виявляють у крові (до 10 мг/дм³), кістковій і м'язовій тканині; найвища його концентрація в нирках, гіпофізі, щитоподібній залозі. В організмі дорослої людини міститься близько 260 мг бромиду. Видаляється цей мікроелемент переважно із сечею і потом.

Йони бромиду пригнічують діяльність щитоподібної залози, оскільки є антагоністами йодидів, за хронічної дії – уповільнюють їх засвоєння. Броміди беруть участь у регуляції ЦНС, посилюють процеси гальмування.

За хронічної інтоксикації сполуками бромом можуть розвиватися бромізм і бромодерма. За гострого отруєння ослаблюється увага до зовнішніх впливів, розладжується хода, утруднюється мова.

Вміст бромом в прісних питних водах – 0,021 мг/дм³. Рекомендована ГДК бромом для питних вод – 0,2 мг/дм³.

Фтор. В організмі людини фтор знаходиться у зв'язаному стані, зазвичай у вигляді важкорозчинних солей кальцію, магнію та заліза. Сполуки фтору входять до складу всіх тканин людського тіла. 99 % усієї кількості фтору припадає на кістки та зубну емаль. З організму фтор виводиться переважно із сечею.

Вміст фтору в організмі дорослої людини становить близько 2,6 г, середньодобове надходження цього мікроелемента з їжею – 0,5-1,5 мг. Токсична доза для людини – 20 мг, летальна – 2 г.

Надлишок фтору в організмі людини призводить до руйнування зубів, спотворення нігтів, підвищення крихкості кісток, кровоносні судини втрачають еластичність і стають ламкими.

Фтор – життєво необхідний для нормального росту і розвитку організму. Він бере участь у багатьох важливих біохімічних реакціях – активує аденілатциклазу, інгібує ліпази, естеразу, лактатдегідрогенази тощо.

За систематичного споживання води з надмірним вмістом фтору в населення розвивається ендемічний флюороз. Простежується характерне ураження зубів (крапчастість емалі), порушення процесів костеніння скелета, виснаження організму. У тяжких випадках розвивається генералізований остеосклероз або дифузний остеопороз кісткового апарату. Надмірна кількість фтору пригнічує обмін фосфору і кальцію в кісткових тканинах, порушує вуглеводний, білковий та інші обмінні процеси, пригнічує тканинне дихання тощо. Фтор – нейротропна отрута, яка гальмує нервові процеси. Дефіцит фтору в поєднанні з іншими чинниками викликає карієс зубів.

Біологічна особливість фтору стала основою для розробки ефективного методу профілактики карієсу зубів – фторування питної води. За тривалого

споживання фторованої води знижується не тільки ураженість зубів карієсом, а й рівень захворювань, пов'язаних із наслідками одонтогенних інфекцій (ревматизм, серцево-судинна патологія, захворювання нирок тощо).

Вміст фтору в прісних природних водах – 0,1-250 мг/дм³, ГДК фтору в питній воді, що лімітується за санітарно-токсикологічною ознакою шкідливості, знаходиться в межах 0,7-1,5 мг/дм³.

Літій. Протягом доби в організм дорослої людини надходить близько 100 мкг літію. Йони літію швидко і практично повністю абсорбуються із шлунково-кишкового тракту, вони легко проникають крізь біологічні мембрани. Середній вміст літію, в різних органах, мкг/г: у лімфовузлах – 200, легенях – 60, печінці – 7, нативній крові – 6, м'язах – 5, мозку – 4.

Літій виявляють у кістках, кишковику, надниркових залозах тощо. Виводиться літій переважно через нирки, менше – з калом і потом.

Токсична доза для людини – 92-200 мг.

В організмі літій сприяє вивільненню магнію з клітинних «депо» і гальмує передачу нервового імпульсу, отже, знижує збудливість нервової системи.

Літій діє на структурні компоненти організму на різних рівнях. Одними з органів-мішеней літію є скелет і щитоподібна залоза. За тривалої дії концентрація літію в кістковій тканині виявляється вищою, ніж в інших органах. Скелет є місцем активної взаємодії літію з магнієм, кальцієм та іншими мінеральними компонентами кісткової тканини.

Літій впливає на нейроендокринні процеси, жировий і вуглеводний обміни. Літій чинить інсуліноподібний ефект.

Дані про клінічні прояви дефіциту літію обмежені. Встановлено, що у хворих на хронічний алкоголізм концентрація літію в організмі знижена. Дефіцит літію трапляється за імунодефіцитних станів і деяких новоутворень. В літературі наводяться дані про зв'язок концентрації літію у питній воді та частоти депресій у населення різних регіонів.

Механізм токсичної дії літію вивчений недостатньо. Можливо, він впливає на механізми підтримання гомеостазу натрію, калію, магнію і кальцію. Інтوکсикація літієм часто має ятрогенну природу (отруєння препаратами літію відомі в психіатричній практиці). За тривалої дії літію зазвичай розвивається гіперкаліємія та дисбаланс Na/K.

Токсичні ефекти солей літію виявляються за концентрації літію в плазмі крові понад 10 мкг/л, за концентрації 11-13 мкг/л спостерігаються слабкі симптоми інтоксикації, які стають більш вираженими в разі підвищення концентрації літію до 14-17 мкг/л, а > 21 мкг/л – розвивається клінічно виражена поліорганна патологія. Ранніми симптомами отруєння є тремор кистей, поліурія та помірне відчуття спраги. Симптомами середньої інтоксикації – діарея, блювота, м'язова слабкість, млявість та втрата координації. Симптомокомплекс тяжкого отруєння літієм складається з неврологічних розладів: атаксії, погіршення зору, втрати пам'яті, запаморочення, втрати орієнтації, судом, ступору і коми.

При хронічній інтоксикації літієм спостерігається ураження нирок: пряме токсичне пошкодження гломерулярного апарату, пригнічення активності антидіуретичного гормону, протеїнурія, поліурія. Уражуються також серцево-судинна система (аритмія, зниження артеріального тиску) та щитоподібна залоза (пригнічення вироблення тиреоїдних гормонів).

Вміст літію в прісних природних водах 0,0011-0,003 мг/дм³.

Нікель. Оптимальна інтенсивність надходження нікелю в організм становить 100-200 мкг/добу. Дефіцит нікелю в організмі може розвинути за його надходження менше 50 мкг/добу. Поріг токсичності цього мікроелемента для людини – 20 мг/добу.

З організму він виводиться переважно з калом (до 95 %), в незначних кількостях – із сечею й потом.

У шлунково-кишковому тракті людини всмоктується від 1 до 10 % нікелю. Між тканинами організму він розподіляється рівномірно, лише в легенях його вміст з віком збільшується.

При введенні в організм нікелю подовжується дія інсуліну і тим самим підвищується гіпоглікемічна активність. Він впливає на ферментативні процеси, окиснення аскорбінової кислоти, прискорює перехід сульфгідрильних груп у дисульфідні. Пригнічує дію адреналіну, знижує артеріальний тиск. Під впливом нікелю вдвічі збільшується виведення кортикостероїдів з організму із сечею, посилюється антидіуретична дія екстракту гіпофіза. Надмірне надходження в організм нікелю може викликати депігментацію шкіри (вітиліго).

У плазмі крові він знаходиться переважно у зв'язаному стані з білками нікелеплазміном (альфа-2-макроглобулін) та альфа-1-глікопротеїном. Депонується у підшлунковій і прищитоподібних залозах.

Токсична доза нікелю для людини – 50 мг.

Нікель та його сполуки, що надходять в організм, відносно нетоксичні, проте за їх надмірної кількості може розвинути не лише контактний дерматит, а й системна гіперчутливість до нікелю.

Вміст нікелю в прісних природних водах – $0,0003-10\text{мг/дм}^3$, ГДК для питних вод – $0,1\text{ мг/дм}^3$.

Силіцій. Належить до есенційних елементів. Хоча силіцій один із найпоширеніших хімічних елементів у земній корі, за звичайних умов він засвоюється організмом у дуже малих кількостях. В організмі дорослої людини міститься близько 1 г силіцію. Оптимальна добова інтенсивність його надходження становить 50-100 мг.

В організмі засвоюється близько 4 % загальної кількості силіцію. Хоча в організм надходять дуже різні кількості силіцію, вміст цього мікроелемента у крові залишається стабільним. Найвищі концентрації силіцію в сполучних тканинах: аорти, трахеї, зв'язках, кістках, шкірі (особливо в епідермісі), волоссі, лімфовузлах. У м'язах і паренхіматозних органах його вміст істотно нижчий.

Силіцій у вигляді різноманітних сполук входить до складу більшості тканин, впливає на обмін ліпідів, утворення колагену і кісткової тканини.

Особливо важлива його роль як структурного елемента сполучної тканини. Концентрація силіцію в аорті з віком зменшується, що вказує на значущість його біоелементного статусу в патогенезі атеросклерозу.

Дефіцит силіцію розвивається за недостатнього його надходження в організм (до 5 мг/добу), поріг токсичності для людини – 500 мг/добу.

Причини дефіциту силіцію: недостатнє надходження, посилене витрачання (швидкий ріст, фізичні перевантаження), порушення регуляції обміну цього мікроелемента.

Підвищений вміст силіцію в організмі призводить до розвитку силікозу.

Вміст силіцію в прісних природних водах – 6,5 мг/дм³, ГДК для питних вод – 10мг/дм³.

Ванадій. В організмі дорослої людини міститься близько 0,11 мг ванадію. Ванадій та його сполуки токсичні. Токсична доза для людини – 0,25 мг, летальна – 2-4 мг.

Надмірна кількість ванадію викликає карієс зубів. Є дані, що це протикарієсний елемент, який сприяє осадженню кальцію в кістках і зубній емалі. Введений підшкірно, ванадій накопичується в місцях мінералізації – кістках, дентині, у великій кількості міститься в жировій тканині.

Підвищений вміст білків і хрому в раціоні знижує токсичну дію ванадію. Норми споживання для нього не встановлені.

Ванадій здатний гальмувати синтез жирних кислот, пригнічувати утворення холестерину, інгібує низку ферментних систем, гальмує фосфорилювання і синтез АТФ, знижує рівень коензимів, стимулює активність моноамінооксидази, окиснювальне фосфорилювання. Відомо також, що при шизофренії вміст ванадію в крові значно підвищується.

За гострої дії токсичних доз цього мікроелемента у людей спостерігаються місцеві запальні реакції шкіри, слизових оболонок очей, верхніх дихальних шляхів, скупчення слизу в бронхах та альвеолах. Виникають і системні алергічні реакції типу астми, екземи; а також

лейкопенія, анемія, які супроводжуються порушеннями основних біохімічних параметрів організму.

Вміст ванадія в прісних природних водах становить 3×10^{-4} - 2×10^{-2} , ГДК для питних вод – 0,1 мг/дм³.

Алюміній. Щодоби в організм людини залежно від регіону проживання надходить 5-50 мг алюмінію. Концентрація алюмінію в питній воді становить 2-4 мг/дм³. У шлунково-кишковому тракті людини всмоктується 2-4 % алюмінію. Алюміній надходить в організм й через легені, що за високих показників забруднення повітря сполуками алюмінію може призвести до фіброзу.

Організм дорослої людини містить 30-50 мг алюмінію. Його концентрація в тканинах коливається від 0,2 до 0,6 мкг/г. Середній вміст цього мікроелемента становить, мкг/г: в яєчниках – 0,4, сім'яниках – 0,4, м'язах – 0,5, мозку – 0,4, печінці – 2,6, легенях – 18,2, лімфатичних вузлах – 32,5. У разі вдихання пилу, що містить сполуки алюмінію, концентрація цього мікроелемента в легенях може досягати 20-60 мкг/г.

Токсична доза алюмінію для людини – 5 г.

Алюміній депонується в кістках, печінці, легенях, сірій речовині: головного мозку. З віком людини його вміст у легенях і головному мозку збільшується. Він виводиться з організму переважно з сечею, калом, потом і повітрям, що видихається.

В організмі алюміній відіграє важливу фізіологічну роль – бере участь в утворенні фосфатних і білкових комплексів; процесах регенерації кісткової, сполучної та епітеліальної тканин; залежно від концентрації гальмує або активує травні ферменти; впливає на функцію параситоподібних залоз. У невеликих кількостях він необхідний організму, особливо для формування кісткової тканини, а його надмірна кількість небезпечна для здоров'я. Загалом алюміній належить до токсичних (імунотоксичних) елементів.

Дефіцит алюмінію розвивається за його надходження в організм менше 1 мкг/добу.

Поріг токсичності алюмінію відповідає його надходженню в організм 2 мг/добу. Органами-мішенями за надмірної концентрації алюмінію в організмі є нирки, центральна нервова система, кістки, легені, кістковий мозок, яєчники, матка, молочні залози.

Алюміній присутній у природній воді. Згідно з дослідженнями, зробленими у США, вміст алюмінію в підземних водах коливається в межах 14-290 мг/дм³, а в поверхневих водах – 16-1170 мг/дм³. Сульфат алюмінію широко використовуються в процесах водопідготовки в якості коагулянту й присутність його в питній воді є результатом недостатнього контролю при виконанні цих процесів.

При вивченні впливу на організм людини деякими дослідниками було відзначено, що алюміній у великих кількостях може викликати ураження нервової системи. Алюмінію приписують роль у виникненні таких важких захворювань нервової системи, як хвороба Альцгеймера (виникає в зрілому віці, проявляється появою провалів пам'яті, дезорієнтацією в навколишньому середовищі, депресією й прогресуючим слабоумством), аміотрофічний склероз (виникнення прогресуючих паралічів м'язів, смерть від зупинки подиху й серцевої діяльності через кілька років), паркінсонічне слабоумство (тремтіння голови, кистей рук, нижньої щелепи, стоп через підвищення тону м'язів, слабоумство, порушення у психоемоційній сфері у вигляді появи настирливості, егоїзму, уразливості).

Рекомендований вміст алюмінію в питній воді – 0,2 мг/дм³. У США ГДК алюмінію в питній воді – 0,05 мг/дм³.

Кадмій. В організм дорослої людини протягом доби надходить 10-20 мкг кадмію. Оптимальною вважають інтенсивність його надходження 1-5 мкг. Дефіцит кадмію в організмі розвивається за недостатнього його надходження (менше 0,5 мкг/добу), поріг токсичності – 30 мкг/добу, токсична доза для людини – 3-330 мг, летальна – 1,5-9,0 г.

В організмі людини кадмій акумулюється переважно в нирках, печінці, дванадцятипалій кишці. З віком людини його вміст в організмі збільшується,

особливо у чоловіків. Середня концентрація кадмію в організмі чоловіків і жінок дорівнює відповідно, мкг/г: в нирках – 44 і 29, в печінці – 4,2 і 3,4. Вміст кадмію в ребрах становить 0,4-0,5 мкг/г.

Кадмій виводиться з організму переважно з калом. Середньодобова швидкість його виведення дуже незначна і становить не більше 01 % загальної кількості кадмію в організмі. Інтенсифікує його виведення естроген, що може бути пов'язано з активізацією обміну міді.

Основна ознака дефіциту кадмію – уповільнення росту (за експериментального дефіциту кадмію у лабораторних тварин).

Кадмій належить до токсичних (імунотоксичних) елементів. Багато його сполук отруйні. Описано масове отруєння кадмієм мешканців Японії, що викликало остеомаляцію, нефропатію, хворобливість і переломи кісток (хвороба ітай-ітай). При хронічному кадміозі насамперед страждають сечовивідна і статеві системи. Спостерігаються протеїнурія, глюкозурія, аміноацидурія, 2-мікроглобулінурія, поява в сечі ретинолзв'язувального білка і лізоцимів, простатопатія з ризиком розвитку новоутворень і некрозу яєчок. Ураження бронхолегеневої системи супроводжується фіброзними змінами і підвищеним ризиком розвитку емфіземи. Розвивається анемія, пов'язана зі зниженням всмоктування заліза в кишковоки і лізісом еритроцитів. Підвищується артеріальний тиск. Спостерігаються остеопластичні та остеопорозні зміни кісткової тканини через порушення абсорбції кальцію в кишковоки та ендокринні розлади.

Кадмій гальмує перетворення 25-гідроксикальциферолу на 1,25-дигідрохолекальциферол, інгібує активність лізілоксидази в кістках, зв'язується з меркаптогрупами, фосфоліпідами, нуклеїновими кислотами, впливає на процеси фосфорилювання.

Вміст кадмію в прісних природних водах – 0,0001-0,02 мг/дм³, рекомендований вміст кадмію в питній воді – 0,001 мг/дм³.

Свинець. Роль свинцю в життєдіяльності організму вивчено недостатню. Відомо, що він бере участь в обмінних процесах кісткової

тканини. Водночас цей мікроелемент є канцерогеном і тератогеном для організму.

Оптимальна добова інтенсивність надходження свинцю в організм людини – 10-20 мкг. Його дефіцит в організмі розвивається за недостатнього надходження (менше 1 мкг/добу), поріг токсичності – 1 мг/добу, токсична доза для людини – 1 мг, летальна – 10 г.

В організмі дорослої людини міститься близько 2 мг свинцю. У шлунково-кишковому тракті всмоктується 5-10 % (інколи до 50 %) цього мікроелемента. Вміст свинцю в організмі чоловіків вищий, ніж жінок. Збільшене надходження кальцію, фосфору, магнію та цинку знижує абсорбцію свинцю, тоді як за дефіциту заліза і перелічених елементів здатність організму засвоювати свинець підвищується.

В організм свинець надходить через шлунково-кишковий тракт. Ступінь його всмоктування залежить від розчинності сполук. З організму свинець виводиться з калом (80-90 %), менша частина – із сечею. В нормі його вміст дорівнює, мг/кг: у кістках – 20, у печінці, нирках – 0,8, головному мозку – 0,1.

Свинець є основним антропогенним токсичним елементом із групи важких металів, що пов'язано з високим індустріальним забрудненням.

Джерелами в питній воді можуть бути: свинець, розчинений у природній воді; свинець забруднювачів, що потрапляють у природну воду різними шляхами (наприклад бензин); свинець, що міститься у водопровідних трубах, перехідниках, зварювальних швах та ін.

При вживанні з водою підвищених концентрацій свинцю залежно від дози та часу надходження можуть розвиватися гострі або хронічні отруєння. Гостре отруєння розвивається при однократному надходженні свинцю в дозах: для дорослих 100-120 мг/дм³ води, для дітей 80-100 мг/дм³ води.

Хронічне отруєння розвивається при постійному вживанні свинцю в малих дозах. Свинець має властивість накопичуватися в тканинах організму, симптоматика отруєння з'являється при досягненні концентрації свинцю в

крові 40-60 мг/100 мл. Проявляється ознаками ураження центральної й периферичної нервової системи, кишечника, нирок. Свинець відкладається практично у всіх органах і тканинах (особливо багато у волоссі, нігтях, слизовій оболонці ясен). Основний механізм дії свинцю на організм полягає в тому, що він блокує ферменти, що беруть участь в синтезі гемоглобіну, у результаті чого червоні кров'яні тілця не можуть переносити кисень, розвивається анемія й хронічна недостатність кисню.

Особливо чутливі до впливу свинцю діти. Свинець блокує утворення вітаміну Д, необхідного для відкладання кальцію в кістках, порушення обміну кальцію приводить до розвитку рахіту. Шкідливий вплив свинцю на нервову систему приводить до вповільнення фізичного й розумового розвитку, зниження інтелектуальних здатностей, ураження слухового нерва і зниження гостроти слуху і т.д.

Уживання води з високим вмістом свинцю вагітними жінками підвищує ризик передчасних пологів і ризик розвитку вроджених каліцтв у плода.

ГДК свинцю в питній воді за рекомендаціями ВООЗ – 0,01 мг/дм³.

Ртуть. Ртуть потрапляє в організм людини загальною кількістю до 0,2 мг/кг за добу.

Її виявлено в усіх органах і тканинах організму людини. Оптимальна добова інтенсивність надходження ртуті в організм – 1-5 мкг, іноді цей показник зростає до 10-20 мкг/добу. Дефіцит ртуті в організмі розвивається за недостатнього її надходження (менше 0,5 мкг/добу), поріг токсичності – 50 мкг, токсична доза для людини – 0,4 мг, летальна – 150-300 мг.

Максимальна концентрація ртуті в нирках (2,7 мкг/г сирової маси), в інших тканинах вона менша (0,05-0,30 мкг/г). Підвищений вміст ртуті може бути у волоссі (норма – 0,1-0,5 мкг/г), нігтях і шкірі. Період піввиведення металевої ртуті з організму людини становить 70 діб, органічної – 40 діб, пари ртуті – 50 діб.

Сполуки ртуті високотоксичні. В організм людини вона надходить через легені і шлунково-кишковий тракт. Сполуки ртуті добре розчиняються в

ліпідах, тому легко проникають крізь альвеолярну мембрану, стінку кишкового, плацентарний бар'єр, шкіру.

За хронічного отруєння ртуттю розвивається синдром меркуріалізму з порушенням діяльності нервової системи і травного тракту, виникненням дерматозів (меркуріалізм шкіри). В Японії описано масове отруєння населення ртуттю, що отримало назву «хвороба Мінамата».

Гостре отруєння неорганічними сполуками ртуті характеризується такими симптомами: ерозія слизових оболонок глотки і гортані, нудота, блювота. За хронічного отруєння ці симптоми доповнює протеїнурія. За гострого отруєння органічними сполуками ртуті спостерігаються звуження поля зору, розлад мови і рухів, парестезія. Хронічне отруєння супроводжується ураженням ЦНС, розладами слуху і зору.

Ртуть ушкоджує будь-яку тканину організму, з якою контактує, але найбільшу шкоду наносить нервовій системі й ниркам.

Вживання усередину летальної дози ртуті спричиняє порушення психіки, втрату шкірної чутливості, слуху, зору, мови, судороги, серцево-судинний колапс і шок (ослаблення серцевої діяльності й розширення судин, що приводить до падіння тиску в артеріях до такого низького рівня, при якому підтримка життєвих функцій організму неможлива), гостру ниркову недостатність, важкі ушкодження травного тракту. Летальний результат може наступити при прийманні усередину 500 мг ртуті. При вживанні малих доз ртуті вагітними жінками у новонароджених дітей виявляють каліцтва розвитку й вроджені важкі захворювання головного мозку.

Звичайно неорганічна ртуть присутня в природній воді в концентраціях менше 0,5 мг/дм³. Рівень ртуті у воді може підвищуватися в результаті її техногенних та інших забруднень.

Рекомендована ГДК ртуті в питній воді – 0,0005 мг/дм³.

Берилій. Належить до токсичних елементів. Середньодобове надходження берилію становить 10-20 мкг. Загальна кількість берилію в організмі дорослої людини коливається (за різними даними) від 0,4 до 40 мкг.

Берилій постійно є у крові, кістковій і м'язовій тканинах (0,001-0,003 мкг/г), інших органах. Він депонується в легенях, печінці, лімфатичних вузлах, кістках, міокарді. З організму виводиться переважно із сечею (понад 90 %).

Цей мікроелемент бере участь у регулюванні фосфорно-кальцієвого обміну, підтриманні імунного статусу організму. Активність сполук берилію виявляється в біохімічних перетвореннях за участю неорганічних фосфатів. За підвищеного вмісту берилію в їжі утворюється фосфат берилію. Вилучаючи фосфати з кісток (фосфат кальцію), берилій руйнує кісткову тканину. Введення цього елемента тваринам викликає «берилієвий» рахіт. Навіть незначний вміст берилію у кістках призводить до їх розм'якшення (бериліоз).

Берилій – токсичний, канцерогенний і мутагенний елемент. Його патогенна дія виявляється в разі інгаляції в концентраціях, що перевищують ГДК в 2 і більше разів. Солі берилію концентрацією 1 мкмоль/дм³ специфічно інгібують активність лужної фосфатази, ферментів. У патології розрізняють гострі та хронічні отруєння берилієм.

Рекомендована ГДК берилію для питних вод – 0,0002 мг/дм³.

Барій. В організмі дорослої людини міститься 20 мг барію. Його середньодобове надходження становить 0,3-1,0 мг.

Вміст барію в плазмі крові змінюється одночасно зі зміною концентрації кальцію. В незначних кількостях барій міститься в усіх органах і тканинах, найбільше його в головному мозку, м'язах, селезінці, кришталику ока. Близько 90 % усього барію в організмі сконцентровано в кістках і зубах.

Токсична доза барію для людини – 200 мг, летальна – 3,7 г.

При ішемічній хворобі серця, хронічній коронарній недостатності, захворюваннях органів травлення вміст барію в тканинах зменшується. Навіть у незначних концентраціях він впливає на гладкі м'язи.

Барій належить до токсичних ультрамікроелементів, але не є мутагенним чи канцерогенним. Усі сполуки барію (за винятком сульфату барію, що

використовується в рентгенології) токсичні. Він виявляє нейро-, кардіо- та гемотоксичну дію.

Рекомендована ГДК барію для питних вод – 0,1 мг/дм³.

Вісмут. Належить до токсичних ультрамікроелементів. В організм людини надходить в кількості 5-20 мкг/добу. Ступінь всмоктування його у шлунково-кишковому тракті незначний – близько 5 %. Після всмоктування бісмут виявляють у крові у вигляді сполук з білками, він також проникає в еритроцити. Між органами і тканинами бісмут розподіляється відносно рівномірно. Дещо більший його вміст у печінці, нирках (до 1 мкг/г), селезінці, кістках, є він і в головному мозку.

Вісмут, що пройшов через шлунково-кишковий тракт, виділяється у вигляді сульфідів, забарвлює кал у темний колір. Резорбований вісмут виділяється із сечею. Він індукує синтез низькомолекулярних білків, бере участь у процесах осифікації, утворює внутрішньоклітинні включення в епітелії ниркових каналців. Можливо, цей елемент має генотоксичні й мутагенні властивості.

Інтоксикація спостерігається лише за тривалої дії на організм солей вісмуту у великих дозах. Проте відомі випадки ятрогенних, професійних і побутових отруєнь. При отруєнні солями вісмуту уражуються нирки, ЦНС, печінка, шкіра, слизові оболонки. Тривале вживання препаратів вісмуту у великих дозах викликає симптоми вісмутутової енцефалопатії (особливо у хворих із порушенням функції нирок). Небезпечним вважають хронічне надходження в організм цього елемента в кількості 1,0-1,5 г/добу.

Вміст вісмута в природних водах – 5×10^{-5} - 0,05 мг/дм³. Рекомендована ГДК вісмуту для питних вод – 0,1 мг/дм³.

Стронцій. Разом з їжею в організм дорослої людини щодоби надходить 0,8-3,0 мг стронцію. При надмірному надходженні стронцію розвивається так званий стронцієвий рахіт, або уровська хвороба (хвороба Кашина–Бека). Це ендемічне захворювання вперше виявлено в населення, що проживає поблизу річки Уров у Східному Сибіру. Уровська хвороба є наслідком витіснення

йонів кальцію йонами стронцію з кісткової тканини або підвищеного надходження в організм стронцію за тефішиту кальцію. При накопиченні в організмі стронцію уражається весь організм, проте найтипівшим для цього захворювання є розвиток дистрофічних змін кістково-суглобової системи в період росту і розвитку організму (формується симетричний деформівний остеопороз через гальмування росту кісток з боку метаепіфізарних хрящів). Захворювання супроводжується порушенням фосфорно-кальцієвого співвідношення в крові, дисбактеріозом кишковика. Інгаляція сполук стронцію індукує фібротичні зміни в легенях.

Абсорбція стронцію відбувається в основній, дванадцятипалій і поздовжній кишці. Абсорбований в організмі стронцій виводиться переважно із сечею, менше – з жовчю. У калі міститься неабсорбований стронцій.

В організмі дорослої людини близько 320 мг стронцію, причому основна його кількість (до 99 %) депонована в кістках. Відносно високі концентрації стронцію в лімфатичних вузлах (0,30+0,08 мкг/г), легенях (0,20-0,02), яєчниках (0,14+0,06), печінці і нирках (0,1+0,03 мкг/г). У крові виявлено 0,02+0,002 мкг/мл стронцію. Даних щодо зниженого вмісту стронцію в організмі людини в літературі нема. Споживання щурами і морськими свинками раціону зі зменшеним вмістом стронцію призводило до пригнічення їх росту, зменшення кальцифікації кісток і зубів, підвищення частоти карієсу зубів.

Стронцій для людини нетоксичний. Проте особливо небезпечний для організму радіоактивний ^{90}Sr . Потрапивши до складу кісткової тканини, він впливає на кістковий мозок, порушує кровотворні процеси.

Вміст стронцію в природних водах – 0,05-50 мг/дм³. Рекомендована ГДК стронцію для питних вод – 7,0 мг/дм³.

Талій. Солі талію дуже токсичні. Його вміст у мінералах становить 20 мг/кг, у водних розчинах – близько 0,1 мг/дм³.

У разі потрапляння в організм 20-60 мг/кг талію смерть настає протягом тижня. Оксид талію (III), що є водорозчинним, дещо менш токсичний

порівняно з його солями. Питна вода із вмістом цього елемента понад гранично допустиму дозу може призвести до шлунково-кишкового подразнення за короткий термін, а також до зміни хімічного складу крові, завдати шкоди печінці, ниркам, нервовій системі, кишковику, сім'яниковим тканинам, призвести до випадіння волосся.

Головними симптомами гострої інтоксикації є анорексія, блювота, депресія, випадіння волосся. Пошкодження дихальних шляхів – летальне. Аналогічні симптоми виявляються і за хронічної інтоксикації. Втрата волосся – типова ознака інтоксикації, спричиненої талієм. Контрольна концентрація талію в крові за хронічного і гострого отруєння – до 1 мг/дм^3 .

Вміст талію в прісних природних водах – 1×10^{-5} - $3 \times 10^{-5} \text{ мг/дм}^3$.
Рекомендована ГДК талію для питних вод – $0,0001 \text{ мг/дм}^3$.