

А.В. Кривцов, Е.Ф. Сороколетова, А.П. Селезнев,
А.И. Андриянов, В.П. Андреев, Ю.В. Ищук,
Е.С. Мартынова, А.А. Корнеева

Разработка методики получения физиологически полноценной питьевой воды

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Анализируется современное состояние проблемы дисэлементозов на территории Российской Федерации и определяется перечень элементов, недостаток которых в пище и воде оказывает негативное воздействие на здоровье человека. Обосновывается разработка методики кондиционирования питьевой воды для достижения ее физиологической полноценности и профилактики дисэлементозов у военнослужащих, проходящих службу в Арктической зоне Российской Федерации, где источником питьевой воды является талый снег. Подобран солевой состав для кондиционирования маломинерализованной воды. Для этого исходный поток маломинерализованной воды разделяют на два примерно равных вторичных, а те минерализующие компоненты, которые образуют между собой труднорастворимые соединения, вводят в разные вторичные потоки, которые затем объединяются в общей емкости. Показано, что по всем изученным критериям кондиционированная вода удовлетворяла требованиям химической безопасности СанПиН 2.1.4.1074–01, а также содержала эссенциальные макро- и микроэлементы в количествах, соответствующих нормативам физиологической полноценности питьевой воды согласно СанПиН 2.1.4.1116–02. Методика кондиционирования питьевой воды при ее внедрении в практику водообеспечения военнослужащих Министерства обороны Российской Федерации позволит улучшить качество питьевой воды за счет обогащения эссенциальными макро- и микроэлементами, повысить ее физиологическую полноценность, что послужит эффективной мерой профилактики заболеваемости военнослужащих, обусловленной дисбалансом биогенных элементов в организме.

Ключевые слова: дисбаланс эссенциальных макро- и микроэлементов, дисэлементозы, водоснабжение военнослужащих, Арктическая зона, солевой состав, физиологическая полноценность воды, методика кондиционирования питьевой воды.

Введение. Химический состав питьевой воды в его количественном и качественном выражении может являться причиной многих заболеваний человека [1, 2]. «Мягкая» вода с низким содержанием солей кальция и магния является фактором риска сердечно-сосудистой патологии и других широко распространенных заболеваний. Распространенность гипертонической болезни (ГБ) в регионах, снабжаемых маломинерализованной водой, значительно (до 25–30%) превышает этот показатель для регионов с водой нормальной жесткости. Например, для мужчин 40–59 лет – жителей Санкт-Петербурга – частота ГБ составляет 40,1%, что в 1,5–2 раза превышает частоту ГБ в других городах России (20–22%) и Москве (28,7%). Аналогичная корреляция наблюдается в отношении заболеваний опорно-двигательного аппарата [1]. Свыше 65% населения Российской Федерации (РФ) проживают в условиях дефицита йода, что в ряде случаев является причиной развития врожденных аномалий, повышенной перинатальной смертности, снижения умственных способностей [9]. Добавление йода к питьевой воде приводит к существенному снижению патогенного накопления кальция в нейронах и повышению устойчивости клеток головного мозга к аноксии. При этом важным условием проявления

нейропротективного эффекта йода, вводимого с питьевой водой, является одновременное обогащение ее кальцием и магнием. Система I–Ca–Mg играет важную роль в обеспечении функций нейронов, лежащих в основе процессов обучения и памяти. Практически повсеместно в питьевой воде имеется недостаток фтора, что обуславливает заболеваемость кариесом зубов более 60% детей (в Карелии, Оренбургской обл. – до 90–98%) [1].

Экстремальные природно-климатические условия Арктики обуславливают формирование ряда элементов, характеризующихся дефицитом эссенциальных и повышенным накоплением токсических элементов, что приводит к формированию «полярного» типа обмена. Еще более острой проблема дефицита жизненно важных минералов становится при применении для водоснабжения военнослужащих в Арктической зоне (АЗ) РФ физиологически неполноценной воды, получаемой из талого снега [8].

Понятие физиологической полноценности воды научно обосновано гигиеническими исследованиями, показавшими неадекватность потребления полностью деминерализованной питьевой воды физиологическим потребностям организма. Кондиционирование питьевой воды определяется как минерализация

(соленасыщение) деминерализованной (дистиллированной, или природной ультрапресной) воды с целью максимального приближения ее химического состава к параметрам, установленным СанПиН 2.1.4.1116–02 на физиологически полноценную питьевую воду [13].

Цель исследования. Разработка методики кондиционирования питьевой воды для достижения ее физиологической полноценности и профилактики дисэлементозов у военнослужащих.

Материалы и методы. Отбор проб водопроводной воды и снега проводили согласно действующим нормативным документам [3, 4]. Содержание тяжелых металлов в воде определяли на атомно-абсорбционном спектрометре с электротермической атомизацией «МГА-915М» фирмы «Люмэкс» (Россия) в соответствии с ГОСТ Р 51309-99 [5]. Для определения анионного и катионного состава воды использовали систему капиллярного электрофореза «Капель-105М» фирмы «Люмэкс» (Россия) [7]. Химический состав и качество водопроводной питьевой воды, употребляемой военнослужащими, проходящими службу в гарнизонах Видяево, Снежногорск и Печенга, а также воды, получаемой из талого снега, для водоснабжения военнослужащих на о. Котельный (Новосибирские острова) изучали в соответствии с ГОСТом [6]. Анализ результатов измерений осуществляли стандартными методиками линейной статистики. Для оценки достоверности различий полученных результатов использовали *t*-критерий Стьюдента при 95% уровне вероятности. При обработке данных химического анализа вычисляли сходимость результатов двух измерений и сравнивали ее значение с приведенным в соответствующем ГОСТе.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что в Снежногорске и Видяево водоисточниками служат поверхностные водные объекты с маломинерализованной водой, дефицитной по основным макро- и микроэлементам. В Печенге водоисточником является скважина, вода из которой физиологически полноценна по кальцию, магнию и калию, хотя микроэлементы йод и фтор содержатся в недостаточном количестве (табл. 1).

В пробах воды с о. Котельный, которая приготовлена путем плавления снега, обнаружено крайне низкое содержание макроэлементов: кальция, магния и калия, а также эссенциальных микроэлементов, таких как цинк ($0,005 \pm 0,002$ мг/л), селен ($< 0,005$ мг/л), молибден ($< 0,001$ мг/л); йод, фтор и медь в воде отсутствовали. Вода, получаемая в результате таяния снега, в целом очень бедна химическими элементами [8]. Сухой вес такой воды составлял в среднем 26,5 мг/л, что в 3 раза ниже, например, невской воды (76,8 мг/л) и в 7,5–19 раз ниже рекомендованного СанПиН 2.1.4.1116–02 уровня минерализации в 200–500 мг/л [13]. Очевидно, что вода из Видяево, Снежногорска и с о. Котельный нуждается в кондиционировании.

Известны способы кондиционирования опресненных вод путем растворения в них заданного количества твердых солей. Например, согласно инструкции к набору солей для приготовления питьевой воды из дистиллята (ТУ 6-09-3457-78) используются: 1) натрий сернокислый – 96 г и магний сернокислый – 81 г; 2) кальций хлористый кристаллический – 322 г; 3) натрий двууглекислый – 262,6 г и фтористый натрий – 1,5 г. Эти наборы позволяют довести солесодержание воды до 500 мг/л [11]. Однако при воспроизведении данной методики в лабораторных условиях получены следующие результаты: после поочередного растворения солей в воде в емкости выпал осадок, который не растворялся при перемешивании и сохранялся на протяжении всего срока эксперимента (7 сут). В растворе над осадком внесенные соли отсутствовали, либо их концентрация была значительно ниже заявленной (табл. 2).

Целью разработанной нами методики являлось достижение непрерывной минерализации объемов маломинерализованной воды необходимыми для кондиционирования ионами. При разработке методики применяли два концентрированных солевых раствора, причем каждый из них содержал несовместимые с точки зрения растворимости для другого солевого раствора компоненты. Растворы вносили отдельно в емкость с обессоленной водой. Раствор № 1, г/л: кальций – 75–85; магний – 17–22. Раствор № 2, г/л: фтор – 1,12–1,44; гидрокарбонат – 60–70; калий – 20–25; йод (в форме йодата) – 80–120 мг/л.

Таблица 1

Содержание эссенциальных элементов в пробах питьевой воды, поставляемой военнослужащим, мг/л

Элемент	Норматив СанПиН 2.1.4.1116–2 [13]	Место отбора пробы			
		Снежногорск	Видяево	Котельный	Печенга
Кальций	25–130	8,0±0,7	4,0±0,6	2,0±0,4	43,0±3,5
Магний	5–50	6,0±0,8	1,5±0,2	0,3±0,1	7,7±0,9
Калий	2–20	1,1±0,05	0,8±0,04	0,25±0,06	5,9±0,8
Йод	0,04–0,125	0*	0*	0*	0,01±0,001
Фтор	0,6–1,5	0*	0*	0*	0,4±0,035
Сухой вес	200–500**	93,1±7,2	22,4±1,6	26,5	257,0±16,4

Примечание: * – ниже предела обнаружения; ** – для воды высшей категории.

Таблица 2

Содержание элементов в воде над осадком от расчетного (по суткам), %

Сутки наблюдения	Химический элемент			
	Кальций	Магний	Натрий	Фтор
0	4,4	2,3	14,5	0
1	6,3	5,9	19	0,2
2	9,8	8,6	31	0,8
3	17,5	14,1	55	1,4
7	56	36,4	93,2	1,8

При введении в разные водные потоки (с последующим их объединением в накопительной емкости) двух минерализующих концентратов, компоненты одного из которых, например ионы щелочноземельных металлов – кальция и магния, образуют труднорастворимые соединения с компонентами другого, например ионами фтора и йодата, достигается необходимая степень равномерности их распределения в объеме воды в накопителе, что препятствует осадкообразованию. При определении необходимой концентрации вносимых солей исходили из положения, что нижняя граница концентраций ограничена необходимостью достижения физиологической полноценности воды, а верхняя – процессом осадкообразования, который определяется величиной предельной растворимости образующихся в воде химических соединений.

Поток дистиллированной воды расходом 10 л/мин подавали из бутылки емкостью 40 л. Поток разделили на два по 5 л/мин каждый при помощи тройника и силиконовых шлангов длиной 1 м, вода из которых поступала в общую емкость объемом 40 л. Расход 5 л/мин достигался при помощи регулирующих кранов, которыми были снабжены шланги. Ввод минерализующих реагентов осуществляли двумя перистальтическими микронасосами «РР-х-20» общества с

ограниченной ответственностью «Вилитек» (Москва). Длительность эксперимента составляла 2 мин, в результате чего в бутылки-приемнике собиралось 20 л кондиционированной питьевой воды. Осадок не образовывался ни сразу после внесения солевых концентратов, ни в течение 7 сут последующего наблюдения. В течение 7 сут проводили динамический химический анализ на соответствие содержания введенных компонентов заданному. Содержание ионов в воде, кондиционированной с помощью жидкой минеральной добавки, составило (мг/л): кальций – $36 \pm 1,4$; магний – $9,3 \pm 1,3$; калий – $7,2 \pm 1,5$; натрий – $5,3 \pm 0,9$; йодат – $0,05 \pm 0,003$; фторид – $0,61 \pm 0,02$; хлорид – $105 \pm 13,0$; гидрокарбонат – $31 \pm 4,5$.

Показатели качества полученной питьевой кондиционированной воды представлены в таблице 3. Предварительно оценивались органолептические показатели (запах, привкус, цветность, мутность) кондиционированной воды, которые соответствовали требованиям СанПиН 2.1.4.1116–02 [13].

Предложенный нами способ объективизации контроля за проведением кондиционирования заключается в определении содержания кальция с помощью тест-полоски в воде до и после проведения кондиционирования.

Таблица 3

Показатели качества кондиционированной воды, $M \pm m$

Показатель	Исходная (дистиллированная) вода	Кондиционированная вода*	ПДК по СанПиН 2.1.4.1074–01 [12]	Нормативы качества воды по СанПиН 2.1.4.1116–02 [13]
рН, ед.	$5,4 \pm 0,1$	$7,2 \pm 0,2$	6–9	6,5–8,5
Жесткость, мг-экв/л	$0,1 \pm 0,001$	$2,2 \pm 0,3$	7	1,5–7
Щелочность, мг-экв/л	$0,05 \pm 0,02$	$2 \pm 0,1$	нн	0,5–6,5
Гидрокарбонаты, мг/л	$3 \pm 0,2$	$120 \pm 10,5$	нн	30–400
Хлориды, мг/л	$0,02 \pm 0,006$	$6 \pm 0,5$	350	150–250
Сульфаты, мг/л	$0,5 \pm 0,02$	$19,5 \pm 1,8$	500	150–250
Кальций, мг/л	$0,8 \pm 0,04$	$36,2 \pm 2,6$	нн	25–130
Магний, мг/л	$0,6 \pm 0,1$	$9,2 \pm 0,8$	нн	5–65
Калий, мг/л	$0,15 \pm 0,03$	$7,1 \pm 0,6$	нн	2–20
Фториды, мг/л	0	$0,6 \pm 0,02$	1,5	0,6–1,2
Йодаты, мг/л	0	$0,05 \pm 0,003$	0,125	0,04–0,125
Сухой остаток, мг/л	$5,1 \pm 0,2$	240 ± 12	1000	100–1000

Примечание: * – различия всех показателей по сравнению с исходной (дистиллированной) водой, $p < 0,05$.

По результатам проведенного исследования получен патент на изобретение «Способ получения кондиционированной питьевой воды» [10].

Заключение. Методика кондиционирования питьевой воды при ее внедрении в практику водообеспечения военнослужащих Министерства обороны РФ позволит улучшить качество питьевой воды за счет обогащения эссенциальными макро- и микроэлементами, повысить ее физиологическую полноценность, что послужит эффективной мерой профилактики заболеваемости военнослужащих, обусловленной дисбалансом биогенных элементов в организме. Полученные результаты в значительной мере позволят решить проблему дисэлементозов у военнослужащих.

Выводы

1. Разработана методика и способ кондиционирования маломинерализованной воды, получаемой из талого снега в Арктической зоне, с целью профилактики дисэлементозов и восполнения дефицита биогенных элементов в организме военнослужащих.

2. Качество питьевой воды, кондиционированной по разработанной методике, по всем изученным показателям удовлетворяло требованиям химической безопасности СанПиН 2.1.4.1074–01, вода содержала эссенциальные макро- и микроэлементы в количествах, соответствующих нормативам физиологической полноценности питьевой воды согласно СанПиН 2.1.4.1116–02.

Литература

1. Авцын, А.П. Микроэлементозы Севера / А.П. Авцын [и др.] // Вопр. мед. географии Севера. – Мурманск, 1986. – С. 9–17.

2. Азаров, И.И. Питьевая вода моряков. История и современность / И.И. Азаров [и др.] // Морская медицина. – 2016. – № 3. – С. 22–31.

3. ГОСТ Р 51593–2000. Вода питьевая. Отбор проб. // Государственный контроль качества воды. – М.: ИПК Изд. стандартов, 2003. – С. 257–266.

4. ГОСТ 17.1.5.05–1985. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков // Государственный контроль качества воды. – М.: ИПК Изд. стандартов, 2003. – С. 267–278.

5. ГОСТ Р 51309–99. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии // Государственный контроль качества воды. – М.: ИПК Изд. стандартов, 2003. – С. 339–362.

6. Государственный контроль качества воды. – М.: ИПК Изд. стандартов, 2003. – 776 с.

7. Комарова, Н.В. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель» / Н.В. Комарова, Я.С. Каменев. – СПб.: Веда, 2008. – 212 с.

8. Кривцов, А.В. Физиолого-гигиеническая характеристика организации питания и водоснабжения отдаленного воинского гарнизона в Арктике / А.В. Кривцов [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2015. – № 4. (52). – С. 165–168.

9. Никоноров, А.М. Гидрохимия / А.М. Никоноров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 351 с.

10. Пат. № 2618264 Российская Федерация МПКС02F 1/68 (2006.01). Способ получения кондиционированной питьевой воды / Селезнев А.П [и др.]; опубл. 03.05.2017. Б.И. № 13. – С. 123.

11. Санитарные правила для морских судов-2018. – М.: Моркнига, 2018. – 188 с.

12. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: ФЦГСЭН Минздрава России, 2002. – 103 с.

13. СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. – М.: Минздрав России, 2002. – 28 с.

A.V. Krivtsov, E.F. Sorokoletova, A.P. Seleznev, A.I. Andrianov, V.P. Andreev, Yu.V. Ischuk, E.S. Martinova, A.A. Korneeva

Development of a methodology for obtaining physiologically complete drinking water

Abstract. The current state of the problem of diselementosis in the territory of the Russian Federation is analyzed and a list of elements is identified, the lack of which in food and water has a negative impact on human health. The author substantiates the development of a technique for conditioning drinking water to achieve its physiological usefulness and prevent diselementosis among servicemen who serve in the Arctic zone of the Russian Federation, where snowmelt is the source of drinking water. A salt composition was selected for conditioning low-mineralized water. For this, the initial stream of low-mineralized water is divided into two approximately equal secondary waters, and those mineralizing components that form sparingly soluble compounds are introduced into different secondary streams, which are then combined in a common tank. It is shown that for all the criteria studied, conditioned water meets the requirements of chemical safety Sanitary rules and regulations 2.1.4.1074-01, and also contains essential macro- and microelements in quantities corresponding to the standards of physiological potency of drinking water according to Sanitary rules and regulations 2.1.4.1116-02. The method of conditioning drinking water when it is introduced into the practice of water supply for servicemen of the Ministry of Defense of the Russian Federation will improve the quality of drinking water by enriching with essential macro- and microelements, increasing its physiological usefulness, which will serve as an effective measure to prevent the morbidity of servicemen due to the imbalance of nutrient elements in the body.

Key words: imbalance of essential macro- and microelements, diselementoses, water supply of servicemen, Arctic zone, salt composition, physiological value of water, technique for conditioning drinking water.

Контактный телефон: +7-911-813-09-91; e-mail: vmeda-nio@mil.ru