

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ФОРМЫ нахождения **ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА** в водопроводной воде г. Владивосток

**Представлены результаты исследования водопроводной воды г. Владивосток. Установлено, что ионный состав воды централизованной системы водоснабжения в целом удовлетворяет гигиеническим требованиям, однако общая минерализация и жесткость находятся ниже норм физиологической полноценности для питьевых вод. Раздельное определение растворенных и взвешенных форм позволило определить преобладающие формы миграции для железа и марганца.**

## Введение

Оценка административных районов Приморского края по состоянию поверхностных вод на основе пофакторного анализа натуральных показателей [1] позволяет отнести территорию г. Владивосток, по совокупности факторов к неблагоприятной. На территории водохозяйственного комплекса, в состав которого входят города Владивосток, Артем, часть Шкотовского и часть Надеждинского районов, проживает около 800 тыс. человек, что составляет 40 % населения края. Однако формирующиеся здесь водные ресурсы составляют не более 2 % суммарного значения для всего края в целом. Основными источниками водоснабжения для данной территории остаются три искусственных водоема озерного типа - Артемовское, Пионерское и Богатинское водохранилища, водой которых обеспечивается 98 % населения г. Владивосток.

Основные проблемы городского водоснабжения сегодня - это высокий уровень утечек в результате плохого технического состояния разводящих сетей, высокая аварийность и несвоевременное устранение порывов, приводящих к вторичному загрязнению подаваемой питьевой воды.

Цель исследования - характеристика качества питьевой воды г. Владивосток по нескольким показателям, а также изучение особенностей распределения и форм нахождения железа и марганца в водопроводной воде.

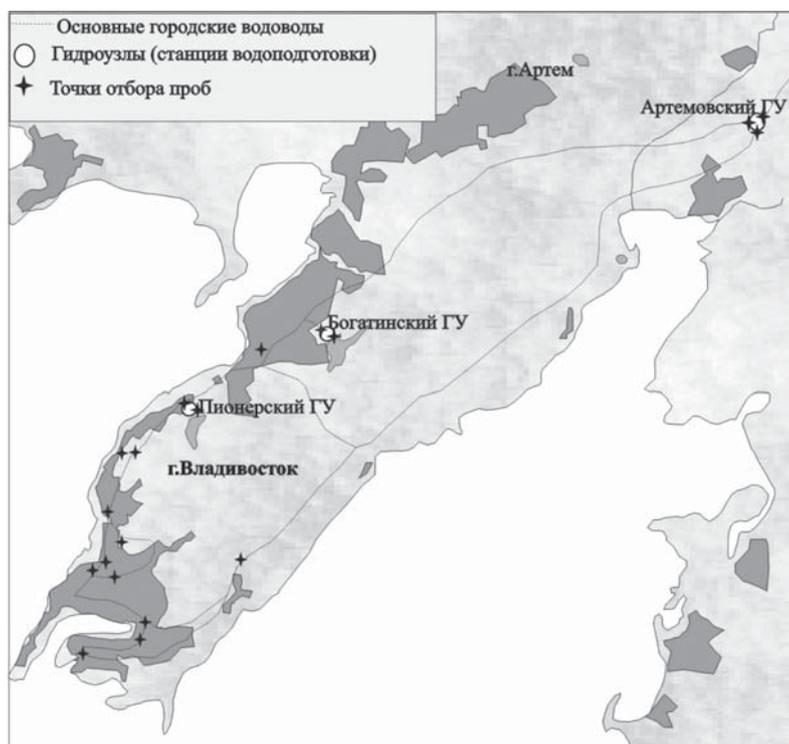
**С.Г. Юрченко\***,  
кандидат  
географических наук,  
научный сотрудник  
лаборатории  
геохимии,  
Учреждение  
Российской академии  
наук Тихоокеанский  
институт географии  
ДВО РАН



## Материалы и методы исследования

Объектом исследования является питьевая вода города из централизованных источников водоснабжения (магистральный водопровод). Исследования проводили с марта 2009 по февраль 2011 г., охватывая основные гидрологические фазы. Пробы воды отбирали в две чистые полиэтиленовые бутылки по 2 л, затем фильтровали через мембранный фильтр (0,45 мкм). Определение ионного состава вод проводили по стандартным методикам [2]. Основные катионы определяли методом атомной абсорбции на приборе «Shimadzu-6800». Содержание Fe и Mn также определяли методом ААС на приборе «Shimadzu-6800»: в растворенной форме – после предварительного концентрирования, во взвешенной форме – после кислотного разложения ( $\text{HClO}_4 + \text{HF}$ ) твердого осадка на фильтрах. Всего было отобрано и проанализировано 15 проб исходной воды, 19 проб воды, попадающей в систему водоснабжения после водоподготовки и 58 проб питьевой воды (рис. 1).

\* Адрес для корреспонденции: [yurchenko@tig.dvo.ru](mailto:yurchenko@tig.dvo.ru)



**Рис.1.** Схема отбора проб воды централизованной системы питьевого водоснабжения г. Владивосток.

## Результаты и их обсуждение

Качество исходной воды оценивали в ходе анализа проб, отобранных на гидроузлах до начала водоподготовки. Как показывают проведенные нами исследования, исходная вода относится к водам с низкой минерализацией, гидрокарбонатного класса группы кальция [3]. Вода характеризуется низким, по сравнению с поверхностными источниками ряда других районов России [4-6], содержанием кальция, сульфатов, хлоридов и общей жесткости и соответствует уровню ультрапресного оз. Имандра [7], которое является источником водоснабжения для г. Апатиты.

### Таблица 1

Основные показатели макросостава воды в процессе водоподготовки и нормы физиологической полноценности

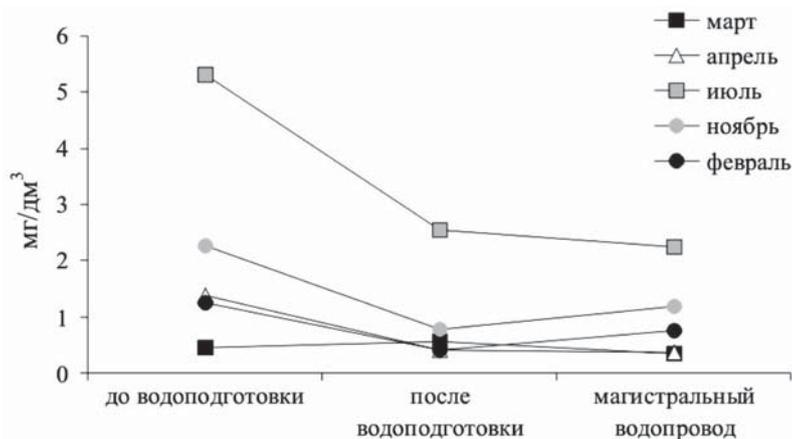
Показатель	Вода до водоподготовки на станции	Вода после водоподготовки на станции	Вода из магистрального водопровода	Нормативы физиологической полноценности питьевой воды, в пределах [10]
Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,2-0,48	0,21-0,48	0,38-0,48	1,5-7,0
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	0,28-8,68	0,12-5,60	0,22-7,89	<1,5
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2,62-6,95	2,86-7,15	4,11-6,95	25-130
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1,01-2,19	1,04-2,22	1,59-2,73	5-65
Σ <sub>и</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	36,96-56,70	35,55-57,62	46,52-56,53	100-1000

На каждом источнике водоснабжения осуществляется система водоподготовки, после которой вода попадает в магистральный водопровод.

Наиболее полно содержание основных макроэлементов в воде централизованной системы питьевого водоснабжения представлены в [8, 9], поэтому в данной работе основное внимание уделено некоторым особенностям макросостава. По значению рН (6,5–7,3) исследуемая водопроводная вода относится к группе практически нейтральных вод и удовлетворяет гигиеническим требованиям, согласно которым рН питьевой воды не должен выходить за пределы интервала 6,5–8,5 [11]. Другие выделенные нами показатели состава воды представлены в *табл. 1*.

Как показывают результаты, вода магистрального водопровода относится к очень слабуминерализованным водам, общая минерализация не превышает 57 мг/дм<sup>3</sup> и составляет в среднем 52 мг/дм<sup>3</sup>, что в 5-15 раз ниже минерализации питьевых вод в Архангельской и Северо-Казахстанской областях [12, 13], источниками водоснабжения которых также являются поверхностные воды. Как правило, водопроводная вода относится к классу гидрокарбонатных кальциевых вод. Среднегодовое содержание в воде кальция и магния менее 6 и 2 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно; жесткость в течение года практически не изменяется и находится в очень узком диапазоне. Варьирование ионного состава в пределах системы магистрального водопровода незначительное. Содержание основных макроэлементов в питьевой воде определяет ее физиологическую полноценность.

Установлено, что на протяжении всего исследуемого года водопроводная вода характеризуется малой мутностью (менее 0,7 мг/дм<sup>3</sup>), за исключением паводковых периодов, когда концентрация взвеси в воде



**Рис.2.** Сезонная динамика мутности питьевой воды в процессе водоподготовки.

магистрального водопровода увеличивалась в 2-3 раза. Такое повышение мутности объясняется тем, что в июле и ноябре 2009 г. в систему водоснабжения попали недоочищенные по количеству твердых частиц воды, что сразу отразилось на количестве взвеси в питьевой воде (рис. 2).

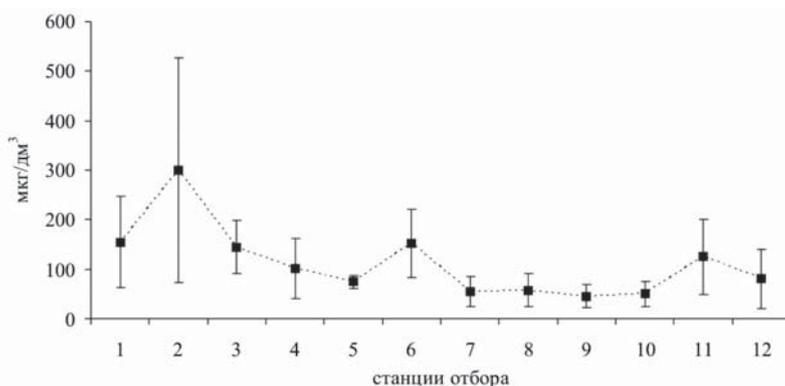
Железо и марганец, входящие в перечень гигиенических требований к питьевой воде и имеющих важное региональное значение, присутствуют в воде не только в виде растворенной, но и в виде взвешенной фракции. Как правило, изучение водопроводной воды сводится к анализу общего содержания этих элементов. В данной работе мы провели раздельное определение растворенных и взвешенных форм, что позволило определить преобладающие формы миграции для металлов (табл. 2).

Очистка воды от железа – непростая, хотя и наиболее распространённая, проблема во многих населенных пунктах Приморского края. Особенно это относится к центральным районам, где в качестве источников цен-

трализованного водоснабжения используют подземные воды, которые характеризуются повышенным содержанием двухвалентного железа [14]. Помимо природных условий формирования водоисточников, в питьевой воде железо может присутствовать также вследствие использования на муниципальных станциях очистки воды железосодержащих коагулянтов, которые применяют для осветления поступающей воды либо из-за коррозии водопроводных труб.

После прохождения системы водоподготовки в воде было обнаружено неоднозначное изменение содержания растворенного железа в течение года в отдельных местах сбора. Несмотря на этот факт, вода, попадающая в водораспределительную магистраль, соответствует ПДК по железу для питьевых вод [11].

При сравнительной оценке полученных результатов установлено, что в трех мониторинговых точках из двенадцати (рис. 3, т.т. 2, 6, 11) концентрация растворенного железа выше, чем в остальных. Максимальное содержание растворенного железа (1,7-1,9 ПДК) было обнаружено в колонке по улице



**Рис.3.** Изменение содержания растворенной формы железа в водопроводной воде.

### Таблица 2

Изменение содержания железа и марганца в воде г. Владивосток в процессе водоподготовки

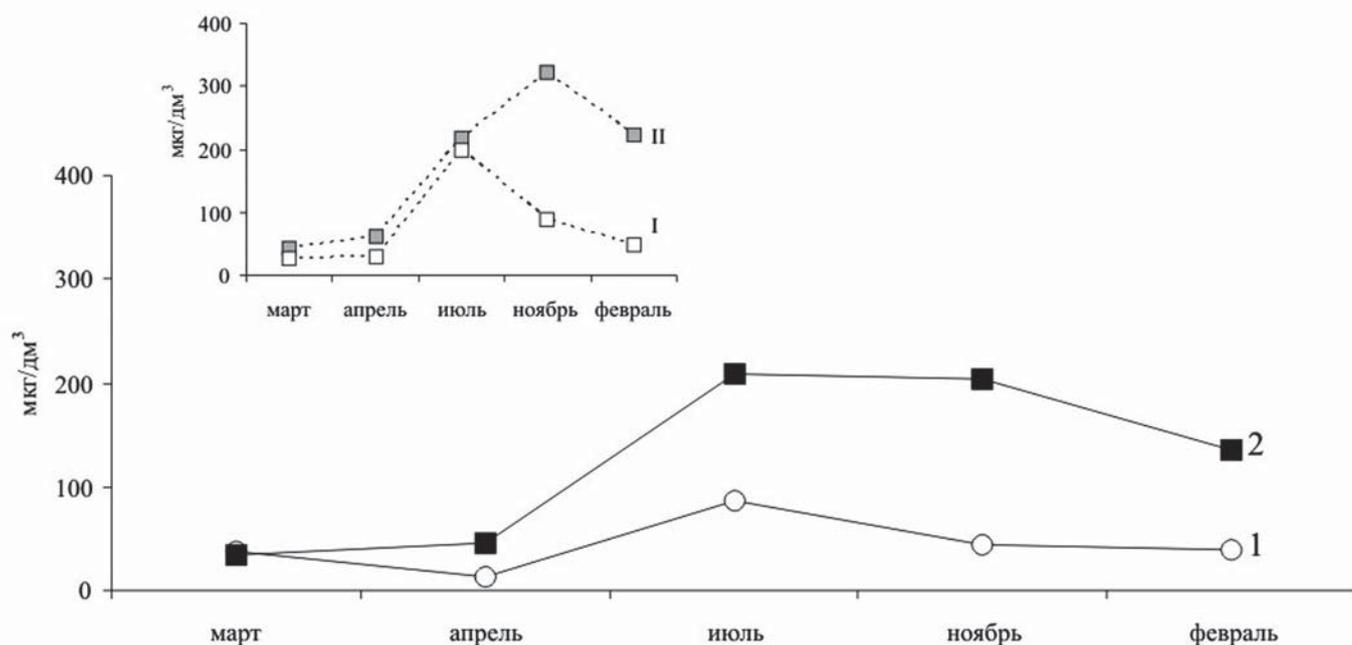
Форма элемента	Вода до водоподготовки на станции	Вода после водоподготовки на станции	Вода из магистрального водопровода
<b>Fe</b>			
Растворенная, мкг/дм <sup>3</sup>	9,9-141,7	1,5-71,9	12,7-573
Взвешенная, мкг/дм <sup>3</sup>	17,7-536,6	4,8-171,2	19,3-915,8
Количество во взвеси, %	2,7-11,3	2,5-11,8	1,1-31,1
<b>Mn</b>			
Растворенная, мкг/дм <sup>3</sup>	1,06-76,25	1,94-75,61	5,99-43,36
Взвешенная, мкг/дм <sup>3</sup>	3,23-72,4	0,21-14,24	0,29-9,99
Количество во взвеси, %	0,41-2,41	0,03-1,60	0,01-0,83

прапорщика Комарова (рис. 3, т. 2). Существенных различий по содержанию растворенного Fe в квартирных кранах не отмечается, в отличие от магистральных колонок (рис. 3, т.т. 1-6). Среднее содержание растворенного железа в питьевой воде г. Владивосток составляет 113 мкг/дм<sup>3</sup>, что в 4 раза ниже, чем его содержание в водопроводной воде г. Апатиты [7] и в 5 раз выше, чем в воде г. Хива (Узбекистан) [15].

Несмотря на достаточно низкое содержание железа во взвешенной форме в воде, попадающей в магистральный водопровод, его концентрация в водопроводной воде после прохождения по трубопроводам увеличивается в 4-5 раз (рис. 4). Полученные результаты позволяют разделить магистральный водопровод на две группы: 1 – распределительные уличные колонки, 2 – квартирные краны (рис. 4 Б). Концентрация взвешенного железа в воде квартирных кранов, в основном, не превышает 100 мкг/дм<sup>3</sup>, повышаясь в июле после продолжительных дождей до 150-250 мкг/дм<sup>3</sup>. Содержание взвешенного железа в распределительных колонках в 2-2,5 раза выше – 28-916 мкг/дм<sup>3</sup>.

При анализе полученных данных установлено, что основная доля содержания железа в питьевой воде г. Владивосток приходится на его растворенную форму – 41-86 %, в то время как в исходной воде доля содержания растворенного железа не превышает 30-40 %. В июле и ноябре доля содержания железа во взвешенной форме увеличивается до 48-92 %.

**Рис. 4.** Сезонная динамика содержания взвешенной формы железа в питьевой воде в процессе водоподготовки (1 – после водоподготовки, 2 – магистральный водопровод; на рис. 4 б I – квартирные краны, II – уличные колонки).

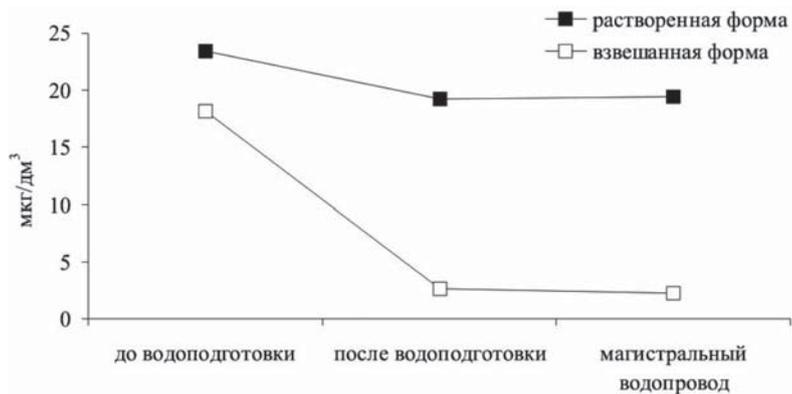


В результате длительного контакта с водопроводными трубами, подверженными в процессе эксплуатации коррозии и процессам биообращения, в питьевой воде отмечается рост содержания как растворенной, так и взвешенной формы Fe, что характерно и для других регионов России, в частности для ЕАО, Мурманской и Тверской областей [7, 16-18].

Как следует из данных табл. 2, вода магистрального водопровода характеризуется более высокими концентрациями железа во взвешенном веществе, чем вода после цикла водоподготовки.

Важная экологическая и физиологическая роль марганца, который в природных водах обычно сопутствует железу, вызывает необходимость его изучения и распределения в природных водах. В нашей стране допустимое содержание марганца в водопроводной питьевой воде – 0,1 мг/дм<sup>3</sup> [10]. Это больше, чем в Европе, но в пять раз меньше, чем в Америке.

Как показывают проведенные нами исследования, концентрация растворенного марганца в поверхностных источниках подвержена сезонным колебаниям с минимумом летом и осенью и повышенным содержанием зимой и весной. Несмотря на то, что химический состав водоисточников формируется в одних условиях, концентрация растворенного марганца в Артемовском водохранилище, который является крупнейшим водоисточником Приморского края, в 12 раз ниже, чем в Богатинском и Пионерском водохранилищах и соответствует его содержанию в оз. Имандра [7]. Содержание растворенного Mn в воде после прохождения цикла водоподготовки изменяется незначительно по сравне-



**Рис. 5.** Динамика содержания растворенной и взвешенной форм марганца в процессе водоподготовки.

нию с исходной водой. Если учитывать, что в городской водопровод попадает смешанная вода с трех станций водоподготовки, то в процессе транспортировки воды к потребителю средняя концентрация растворенного марганца не увеличивается (рис. 5).

После системы водоподготовки содержание взвешенного марганца в воде снижается практически в 7 раз. Концентрация этой формы Mn в питьевой воде сохраняется на уровне его присутствия в воде, поступающей в коммунальный водопровод. Существенных различий между пробами, отобранными в городском водопроводе, не отмечено - в основном, содержание взвешенного марганца не превышает 4 мкг/дм³ и лишь в 5 % отобранных проб за исследуемый период его концентрация повышалась до 7-10 мкг/дм³.

Как для растворенного, так и для взвешенного марганца сезонная изменчивость в водах Артемовского водохранилища практически отсутствует. Основным фактором, определяющим изменения концентрации Mn в поверх-

хностных водоемах, является соотношение между поверхностным и подземным стоком. Для Артемовского водохранилища влияние роли грунтовых вод в период ледостава относительно мало за счет большого размера, сглаживающего сезонные вариации.

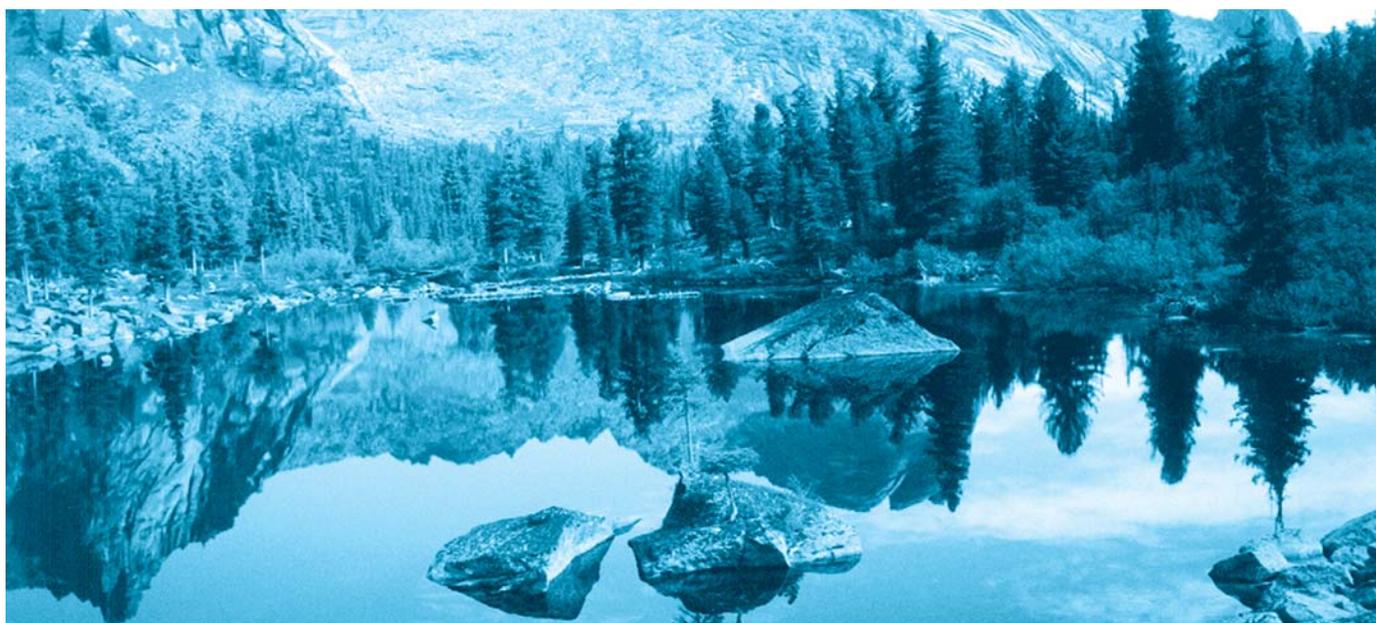
Согласно [19] главная форма миграции соединений марганца в природных водах на территории г. Владивосток - взвешенная. Однако только в водах Артемовского водохранилища во всех отобранных пробах взвешенная форма переноса марганца является основной (50-95 % от общего содержания). В водах Богатинского и Пионерского водохранилищ преобладание доли марганца во взвеси в течение года выражено не так явно (от 5 до 87 %).

В питьевой воде, поступающей к жителям города, основная доля марганца приходится на растворенную форму. Пространственное распределение концентрации Mn во взвеси характеризуется уменьшением содержания по мере продвижения воды по магистральным трубам (табл. 2).

При сопоставлении концентрации железа и марганца во взвешенном веществе с мутностью для всех изученных вод наблюдается четкая обратно пропорциональная зависимость: с уменьшением мутности повышается удельное содержание металлов во взвешенном веществе.

## Заключение

**В** результате проведенных исследований установлено, что питьевая вода г. Владивосток характеризуется низким содержанием ионов Ca и Mg уже на входе в систему магистрального водопровода, что не соответ-



ствуется нормативам физиологической полноценности питьевых вод.

Особенности изменения содержания форм железа характеризуются тенденцией увеличения их концентраций в процессе продвижения воды по трубам к потребителю, что указывает на дополнительное поступление этого металла в питьевую воду, прежде всего в результате коррозии трубопроводов и жизнедеятельности железистых бактерий. Вариабельность содержания железа в пробах воды, отобранных непосредственно в водопроводных сооружениях (уличных колонках и квартирных кранах), объясняется их различным техническим состоянием.

В отличие от распределения железа по водопроводу, среднее содержание в питьевой воде растворенной и взвешенной форм марганца сохраняется на уровне его присутствия в воде после водоподготовки и значительно ниже гигиенических нормативов для питьевой воды.

Представленные сведения о формах миграции изученных металлов позволяют говорить, что для марганца в водопроводной воде характерно преобладание растворенной формы, в то время как роль растворенной формы в миграции железа является преобладающей только в период низкой мутности.

### **Литература**

1. Москаленко С.А. Санитарное состояние водных объектов и систем водоснабжения Приморского края / С.А. Москаленко, С.А. Лозовская // Водные ресурсы. 2002. Т. 29, № 2. С. 226-234.
2. Алекин О.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алекин, А.Д. Семе-

### **Ключевые слова:**

водоснабжение,  
питьевая вода,  
железо,  
марганец

нов, Б.А. Скопинцев // Л.: Гидрометеиздат, 1973. 161 с.

3. Юрченко С.Г. Особенности химического состава водоемов питьевого назначения юга Приморья // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Мат. Всерос. научно-практ. конф., Хабаровск, 2010. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2010. С. 187-191.
4. Китаев А.Б. Качество воды в источниках водоснабжения города Перми / А.Б. Китаев, Т.В. Зуева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2009. № 6. С. 49-51.
5. Нохрин Д.Ю. Химический состав и качество воды Шершнёвского водохранилища в 2001–2009 годах / Д.Ю. Нохрин, Ю.Г. Грибовский, Н.А. Давыдова, Н.Ю. Арсентьева // Вестник Челябинского гос. университета. Сер. Экология. Природопользование. 2010. Вып. 4, № 8 (189). С. 67–71.
6. Кляцкая И.О. Сезонные изменения качества поверхностных вод устьевого участка Северной Двины / И.О. Кляцкая, А.Б. Гудкова, И.И. Бобун // Экология человека. 2008. № 5. С. 9-16.
7. Кудрявцева Л.П. Оценка качества питьевой воды в г. Апатиты // Водные ресурсы. 1999. Т. 26, № 6. С. 735-742.
8. Юрченко С.Г. Особенности химического состава питьевых вод г. Владивостока / С.Г. Юрченко, В.М. Шулькин // Вестник ДВО РАН. 2010. № 5. С. 107-112.
9. Трунова И.Е. Гигиеническая оценка качества питьевой воды во Владивостоке / И.Е. Трунова, С.В. Зарецкая // Тихоокеанский медицинский журнал. 2006. № 3. С. 64-66.
10. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде



водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. М.: Минздрав России, 2003.

11. СанПиН 2.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству питьевой воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. М.: Минздрав России, 2002.

12. Унгурияну Т.Н. Качество питьевой воды в г. Новодвинске Архангельской области по данным многолетнего мониторинга / Т.Н. Унгурияну, А.В. Лыжина, В.С. Дементьевский // Экология человека. 2008. № 4. С. 6-10.

13. Белецкая Н.П. Некоторые особенности химического состава питьевых вод Северо-Казахстанской области / Н.П. Белецкая, А.В. Пузанов, И.Н. Лиходумова, С.В. Бабошкина, И.В. Горбачева, Д.Н. Балыкин // Мир науки, культуры, образования. 2009. № 2 (14). С. 13-17.

14. Ковальчук В.К. Гигиенические проблемы химического состава питьевой воды систем водоснабжения Приморского края / В.К. Ковальчук, Д.В. Маслов // Тихоокеанский медицинский журнал. 2006. № 3. С. 60-63.

15. Ниязметов М. Гигиеническая оценка качества воды в городе Хива // Гигиена и санитария. 2001. № 2. С. 30-31.

16. Бондарева Д.Г. Распределение железа в поверхностных и питьевых водах Еврейской автономной области и его отражение на здоровье населения. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2010. 23 с.



17. Моисеенко Т.И. Влияние загрязнения вод на здоровье населения индустриального региона Севера / Т.И. Моисеенко, В.В. Мегорский, Н.А. Гашкина, Л.П. Кудрявцева // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 2. С. 199-208.

18. Тулакин А.В. Региональные проблемы обеспечения гигиенической надежности питьевого водопользования / А.В. Тулакин, М.М. Сайфутдинов, Е.Ф. Горшкова, А.П. Росоловский // Гигиена и санитария. 2007. № 3. С. 27-30.

19. Юрченко С.Г. Миграция химических элементов в водных объектах с различной антропогенной нагрузкой (юг Дальнего Востока России). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Владивосток, 2004. 22 с.



S.G. Yurchenko

## IRON AND MANGANESE IN TAP WATER OF VLADIVOSTOK

A detailed study of tap water in Vladivostok region has been made. Despite the fact that the ionic composition of the water meets hygiene

requirements, the total salinity and hardness are below the standards. Separate determination of dissolved and suspended forms made possible to

determine the predominant form for iron and manganese migration.

**Key words:** water supply, drinking water, iron, manganese