



В. И. КИЧИГИН

## МАРГАНЕЦ: ПОЛЬЗА ИЛИ ВРЕД? (ОБЗОР)

### MANGANESE: BENEFIT OR HARM? (OVERVIEW)

Показано, что марганец (Mn) является крайне необходимым микроэлементом для всего живого на Земле. Превышение или недостаток этого нутриента от нормы приводит к тяжелым заболеваниям растений, животных и человека. Установлено, что до настоящего времени единая точка зрения на допустимое содержание в питьевой воде отсутствует. Оно изменяется от 0,05 мг/дм<sup>3</sup> в Европе до 0,4 мг/дм<sup>3</sup> в Сингапуре. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует предельно допустимую концентрацию марганца в питьевой воде в 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, а желательную – 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. В подземных водах характерно многократное превышение нормативов на питьевую воду, особенно в водах Западной Сибири и северных районах Европейской части РФ. Так, в подземных водах, связанных с месторождениями, его содержание может достигать 4 мг/дм<sup>3</sup>, связанных с месторождениями – выше 300 мг/дм<sup>3</sup>. В поверхностных водах наблюдаются концентрации марганца до 8 мг/дм<sup>3</sup>. В речных водах содержание марганца колеблется обычно от 0,001 до 0,160 мг/дм<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** марганец, избыток, недостаток, норма для растений, животных, человека, почвы и воды

Возвращаясь мысленно к полезным минералам и микроэлементам, мы, прежде всего, вспоминаем о кальции, железе и, в крайнем случае, о магнии или цинке. Но существуют вещества с менее известными свойствами, играющими важнейшую роль для живого организма. Одним из таких элементов является **марганец** (Mn) [1]. В химических соединениях этот элемент проявляет положительную валентность от 2 до 7. Кислотные свойства Mn усиливаются с увеличением его валентности. С кислородом Mn способен

*It has been shown that manganese (Mn) is an essential trace element for all life on Earth. Excess or deficiency of this nutrient from the norm leads to severe diseases of plants, animals and humans. It has been established that so far there is no single point of view on the permissible content of Mn in drinking water. It varies from 0.05 mg/dm<sup>3</sup> in Europe to 0.4 mg/dm<sup>3</sup> in Singapore. The World Health Organization (WHO) recommends the maximum permissible concentration of manganese in drinking water at 0.5 mg/dm<sup>3</sup>, and the desired concentration is 0.1 mg/dm<sup>3</sup>. In groundwater, a multiple excess of drinking water standards is typical, especially in the waters of Western Siberia and the northern regions of the European part of the Russian Federation. Thus, in groundwater not associated with Mn deposits, its content can reach 4 mg/dm<sup>3</sup>, associated with deposits – above 300 mg/dm<sup>3</sup>. In surface waters manganese concentrations up to 8 mg/dm<sup>3</sup> are observed. In river waters, the manganese content usually ranges from 0.001 to 0.160 mg/dm<sup>3</sup>.*

**Keywords:** manganese, excess, deficiency, norm for plants, animals, humans, soil and water

образовывать ряд основных, амфотерных и кислотных окислов [2].

По содержанию в земной коре Mn занимает 10-е место, а в морской воде – 19-е [3]. В природе в чистом виде не встречается. В глубоководье океанов и морей его около 0,03 %. Это связано со свойством марганца растворяться в воде, которая его и уносит в моря и океаны [4]. Содержание марганца составляет 0,09–0,1 % массы земной коры при средней его концентрации: в земной коре – 1,0 мг/кг [5]; в горных породах – 350–2000. Среднее

его содержание в почвах оценивается в 0,085 % [6]. Преобладает Mn в почвообразующих породах [2]. Обычно находится в виде *солей, оксидов, гидроксидов, карбонатов, силикатов и комплексных ионов*. По данным работы [6] количество усвояемых его форм, переходящих в солянокислую или солевую форму, может быть явно недостаточно (среднее значение растворимой части в почвах составляет 1–10 % от общего его содержания). Считается [2], что оксиды представлены аморфными соединениями, но в некоторых видах почв обнаружены кристаллические разновидности.

Главным природным источником Mn в атмосфере является эрозия почвенных покровов. Содержание марганца, например, в почвах равнинной части России и стран СНГ колеблется от 0,1 до 4 г/кг почвы (в среднем это около 1 г/кг). Замечено, что различные виды почв значительно различаются по содержанию *общего и обменного* марганца. Так, содержание общего марганца может колебаться от 43 до 1800 мг/кг [2, 5]. В воздушную среду он поступает с промышленными выбросами и продуктами сгорания бензина [3]. В питьевой воде может быть от 1 до 100 мг/дм<sup>3</sup> [7], а в продуктах питания – от 0,16 до 24,6 мг на 200 г продукта [1, 8] (таких как орехи, фрукты, злаки, чай и листовые овощи). Содержание марганца в растениях – от 0,001 до 0,01 % (по массе) [9]. Нет его только в белке куриного яйца и очень мало в молоке [10].

Соединения Mn меняют цветность в зависимости от степени окисления элемента в веществе. Так, соли Mn<sup>2+</sup> – бледно-розовые, Mn<sup>3+</sup> – вишневые, Mn<sup>4+</sup> – черные, Mn<sup>5+</sup> – синие, Mn<sup>6+</sup> – зеленые, а Mn<sup>7+</sup> – ярко-малиновые. Соединения марганца очень разнообразны по своим свойствам и возможностям. Например, перманганат калия (KMnO<sub>4</sub>) оказывает антисептическое действие в медицине [3, 11]. Иногда раствор KMnO<sub>4</sub> применяют внутрь для окисления токсичных органических веществ в менее токсичные формы (например, морфин в оксиморфин), в комплексе с другими компонентами используют MnSO<sub>4</sub> и MnCl<sub>2</sub> для лечения анемии, а при больших кровопотерях – соединения марганца в сочетании с солями Cu<sup>2+</sup> и Co<sup>2+</sup> [11]. Оксид марганца (Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) является взрывчатым веществом [2]. Взрыв возможен и при соединении KMnO<sub>4</sub> с активными металлами и неметаллами в форме порошков и органических веществ (например азотом, алюминием, бором, кальцием, кремнием, магнием, серой, фосфором, хлором [4]). Как окислитель органических веществ перманганат калия используется для отбеливания льна, шерсти и для обесцвечивания растворов, а в санитарно-гигиенической практике – для определения величины окисляемости воды (питьевой, бытовых и промышленных сточных вод).

В общей структуре потребления свыше 90 % марганца используется в металлургии в виде различных марганцевых ферросплавов (в среднем 7–9 кг на 1 т стали). Так, в ферромарганце (сплаве Mn с Fe), используемом в качестве раскислителя и науглероживателя стали, может содержаться 25–35 % и даже 70–80 % марганца. Сталь Годфилда, используемая для изготовления ковшей экскаваторов, камнедробилок, шаровых мельниц, броневых листов, содержит 11–15 % Mn и 1–1,5 % углерода. Манганит (сплав 83 % Cu, 13 % Mn и 4 % Ni), обладающий высоким электросопротивлением, применяют для изготовления реостатов. Марганец используют для очистки стали от серы, при производстве хлора, его вводят в состав бронзы и латуни. Сплавы марганца и меди обладают высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Из этих сплавов делают лопатки турбин, а из марганцовистых бронз – винты самолетов и другие авиадетали [13]. Кроме того, марганец – *незаменимый микроэлемент для всего живого на Земле* [2–4, 6, 8–11, 12, 21, 23, 29, 31, 33].

Распределение марганца в толще почвы приведено в табл. 1. Наиболее высокое содержание наблюдается в почвах, богатых органическими веществами, оксидом и гидроксидом железа, но чаще всего Mn концентрируется в верхнем слое почвы, где он сорбируется органическими веществами [2].

В аэробных условиях марганец растворяется плохо. В щелочной среде растворимость снижается из-за образования гидроксидов. Основными барьерами на пути перемещения марганца в почве являются *щелочная среда, карбонаты*, а также *повышенное содержание гумуса*. Марганец образует соединения с гуминовыми веществами почв. Соединения марганца с фульвокислотами отличаются повышенной миграционной способностью и доступностью для растений. Отмечается [2], что направленность окислительно-восстановительных реакций с участием Mn зависит от деятельности микроорганизмов, участвующих в аккумуляции и окислении данного элемента.

### Влияние марганца на человека

Этот микроэлемент необходим всем, он играет значительную роль в жизнедеятельности *всего живого на земле* (табл. 2). Только марганец является биогенным элементом и одним из десяти «металлов жизни», необходимых для нормального протекания процессов в живых организмах [19]. Влияние на организм человека двоякое – и положительное, и негативное. Он оказывает непосредственное влияние на работу половых желез и образование крови [14, 19], на развитие и процессы репродукции [4], уси-

Таблица 1

## Содержание общего и подвижного марганца в почвах стран СНГ [2]

Тип почвы	Значения содержания, мг/кг, в почвах Mn*	
	общего	подвижного
Подзолистые песчаные	(40-330) / <b>170</b>	(60-1700) / <b>590</b>
Подзолистые глинистые	(230-7200) / <b>1270</b>	(60-1700) / <b>590</b>
Болотные	(50-1000) / <b>330</b>	(190-640) / <b>320</b>
Серые лесные	(149-3980) / <b>1000</b>	(115-1360) / <b>460</b>
Черноземы	(200-5600) / <b>840</b>	(54-2100) / <b>430</b>
Каштановые	(600-1270) / <b>960</b>	(210-640) / <b>410</b>
Засоленные	(400-1640) / <b>730</b>	(130-840) / <b>420</b>
Сероземы	(310-3800) / <b>790</b>	-
Красноземы	(200-4000) / <b>1440</b>	-
Горные	(100-650) / <b>1170</b>	(60-1220) / <b>670</b>

\* – В числителе диапазон изменения содержания Mn, в знаменателе – среднее значение

ливаает рост [18]. Марганец активизирует многие ферменты [4, 6]: дипептидазы, аргиназу (связывание токсичного аммиака), карбоксилазу, каталазу, оксидазы, фосфатазы (совместно с магнием). Установлена связь марганца с обменом витаминов группы В, Е, С, холина, меди [4].

Содержание марганца в тканях у млекопитающих находится в диапазоне от 0,3 до 2,9 мг/г веса. У человека находится во всех органах и тканях [16], но распределен неравномерно [10]. Всего в организме может быть от 10 до 15–20 мг [1, 4, 11, 19]. В теле взрослого человека (70 кг) содержится 12–20 мг (1,6–10<sup>-5</sup> %) марганца [10, 18, 19]. Одни считают [10, 11], что в основном он содержится в костях, печени, почках, поджелудочной железе и гипофизе (1–3 мг/кг). Другие утверждают [19], что «в организме человека больше всего марганца (до 0,0004 %) содержат сердце, печень и надпочечники». Третьи показывают [16], что наиболее богаты марганцем трубчатые кости и печень (в трубчатых костях на 100 г свежего вещества содержится 0,3 мг, а в печени – 0,170–205 мг). Четвертые отмечают, что марганец концентрируется в костях (43 %), остальное – в мягких тканях, в том числе и в мозге [11, 19].

Влияние Mn на жизнедеятельность очень разнообразно и сказывается главным образом на росте, образовании крови и функции половых желёз [19, 20]. В крови человека и большинства животных концентрация марганца составляет примерно 0,02 мг/дм<sup>3</sup>, а в крови овец – 0,06. Содержание марганца в крови имеет большое диагностическое значение. Так, при инфаркте миокарда и язвенной болезни двенадцатиперстной кишки его уровень всегда повышен, а у больных первичным раком и циррозом печени уровень марганца в крови весьма низок [10].

Суточная потребность организма человека в Mn зависит от *возраста* [4, 14], *гендерной принадлежности* [4, 12, 13] и *характера его трудовой деятельности* (люди, занятые тяжелым физическим трудом, нуждаются в большем количестве марганца [9]). Например, взрослому человеку необходимо от 2,0 до 5,0 мг [7, 9, 14], детям до года – от 0,003 до 0,6–1,0 мг [12, 13], от 1 года до 18 лет – от 1,2 до 2,2 мг [12–14].

В ряде публикаций [1, 4, 7, 16, 17] указано, что среднее потребление Mn находится в пределах от 1 до 10 мг/сут, установленные уровни потребности – 2–5 мг/сут, верхний допустимый уровень потребления 5 мг/сут, а физиологическая потребность для взрослых – 2 мг/сут. У 97–98 % взрослых здоровых людей потребность в марганце составляет 2,0–2,3 мг/сут для мужчин и 1,8–2,0 – для женщин [13]. Считается [18], что для детского организма необходимо в сутки 0,2–0,3 мг Mn на 1 кг веса тела, а для взрослого – 0,1. Ориентировочные показатели суточных норм потребления Mn приведены в табл. 3.

В воде Mn растворяется и поглощает водород. Он важен для образования крови, метаболизма различных веществ, активации ферментов. Биологическая роль марганца в организме выполняется только его двухвалентной Mn (II) и трехвалентной Mn (III) формами. Всасывание Mn происходит в тонком кишечнике, откуда он в количестве 5 % поступает в кровь и по воротной вене достигает печени – главного депо элемента в теле. Остальные 95 % марганца выводятся с калом и немного с мочой. Кроме печени, значительные отложения Mn присутствуют в почках, поджелудочной железе, печени, миокарде, мозге [4].

Таблица 2

## Влияние марганца на человека [4, 9, 12, 13, 16, 18, 19–23]

Функции, выполняемые марганцем в организме человека
1. Принимает участие в продуцировании и обмене нейромедиаторов в ЦНС, способствует ее формированию
2. Усиливает действие инсулина за счет синтеза гормонов поджелудочной железы
3. Препятствует окислению свободными радикалами, развитию онкологии, преждевременному старению, поддерживает устойчивость структуры клеточных мембран
4. Способствует образованию и нормальному функционированию соединительной мышечной ткани
5. Повышает функциональную активность щитовидной железы при синтезе гормона – тироксина
6. Обеспечивает формирование нормальной структуры костей, развитие соединительной ткани, хрящей (особенно во время роста организма)
7. Вовлечен в регуляцию уровня сахара в крови, повышая поглощение клеткой глюкозы
8. Участвует в синтезе жирных кислот, способствует снижению уровня липидов в организме, усиливает процесс утилизации жиров и углеводов
9. Входит в структуру ферментов, катализирующих биохимические реакции, отвечающие за обезвреживание и выведение некоторых токсичных продуктов обмена веществ из организма; дыхание тканей
10. Улучшает антиоксидантные свойства организма и работоспособность нервной системы
11. Уменьшает содержание глюкозы в крови, улучшая ее усвоение тканями, поддерживает факторы свертывания крови
12. Препятствует жировой дегенерации печени, содействует отложению гликогена в печени, синтезу холестерина и превышению его определенного уровня в крови
13. Координирует обмен витаминов группы В, Е, С, холина, меди
14. Способствует обеспечению полноценной репродуктивной функции, поддерживая работу мужских и женских половых гормонов; предупреждает бесплодие, помогает формированию плода, улучшает лактацию; улучшает менструальный цикл
15. Содействует нормализации энергетического баланса за счет активации ферментативной деятельности
16. Улучшает работу иммунной системы (необходим для синтеза интерферона)
17. Защищает стенки артерий, делая их устойчивыми к образованию атеросклеротических бляшек

Таблица 3

## Суточная норма потребления марганца [12, 13]

Возраст потребителей	Рекомендованная норма потребления, мг/сут		Возраст и состояние потребителей	Рекомендованная норма потребления, мг/сут	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
0-6 мес.	0,003	0,003	От 18 лет	2,3	1,8
6-12 мес.	0,6	0,6	Старше 30 лет	2,0	2,0
1-3 лет	1,2	1,2	Старше 60 лет	2,0	2,0
4-8 лет	1,5	1,5	Беременные (2-я половина)	-	2,0-2,2
9-13 лет	1,9	1,6	Кормящие (1-6 мес.)	-	2,6-2,8
14-18 лет	2,2	1,6	Кормящие (7-12 мес.)	-	2,6-2,8

Уровень, приводящий к дефициту Mn, оценивается в 1 мг/сут [9]. Соблюдая разнообразное меню, богатое овощами, обрести дефицит Mn практически невозможно. Наиболее распространенной причиной развития дефицита может стать нарушение всасывания полезных веществ из пищи. Марганец влияет на процессы кроветворения. При недостатке Mn развивается анемия, связанная с нехваткой эритроцитов [10]. Избыточный прием *фосфора, кальция, меди*

(и особенно *железа*) *снижает усвоение марганца*, поэтому его рекомендуется принимать с *цинком* [16]. В то же время большие дозы марганца делают недоступным для организма другой очень важный микроэлемент – *медь*, что также приводит к анемии [10]. Появление признаков гипертонии, ухудшение работы сердца, боли в костях, повышение холестерина, ухудшение зрения, слуха и памяти – это признаки недостатка в организме. Очень сильный дефицит

минерала может привести к женскому бесплодию, остеопорозу, раку поджелудочной железы, кардиологическим проблемам [1].

Применение марганца в дозах выше 11 мг в сутки не рекомендуется [1, 4, 13, 16]. Токсической дозой для человека считается 40 мг марганца в день [4, 14, 16], при которой появляется снижение аппетита, угнетение роста, нарушение метаболизма железа и работы мозга. Отрицательное влияние марганца в первую очередь сказывается на функционировании центральной нервной системы. Его избыточное накопление проявляется в виде постоянной сонливости, ухудшения памяти, повышенной утомляемости. Марганец является политропным ядом, ко-

торый оказывает вредное воздействие на работу легких, сердечнососудистой системы, может вызвать аллергический или мутагенный эффект и заболевание костной системы [12]. Летальная доза перманганата калия для взрослых при приеме внутрь считается 0,3–0,5 г/кг веса тела.

Отравление марганцем может происходить при употреблении питьевой воды с избыточным содержанием марганца либо при повышенной концентрации марганца в воздухе (например, при работе сварщиков и рабочих в ферросплавной промышленности и производстве аккумуляторов) [7]. Симптомы, указывающие на дефицит или избыток марганца, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Признаки дефицита и избытка марганца в организме человека [4, 7, 9, 13, 16, 18]

Основные проявления <i>дефицита</i> марганца	Основные проявления <i>избытка</i> марганца
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нарушение функции кроветворения, анемии, снижение уровня «полезного» холестерина в крови</li> <li>2. Нарушение толерантности к глюкозе, развитие диабета I типа</li> <li>3. Нарастание избыточного веса, ожирение</li> <li>4. Развитие атеросклероза, гипертензии, ревматоидного артрита, сердечнососудистых расстройств</li> <li>5. Нарушение панкреатической функции, зрения (катаракта) и слуха, ухудшение ориентации в пространстве</li> <li>6. Утомляемость, слабость, головокружение, раздражительность, депрессионное состояние</li> <li>7. Ухудшение процессов мышления, способности к быстрым решениям, снижение памяти, замедление развития у детей</li> <li>8. Нарушение сократительной способности мышц, двигательных функций, спазмы, судороги, тремор боли в мышцах</li> <li>9. Дегенеративные изменения суставов, склонность к растяжениям и вывихам, окостенения во всем скелете, трубчатые кости утолщаются и укорачиваются</li> <li>10. Истончение зубной эмали, задержка роста ногтей и волос</li> <li>11. Нарушения пигментации кожи, появление мелкой чешуйчатой сыпи, витилиго</li> <li>12. Расстройство иммунитета, возникновение аллергических реакций, интенсивное потоотделение, частые простудные и инфекционные заболевания</li> <li>13. Нарушение репродуктивной функции яичников и яичек, бесплодие, заболевание молочной железы, ранний климакс, остеопороз в климактерическом периоде, преждевременное старение</li> <li>14. Повышение вероятности онкологических заболеваний</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вялость</li> <li>2. Утомляемость</li> <li>3. Сонливость</li> <li>4. Заторможенность</li> <li>5. Снижение памяти</li> <li>6. Депрессия</li> <li>7. Нарушения мышечного тонуса</li> <li>8. Парестезии</li> <li>9. Замедленность и скованность движений</li> <li>10. Нарушения походки</li> <li>11. Снижение мышечного тонуса</li> <li>12. Атрофия мышц</li> <li>13. Паркинсонизм, энцефалопатия</li> <li>14. Диффузное узелковое поражение легких</li> <li>15. Развитие манганокониоза (при вдыхании пыли)</li> <li>16. Тяжелое нарушение психики (галлюцинации, гипермоторика, гиперраздражительность)</li> </ol>

Считается [9, 13, 17], что абсорбция марганца из пищевого рациона составляет 3–5 %, но не более 10 %. Известно, что усвоение марганца возрастает при низком его потреблении, но причины этого пока не изучены. Исследования показали, что процент поглощаемого марганца гораздо выше у детей, чем у взрослых [13]. Экспериментами с лабораторными животными и наблюдениями на человеке установлено [8], что 1–5 % Mn поступает в организм через абсорбцию в желудочно-кишечном тракте. Не абсорбированная в желудке часть Mn абсорбируется в тонком кишечнике.

После проникновения ионов Mn в кровь они быстро проникают во все ткани и в значительной степени концентрируются в костях, печени, поджелудочной железе, почках и мозге. При этом наиболее высокая концентрация Mn наблюдается в печени, где его большая часть поглощается, а некоторая выделяется в желчь. Считается [8], что ионы  $Mn^{3+}$  легче проходят через печень и поступают в другие органы по сравнению с ионами  $Mn^{2+}$ , которые быстро выводятся из крови и выделяются с желчью. Всосавшийся с пищей марганец поступает с кровью в печень, где он отлагается, а затем выводится из организма вместе с калом, потом и мочой [13, 19].

Особенно интенсивно марганец накапливается в печени в последние три месяца эмбриональной жизни. Благодаря этому запасу, грудной ребенок безболезненно переносит относительный недостаток марганца во время кормления его бедным марганцем материнским молоком [18]. Более низкая масса тела при рождении наблюдалась у детей, родившихся у матерей, концентрация марганца в крови которых была ниже средней. Низкие концентрации марганца в крови у детей приводят к снижению показателей когнитивной гибкости и скорости обработки информации [7].

В работе [13] отмечено, что фактов отравления человека марганцем из пищевых продуктов выявлено не было, но зафиксированы случаи острой интоксикации производственной марганцевой пылью, поступающей в кровь через дыхательные пути. Показано [8], что вдыхание и последующее осаждение Mn в лёгких зависит от размеров, плотности, массы, состава и растворимости его частиц, а отравление парами Mn приводит к развитию марганцевой пневмонии и отёку лёгких. Однако появлению симптомов при хроническом отравлении должно предшествовать несколько лет [16].

При нормальных условиях марганец попадает в организм человека в основном с растительной и животной пищей. Больше всего его содержится в говяжьей печени, мясе, ростках

пшеницы, орехах, бобовых, чернике, крупах, муке (особенно грубого помола), шпинате, чесноке, листьях свеклы, ананасе и ряде грибов [1, 4, 14]. По данным работы [1] типичный рацион «мясоедов» содержит примерно 2–7 мг марганца в сутки, «травоядные» способны ежедневно обеспечивать себя почти 10 мг Mn. Таким образом, здоровому человеку отравиться марганцем из продуктов питания практически нереально, так как верхний допустимый уровень потребления для взрослых – 11 мг в сутки [1, 4, 13, 16]. Диетологи рассчитали, что наиболее адекватная дневная доза марганца составляет 2 мг на 2000 килокалорий [1].

### Содержание марганца в водоисточниках

Марганец поступает в *поверхностные воды* в результате выщелачивания минералов: железомарганцевых руд, пиролюзита, псиломелана, браунита, манганита и черной охры [24, 25]. Значительные количества Mn поступают в процессе разложения водных животных и растительных организмов, особенно сине-зеленых, диатомовых водорослей и высших водных растений. Соединения марганца выносятся в водоемы со стоками и дымовыми выбросами марганцевых обогатительных фабрик, металлургических заводов, предприятий химической промышленности и с шахтными водами [24, 25]. Mn мигрирует в окружающей среде с частичками промышленной пыли. При попадании в почву он подвергается биологическому окислению или восстановлению в форме  $Mn^{2+}$  или  $Mn^{4+}$ , что зависит от величины pH, аэрации почвы, ее температуры. Затем он оказывается в воде. Вполне возможно поступление марганца в водоемы как со стоками сельскохозяйственных ферм, так и с поверхностными стоками с полей, обрабатываемых комплексными минеральными удобрениями.

В поверхностных водах соединения марганца мигрируют вместе с *взвешенными веществами*, состав которых зависит от состава пород, дренируемых водами, а также *в виде коллоидных гидроксидов* тяжелых металлов с сорбированными соединениями марганца. Существенное значение на миграцию Mn в растворенной и коллоидной формах имеют органические вещества и процессы комплексообразования марганца с неорганическими и органическими лигандами. Так, двухвалентный марганец способен образовывать *растворимые комплексы* с бикарбонатами и сульфатами (комплексы Mn с Cl<sup>-</sup> встречаются редко). Комплексные соединения  $Mn^{2+}$  с органическими веществами обычно менее прочны, чем с другими переход-

ными металлами. К ним относятся соединения с аминами, органическими кислотами, аминокислотами и гумусовыми веществами. Mn (III) в повышенных концентрациях может находиться в растворенном состоянии только в присутствии сильных комплексообразователей, Mn (VII) в природных водах не встречается [26].

*Марганец в природной воде присутствует преимущественно в виде углеводов, сульфатов, хлоридов (редко), гумусовых соединений и иногда фосфатов.* Он находится в растворимых комплексах с бикарбонатами ( $Mn(HCO_3)_2$ ) и сульфатами ( $MnSO_4$ ). С органическими и неорганическими лигандами комплексообразующая способность  $Mn^{2+}$  невелика. Марганец образует соединения, имеющие различные свойства в зависимости от своей валентности.

Он окисляется до  $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$  кислородом или другими окислителями, а затем гидролизуется в виде  $Mn(OH)_3$  и  $Mn(OH)_4$ , растворимость которых в воде при  $pH > 7$  не превышает 0,01 мг/дм<sup>3</sup>. При  $pH > 9,5$   $Mn^{2+}$  окисляется достаточно быстро. Образование труднорастворимых оксидных и гидроксидных соединений идет по схеме окислительных преобразований:



Процесс окисления облегчается резким уменьшением электродного потенциала реакции при увеличении pH среды. Марганец принадлежит к числу элементов, у которых более окисленные формы являются менее растворимыми. В маломинерализованных кислородсодержащих подземных водах с различными концентрациями органических веществ преобладают простые катионные формы  $Mn^{2+}$  (более 90 %). В нейтральных и слабощелочных водах, имеющих высокие суммарные концентрации  $[HCO_3^-]$  и  $[CO_3^{2-}]$ , часть марганца представлена комплексными соединениями.

Роль марганца в жизни высших растений и водорослей водоемов весьма велика. Марганец способствует утилизации  $CO_2$  растениями, чем повышает интенсивность фотосинтеза, участвует в процессах восстановления нитратов и ассимиляции азота растениями. Способствуя переходу активного  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ , марганец предохраняет клетку от отравления и ускоряет рост организмов [5]. Концентрация марганца в поверхностных и подземных водах изменяется по сезонам. Факторами, определяющими изменения концентраций марганца, являются соотношение между поверхностным и подземным стоком, интенсивность потребления его при фотосинтезе, разложение фитопланктона, микроорганизмов и высшей водной растительности, а также процессы осаждения его на дно водных объектов [26]. В речных

водах содержание марганца колеблется обычно от 1 до 160 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных –  $n \cdot 10^2$  –  $n \cdot 10^3$  мкг/дм<sup>3</sup>, среднее содержание в морских водах составляет 2 мкг/дм<sup>3</sup> [27].

Снижение концентрации ионов марганца в природных водах может произойти в результате окисления иона Mn до  $MnO_2$  и других, выпадающих в осадок высоковалентных оксидов. Реакцию окисления Mn определяют: величина pH, концентрация растворенного кислорода и температура воды. Содержание растворенных соединений марганца понижается и за счет утилизации их водорослями [24, 25]. Для водоемов санитарно-бытового использования установлена величина ПДКв (по иону марганца), равная 0,1 мг/дм<sup>3</sup> [10]. При повышении концентрации марганца в воде водоемов с 0,1 до 10 мг/дм<sup>3</sup> происходит заметное снижение темпов самоочищения водоемов. Доказано [28–32], что соединения марганца оказывают общетоксичное и мутагенное действие на человека, поэтому содержание Mn в воде не должно превышать 0,05–0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Помимо органов дыхания и пищеварения, марганец попадает в организм человека и с водой. Однако до настоящего времени единая точка зрения на допустимое содержание Mn в питьевой воде отсутствует (табл. 5). Например, СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» устанавливает его предельное содержание в питьевой воде в 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, в Европе и ряде других стран – не более 0,05 мг/дм<sup>3</sup> [14, 33, 34], в Сингапуре – до 0,4 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 6). Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует предельно допустимую концентрацию марганца в питьевой воде в 0,5 мг/дм<sup>3</sup> [11, 14], а желательную – 0,1 мг/дм<sup>3</sup> [33, 34].

Существующие технологии и сооружения для очистки воды из поверхностных и подземных источников рассчитаны (как правило) только на извлечение из них взвешенных веществ и загрязнений коллоидной степени дисперсности. Барьерная роль таких сооружений по отношению к растворенным химическим загрязнениям антропогенного происхождения крайне низка. Традиционно действующие водные технологии (хлорирование, коагуляция, отстаивание и фильтрование) не только не могут обеспечить удаление растворенных химических загрязнений, но в ряде случаев способствуют образованию (на даже накоплению некоторых соединений (например, образованию ряда хлорорганических соединений при первичном хлорировании поверхностных вод [27])).

С водой человек получает до 25 % суточной потребности химических веществ, до 20 %

Таблица 5

## Нормирование концентрации Mn в питьевой воде различных стран [35, табл. 1]

Показатель	Значение показателя
Рекомендуемая ВОЗ величина	0,1 мг/дм <sup>3</sup> (не уст. в 4-м изд.)
ПДК, рекомендуемая ВОЗ, для здоровья	0,4 мг/дм <sup>3</sup>
Количество стран, устанавливающих нормативную величину	103 из 104
Количество стран с нормативной величиной <b>выше</b> рекомендованной ВОЗ	19
Количество стран с нормативной величиной, рекомендованной ВОЗ	11
Количество стран с нормативной величиной <b>ниже</b> рекомендованной ВОЗ	73
Максимальное значение, мг/дм <sup>3</sup>	0,5
Среднее значение, мг/дм <sup>3</sup>	0,1
Минимальное значение, мг/дм <sup>3</sup>	0,05

суточной дозы кальция, до 25 %, магния, до 50–80 % фтора, до 50 % йода [20–22]. Положительное и отрицательное влияние марганца на здоровье человека показано в табл. 5–8, т. е. воздействие водного фактора на здоровье населения – факт неопровержимый [21–23, 36]. К сожалению, по средней продолжительности жизни население России отстает от промышленно развитых стран, что в значительной степени связано с негативным влиянием на организм человека химического состава потребляемой питьевой воды.

В водах, используемых для питьевого водоснабжения большинства российских регионов,

Таблица 6

## Сравнение международных и национальных стандартов по концентрации Mn в питьевой воде [33]

Страна	Нормативный показатель, мг/дм <sup>3</sup>
РФ	0,1
ВОЗ	0,1
ЕС	0,05
США	0,05
Япония	0,05
Канада	0,05
Финляндия	0,05
Великобритания	0,05
Австралия	0,1
Китай	0,1
Сингапур	0,4
Нигерия	0,2

наиболее часто обнаруживаемыми растворенными загрязнителями являются железо, марганец и кремний. Методы очистки таких вод либо довольно дороги, продолжительны и требуют значительного количества реагентов, либо энергоемки и часто сопровождаются образованием вторичных загрязнений. Детальное изложение этой проблемы приведено, например, в работах [5, 24, 25, 27, 37–43].

В подземных водах большинства регионов страны характерно многократное превышение нормативов на питьевую воду [42]. Так, в подземных водах, не связанных с месторождениями Mn, его содержание может достигать 4 мг/дм<sup>3</sup> (см., например, г. Салехард (табл. 7) [37–39]), связанных с месторождениями, – до 300 мг/дм<sup>3</sup> и выше. В поверхностных водах концентрация марганца может достигать до 8 мг/дм<sup>3</sup> [28]. В речных водах содержание марганца колеблется от 0,001 до 0,160 мг/дм<sup>3</sup>, среднее содержание в морских водах составляет 0,002 мг/дм<sup>3</sup> [29–32]. Для водоемов санитарно-бытового использования установлена ПДК (по иону Mn), равная 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК<sub>вр</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (ЛПВ – токсикологический) [27]. Фактическая концентрация марганца в воде ряда районов страны приведена в табл. 7.

Более жесткие требования к содержанию марганца в воде представляют некоторые производства (бумаги, текстиля, пластмасс, синтетических волокон и др.) [43]. При наличии в воде марганца образуется осадок Mn(OH)<sub>4</sub>, который (часто совместно с соединениями железа), отлагается, например, в трубах, арматуре или остается в виде пятен на ряде изделий и материалов [27].

**Выводы.** 1. Показано, что марганец является крайне необходимым микроэлементом для всего живого на Земле. Превышение или недостаток этого нутриента от нормы приводит

Таблица 7

## Цветность и содержание марганца в природной подземной воде

Населенный пункт	Цветность воды, град	Концентрация Mn, мг/дм <sup>3</sup>	Первоисточник
Первая группа подземных вод (цветность до 30 град)			
п. Беломорье (Архангельская обл.)	0-10	0,4-0,7	[39, табл. 1; 40, табл. 1; 44, табл. 1]
Академгородок (Новосибирская обл.)	3-5	0,3-0,5	[38, 39]
г. Черепанов (Новосибирская обл.)	3-6	0,3-0,9	[38, 39]
Краснодар	2,0-10	0,1-0,34	[44, табл. 1]
г. Пермь	5-10	0,05-0,4	[39, табл. 1]
Салым I	12	До 0,01	[41, табл. 1]
Кемеровская обл.	12	0,54	[37, табл. 1]
г. Салехард (водозабор)	3-19	0,8-3,8	[39, табл. 1; 40, табл. 1; 44, табл. 1]
г. Томск	7-19	0,2-1,3	[38, 39]
Кемеровская обл. (Пугачевский водозабор)	3-21	0,03-1,8	[66, табл. 1]
Куть-Ях	24-25	До 0,037	[41 табл. 1]
Сингапай	25	-	[41, табл. 1]
г. Краснодар	0,4-28	0,1-0,24	[66, табл. 1]
г.Краснодар (Компрессорный з-д)	9-20	0,1-0,24	[40, табл.1]
Сентябрьский	16-28	-	[41, табл. 1]
г. Салехард (мыс Корчаги)	10-31	0,0-1,4	[40, табл. 1; 44, табл. 1]
Вторая группа подземных вод (цветность от 30 до 60 град)			
Чеускино	35	0,04	[41, табл. 1]
г. Стрежевой (Томская обл.)	19-36	0,1-0,6	[38, 39]
г. Салехард (мыс Корчаги)	10-40	0,3-1,4	[37, табл. 1; 44, табл. 1]
Салым II	35	0,04	[41, табл. 1]
Лемпино	25-40	-	[41, табл. 1]
г. Салехард (Ханты-Мансийский АО)	30-38	0,8-3,8	[38, 39]
Пойковский	38-40	-	[41, табл. 1]
г. Кемерово	7-43	0,1-0,3	[38, 39]
Юганская Обь	45	-	[41, табл. 1]
Сивьсь-Ях	34-60	-	[41, табл. 1]
Третья группа подземных вод (цветность более 60 град)			
Нефтеюганск	36-64	1,5-2,0	[37, табл. 1]
п. Промышленная (Кемеровская обл.)	9-62	0,6-1,4	[38, 39]
г. Рубцовск (Алтайский край)	15-65	0,1-3,8	[38, 39]
г. Усть-Юган	40-75	-	[41, табл. 1]
п. Каркатеевы	63-77	-	[41, табл. 1]
г. Салехард (городской водозабор)	5-90	0,1-4,0	[37, табл. 1]
Пыть-Ях	70-130	1,5-4,0	[37, табл. 1]
г. Мегион (Тюменская обл.)	50-300	0,03-0,1	[40, табл. 1; 44, табл. 1]
	100-400	0,015-0,03	[37, табл. 1]
	200-400	0,1-0,6	[38, 39]

к тяжелым заболеваниям растений, животных и человека.

2. Установлено, что до настоящего времени единая точка зрения на допустимое содержание Mn в питьевой воде отсутствует. Она изменяется от 0,05 мг/дм<sup>3</sup> в Европе и ряде других стран до 0,4 мг/дм<sup>3</sup> в Сингапуре. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует предельно допустимую концентрацию марганца в питьевой воде в 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, а желательную – 0,1.

3. В подземных водах характерно многократное превышение нормативов на питьевую воду, особенно в водах Западной Сибири и северных районах Европейской части РФ. Так, в подземных водах, не связанных с месторождениями, его содержание может достигать 4 мг/дм<sup>3</sup>; связанных с месторождениями, – до 300 и выше. В поверхностных водах наблюдаются концентрации марганца до 8 мг/дм<sup>3</sup>. В речных водах содержание марганца колеблется обычно от 0,001 до 0,160 мг/дм<sup>3</sup>.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тедеева М. Е.* Продукты питания богатые марганцем [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://foodandhealth.ru/mineraly/produkty-pitaniya-bogatye-marganecem/> (дата обращения: 23.01.2022).
2. Марганец: справочник [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.pesticide.ru/active\\_nutrient/manganese](https://www.pesticide.ru/active_nutrient/manganese) (дата обращения: 05.02.2022).
3. *Сивицкий Н.В.* Значение марганца в жизни животных, человека и растений / Минский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья. Лаборатория СХиТМИ [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://morgeoz.by/stati/znaheniemarganca-v-zhizni-zhivotnyh-cheloveka-i-rasteniy> (дата обращения: 05.02.2022).
4. Марганец (Mn) – роль в организме, симптомы недостатка, источники [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://medicina.dobro-est.com/marganets-mn-rol-v-organismе-simptomyi-nedostatka-istochniki.html#respon/author/palladin> (дата обращения: 05.02.2022).
5. *Пузачев Е.А.* Технология эффективного водопользования в промышленности: монография. М.: Изд-во АСВ, 2011. 176 с.
6. Соединения марганца в биологических системах // Биологическая роль марганца [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/biology/c-2c0a65635a2bd68a4c43a88521316c37.html/> (дата обращения: 05.02.2022).
7. Марганец [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://sgon.rospotrebнадzor.ru/content/ostalnoe/marganec> (дата обращения: 03.02.2022).
8. *Котельникова О.* Влияние марганца на организм человека и животных / НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний СО РАМН. Новокузнецк [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/040/744.php> (дата обращения: 05.02.2022).
9. Марганец: крепкие нервы, хорошее настроение [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesa/marganets-krepriye-nervy-khorosheje-nastroenje> (дата обращения: 23.01.2022).
10. Значение микроэлементов для человека, животных и растений [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://all-begonias-tamaravn.blogspot.com/2018/11/blog-post\\_7.html](https://all-begonias-tamaravn.blogspot.com/2018/11/blog-post_7.html) (дата обращения: 05.02.2022).
11. *Саликова И.И.* Марганец его роль в биологии, медицине и фармации [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://topuch.ru/referat-marganec-ego-role-v-biologii-medicine-i-farmacii/index.html> (дата обращения: 05.02.2022).
12. Биологическая роль и значение марганца для организма [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://moydietolog.ru/marganets> (дата обращения: 23.01.2022).
13. Биологическая роль марганца – 2022 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pricormi.ru/poleznye-veshchestva/marganec-polza.html> (дата обращения: 23.01.2022).
14. Влияние марганца на организм человека: вред или польза? [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.BWT.ru/usefil-info/vliyanie-margantsa-na-organizm-cheloveka-vred-ili-polza> (дата обращения: 24.01.2022).
15. Марганец в жизни растений [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://UniversityAgro.ru/агрохимия/марганцевые-удобрения> (дата обращения: 22.01.2022).
16. Марганец в организме человека [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://properdiet.ru/mineralnye-veshchestva/60-marganec-v-organizme-cheloveka> (дата обращения: 23.01.2022).
17. МР 2.3.1.2432-08. Физиологическая роль марганца в организме: методические рекомендации «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».
18. *Тменова А.О., Кубалова Л.М.* Биологическая роль марганца и его соединений // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 7 (ч 2). С. 92–92.
19. Физиологическая роль марганца... [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://elm.su/articles/micro/fiz\\_role\\_Mn.html](https://elm.su/articles/micro/fiz_role_Mn.html) (дата обращения: 23.01.2022).
20. Влияние загрязняющих веществ питьевой воды на здоровье человека. 2006 [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.aquacottage.com](http://www.aquacottage.com) (дата обращения: 23.01.2022).
21. *Борзунова Е.А., Кузьмин С.В., Акрамов Р.Л., Киямова Е.Л.* Оценка влияния качества питьевой воды на здоровье населения // Гигиена и санитария. 2007. № 3. С. 32–34.
22. *Коковкин В.В., Сухоруков Ф.В., Шуваева О.В.* и др. Химический состав источников питьевых вод

Прибайкалья как фактор риска повышенной заболеваемости местного населения // Сибирский экологический журнал. 2008. № 4. С. 61–63.

23. Морозова Е.В., Авдеева Т.Г. Влияние состава питьевой воды на состояние здоровья детей [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.o8ove.ru](http://www.o8ove.ru) (дата обращения: 03.02.2022).

24. Поконова Ю.В. Эффективные адсорбенты для очистки и выделения из водных растворов тяжелых металлов. Л., 1991. 24 с.

25. Щербатюк Т.А. Доочистка подземных вод от марганца // Дальневост. конф. молодых ученых. Кн. 2. Владивосток, 1997. С. 271–272.

26. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния / пер. с англ. Д.В. Гринчука [и др.]; под ред. Ю.Е. Саета. М.: Мир, 1987. 285 с.

27. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод. М.: Высшая школа, 1987. 479 с.

28. Вредные вещества в окружающей среде. Элементы V–VIII группы периодической системы и их неорганические соединения: справ.-энц. изд. / под ред. В.А. Филова и др. СПб.: НПО «Профессионал», 2006, 2007. 452 с.

29. Вредные вещества в промышленности: справочник. Изд. 7-е, пер. и доп. Т. 3 / под ред. Н.В. Лазоревой. Л.: Химия, 1977. 608 с.

30. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу: справ. изд. Я.М. Грушко. Л.: Химия, 1987. 192 с.

31. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу: справ. изд. Я.М. Грушко. Л.: Химия, 1979. 160 с.

32. Грушко Я.М. Ядовитые металлы и их неорганические соединения в промышленных сточных водах. М.: Медицина, 1972. 165 с.

33. Рахманин Ю.А., Красовский Г.Н., Егорова Н.А., Михайлов Р.И. 100 лет законодательного регулирования качества питьевой воды. Ретроспектива, современное состояние и перспективы // Гигиена и санитария. 2014. № 2. С. 5–18.

34. Сравнение ПДК вредных веществ в странах ЕС [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://atalasta.com/index/fag/pdk-zagryaznyushhix-vehhestv/sravnenie-pdk-vrednyix-veshhestv-stranax-es> (дата обращения: 20.02.2022).

35. Башкетова Н.С., Выучейская Д.С., Сладкова Ю.Н. и др. Регулирование качества питьевой воды. Сравнение национальных и международных стандартов [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-kachestva-pitievoy-vody-sravnenie-natsionalnyh-i-mezhdunarodnyh-standartov> (дата обращения: 21.02.2022).

36. СП 2.1.5.761-99. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурного-бытового водопользования. Дополнение № 1 к ГН 2.1.5.689-98 и ГН 2.1.5.690-98.

37. Алексеева Л.П., Драгинский В.Л. Очистка подземных вод городов Тюменского региона // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 10. С. 9–12.

38. Болдырев К.А., Кузьмин В.В., Куранов Н.П., Билек Ф. Геохимическое моделирование внутриводоснабжения и деманганации подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 4. С. 49–55.

39. Драгинский В.Н., Алексеева Л.П. Очистка подземных вод от соединений железа, марганца и органических загрязнений // Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 12. С. 16–19.

40. Драгинский В.Н., Алексеева Л.П. Очистка подземных вод от соединений железа, и марганца // Химия в интересах устойчивого развития. 1997. Т.5. С. 375–382.

41. Драгинский В.Н., Алексеева Л.П., Баландин С.Г. Реагентная обработка подземных вод на примере Нефтеюганского района // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 8. С. 3–7.

42. Николадзе Г.А. Обработка подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 6. С. 4–9.

43. Прада М.А. Разработка методов очистки воды от соединений железа и марганца: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 16 с.

44. Алексеева Л.П., Курова Л.В., Алексеев С.Е. Особенности применения реагентных методов в технологии очистки подземных вод от соединений марганца // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 10. С. 12–20.

## REFERENCES

1. Tedeeva M.E. Foods rich in manganese. Available at: <https://foodandhealth.ru/mineraly/produkty-pitaniya-bogatye-margancem> (accessed 23 January 2022).

2. Manganese. Reference book. Available at: [https://www.pesticide.ru/active\\_nutrient/manganese](https://www.pesticide.ru/active_nutrient/manganese) (accessed 5 February 2022).

3. Sivitsky N.V. The importance of manganese in the life of animals, humans and plants. *Minskij oblastnoj centr gigieny, jepidemiologii i obshhestvennogo zdorov'ja. Laboratorija SHITMI* [Minsk Regional Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health. SCHEMMI Laboratory]. (in Russian) Available at: <https://morgeoz.by/stati/znanenie-marganca-v-zhizni-zhivotnyh-cheloveka-i-rasteniy> (accessed 5 February 2022).

4. Manganese (Mn) – role in the body, symptoms of deficiency, sources. Available at: <https://medicina.dobro-est.com/marganets-mn-rol-v-organisme-simptomyi-nedostatka-istochniki.html#respon/author/palladin> (accessed 5 February 2022).

5. Pugachev E.A. *Tehnologija jeffektivnogo vodopol'zovanija v promyshlennosti* [Technology of efficient water use in industry]. Moscow, Publishing House ASV, 2011. 176 p.

6. Manganese compounds in biological systems. *Biologicheskaja rol' marganca* [The biological role of man-

ganes]. (in Russian) Available at: <https://knowledge.allbest.ru/biology/c-2c0a65635a2bd68a4c43a88521316c37.html> / (accessed 5 February 2022).

7. Manganese. Available at: <http://cgon.rosпотребнадзор.ru/content/ostalnoe/marganec> (accessed 3 February 2022).

8. Kotelnikova O. The effect of manganese on the human body and animals. *NII kompleksnyh problem gigieny i professional'nyh zabolevanij SO RAMN* [Research Institute of Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases of the SB RAMS], Novokuznetsk. (in Russian) Available at: <https://pandia.ru/text/78/040/744.php> (accessed 5 February 2022).

9. Manganese: strong nerves, good mood. Available at: <http://www.pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesa/marganets-krepriye-nervy-khorosheje-nastroenije> (accessed 23 January 2022).

10. The value of trace elements for humans, animals and plants. Available at: [https://all-begonias-tamaravn.blogspot.com/2018/11/blog-post\\_7.html](https://all-begonias-tamaravn.blogspot.com/2018/11/blog-post_7.html) (accessed 5 February 2022).

11. Salikova I.I. Manganese its role in biology, medicine and pharmacy. Available at: <https://topuch.ru/referat-marganec-ego-role-v-biologii-medicine-i-farmacii/index.html> (accessed 5 February 2022).

12. Biological role and significance of manganese for the body. Available at: <http://moydietolog.ru/marganets> (accessed 23 January 2022).

13. The biological role of manganese – 2022. [Electronic resource]. Available at: <https://pricormi.ru/poleznye-veshchestva/marganec-polza.html> (accessed 23 January 2022).

14. The effect of manganese on the human body: harm or benefit? Available at: <https://www.BWT.ru/usefil-info/vliyanie-margantsa-na-organizm-cheloveka-vred-ili-polza> (accessed 24 January 2022).

15. Manganese in plant life. Available at: <https://UniversityAgro.ru/агрохимия/марганцевые-удобрения> (accessed 22 January 2022).

16. Manganese in the human body. Available at: [http://properdiet.ru/mineralnye\\_veshhestva/60-marganec-v-organizme-cheloveka](http://properdiet.ru/mineralnye_veshhestva/60-marganec-v-organizme-cheloveka) (accessed 23 January 2022).

17. МР 2.3.1.2432-08. The physiological role of manganese in the body. Methodological recommendations “Norms of physiological needs for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation”. (In Russian)

18. Tmenova A.O., Kubalova L.M. The biological role of manganese and its compounds // [Modern high-tech technologies], 2014, no. 7, pp. 92–92. (in Russian)

19. The physiological role of manganese. Available at: [https://elm.su/articles/micro/fiz\\_role\\_Mn.html](https://elm.su/articles/micro/fiz_role_Mn.html) (accessed 23 January 2022).

20. The influence of pollutants of drinking water on human health. 2006. Available at: [www.aquacottage.com](http://www.aquacottage.com) (accessed 23 January 2022).

21. Borzunova E.A., Kuzmin S.V., Akramov R.L., Kiyamova E.L. Assessment of the impact of drinking wa-

ter quality on public health. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation], 2007, no. 3, pp. 32–34. (in Russian)

22. Kokovkin V.V., Sukhorukov F.V., Shuvaeva O.V. Chemical composition of drinking water sources in the Baikal region as a risk factor for increased morbidity of the local population. *Sibirskij jeologicheskij zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2008, no.4, pp. 61–63. (in Russian)

23. Morozova E.V., Avdeeva T.G. Influence of the composition of drinking water on the health of children. Available at: [www.o8ove.ru](http://www.o8ove.ru) (accessed 3 February 2022).

24. Pokonova Yu.V. *Jeffektivnye adsorbenty dlja ochistki i vydelenija iz vodnyh rastvorov tzhzhelyh metallov* [Effective adsorbents for purification and isolation of heavy metals from aqueous solutions]. Leningrad, 1991. 24 p.

25. Shcherbatyuk T.A. Post-treatment of groundwater from manganese. *Dal'nevost. konf. molodyh uchennyh. Kn. 2.* [Far Eastern Conf. of Young Scientists. Book 2]. Vladivostok, 1997, pp. 271–272. (In Russian).

26. Moore J.V., Ramamurti S. *Tzhzhelye metally v prirodnyh vodah: kontrol' i ocenka vlijaniya* [Heavy metals in natural waters: control and assessment of influence]. Moscow, Mir, 1987. 285 p.

27. Nikoladze G.I. *Tehnologija ochistki prirodnyh vod* [Technology of natural water purification]. Moscow, Higher School, 1987. 479 p.

28. *Vrednye veshhestva v okruzhajushhej srede. Jelementy V-VIII grupy periodicheskoy sistemy i ih neorganicheskie soedinenija: sprav.-jenc. izd. / pod red. V.A. Filova i dr.* [Harmful substances in the environment. Elements of the V-VIII group of the periodic system and their inorganic compounds: Reference.- ents. ed. / Edited by V.A. Filov et al.]. St. Petersburg, NPO “Professional”, 2007. 452 p.

29. *Vrednye veshhestva v promyshlennosti: spravochnik. Izd.7-e, per.i dop. T. 3 / pod red. N.V. Lazoreva* [Harmful substances in industry. Handbook. Ed. 7th trans. and additional Vol. 3 / edited by N.V. Lazoreva]. Leningrad, Chemistry, 1977. 608 p.

30. *Vrednye neorganicheskie soedinenija v promyshlennyh vybrosah v atmosferu: sprav. izd. Ja.M. Grushko* [Harmful inorganic compounds in industrial emissions into the atmosphere. Reference ed. Ya.M. Grushko]. Leningrad, Chemistry, 1987. 192 p.

31. *Vrednye neorganicheskie soedinenija v promyshlennyh vybrosah v atmosferu: sprav. izd. Ja.M. Grushko* [Harmful inorganic compounds in industrial emissions into the atmosphere. Reference ed. Ya.M. Grushko]. Leningrad, Chemistry, 1987. 160 p.

32. Grushko Ya.M. *Jadovitye metally i ih neorganicheskie soedinenija v promyshlennyh stochnyh vodah* [Toxic metals and their inorganic compounds in industrial wastewater]. Moscow, Medicine, 1972. 165 p.

33. Rakhmanin Yu.A., Krasovskiy G. N., Egorova N.A., Mikhailov R.I. 100 years of legislative regulation of drinking water quality. Retrospective, current state and prospects. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation], 2014, no. 2, pp. 5–18. (in Russian)

34. Comparison of MPC of harmful substances in the EU countries. Available at: <http://atalasta.com/index/fag/pdk-zagryaznyushhix-vehhestv/sravnenie-pdk-vrednyix-veshhestv-stranax-es> (accessed 20 February 2022).
35. Bashketova N.S., Vyucheyskaya D.S., Sladkova Yu.N. et al. Regulation of drinking water quality. Comparison of national and international standards. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-kachestva-pitievoy-vody-sravnenie-natsionalnyh-i-mezhdunarodnyh-standartov> (accessed 21 February 2022).
36. SP 2.1.5.761-99. Maximum permissible concentrations (MPC) and approximate permissible levels (ODE) of chemicals in the water of water bodies of economic and drinking and cultural and domestic water use. Supplement No. 1 to GN 2.1.5.689-98 and GN 2.1.5.690-98. (In Russian)
37. Alekseeva L.P., Draginsky V.L. Purification of groundwater in the cities of the Tyumen region. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary engineering], 2004, no. 10. pp. 9–12. (in Russian)
38. Boldyrev K.A., Kuzmin V.V., Kuranov N.P., Bilek F. Geochemical modeling of intraplastic degreasing and demanganation of groundwater. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary engineering], 2012, no. 4. pp. 49–55. (in Russian)
39. Draginsky V.N., Alekseeva L.P. Purification of groundwater from compounds of iron, manganese and organic pollutants. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary engineering], 1997, no. 12. pp. 16–19. (in Russian)
40. Draginsky V.N., Alekseeva L.P. Purification of groundwater from iron and manganese compounds. *Himija v interesah ustojchivogo razvitiya* [Chemistry in the interests of sustainable development], 1997, vol. 5. pp. 375–382. (in Russian)
41. Draginsky V.N., Alekseeva L.P., Balandin S.G. Reagent treatment of groundwater on the example of Nefteyugansk district. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary engineering], 2006, no. 8. pp. 3–7. (in Russian)
42. Nikoladze G.A. Underground water treatment for household and drinking needs. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary engineering], 1998, no. 6. pp. 4–9. (in Russian)
43. Prada M.A. *Razrabotka metodov oshistki vody ot soedinenij zheleza i marganca. Avtoref. Kand. Diss.* [Development of methods for purification of water from iron and manganese compounds. Autoref. Cand. Diss.]. Moscow, 1986. 16 p.
44. Alekseeva L.P., Kurova L.V., Alekseev S.E. Features of the use of reagent methods in the technology of groundwater purification from manganese compounds. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary engineering], 2016, no.10. pp. 12–20. (in Russian)

Об авторе

**КИЧИГИН Виктор Иванович**

доктор технических наук, профессор  
кафедры водоснабжения и водоотведения  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: kaffvv@mail.ru

**KICHIGIN Viktor I.**

Doctor of Engineering Science. Professor of the Water  
Supply and Wastewater Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443100, Russia, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: kaffvv@mail.ru

Для цитирования: Кичигин В.И. Марганец: польза или вред? (Обзор) // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 1. С. 17–29. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.3.

For citation: Kichigin V.I. Manganese: Benefit or Harm? (Overview). *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 17–29. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.3.