

УДК 613.31:613.96:612.825.8 (571.63)

DOI: 10.33396/1728-0869-2020-7-32-39

КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И УМСТВЕННАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПОДРОСТКОВ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

© 2020 г. В. К. Ковальчук, О. Ю. Ямилова

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения России, г. Владивосток

Цель исследования – гигиеническая оценка комбинированного влияния вредных веществ и биогенных элементов, потребляемых с питьевыми водами, на умственную работоспособность подростков Приморского края методом одномоментного скрининга. *Методы.* В водопроводной воде семи населенных пунктов оценивали содержание хлороформа, тетрахлорэтилена, Fe, Mn, Si и соотношение уровней Ca и Mg (Ca/Mg). Методом анкетирования 283 школьников 15–16 лет определяли суточное потребление Fe, Mn, Ca, Mg, Si с водопроводной, бутилированной и доочищенной водой. Вычисляли фактическую суммарную среднесуточную дозу (ФССД) потребления веществ с питьевыми водами. Скрининг умственной работоспособности подростков выполнили синхронно 8 и 9 февраля 2017 года в 8:50–10:30. Использовали буквенную корректурную таблицу Анфимова. Учитывали объем просмотренных знаков (ΔK), коэффициент продуктивности (ΔQ), показатель общих ошибок ($\Delta OШ$) и ошибок на дифференцировку ($\Delta Д$). Связь ФССД веществ с работоспособностью оценивали методами парного рангового (R_s) и многофакторного частного (R_{ch}) корреляционного анализа. *Результаты.* В некоторых населенных пунктах водопроводная вода содержит много Fe (0,74 мг/л), Mn (0,18 мг/л), Si (67,11 мг/л) и очень мало Ca (7,89 мг/л) и Mg (1,54 мг/л) на фоне безопасных концентраций хлороформа, тетрахлорэтилена. Установлена корреляционная зависимость показателя ΔQ от Ca/Mg ($R_s = +0,86$; $p \leq 0,01$) у девушек, показателя ΔK от комплекса Mn-Fe-Ca/Mg при элиминации влияния Si ($R_{ch} = -0,88$; $p \leq 0,001$) у девушек и ($R_{ch} = -0,74$; $p \leq 0,01$) у юношей, показателя $\Delta Д$ от комплекса Mn-Si-Ca/Mg при элиминации влияния Fe ($R_{ch} = +0,52$; $p \leq 0,05$) у юношей. По литературным данным, выявленные корреляции имеют набор признаков, типичных для связей причинно-следственного характера. *Вывод.* Дефицит и дисбаланс Ca и Mn в питьевой воде на фоне ее загрязнения Mg, Fe и природного избытка Si является реальным фактором риска снижения умственной работоспособности у подростков Приморья.

Ключевые слова: водопроводная вода, доочищенная вода, бутилированная вода, умственная работоспособность, подростковое население, одномоментный скрининг

QUALITY OF DRINKING WATER AND ADOLESCENTS' TASK PERFORMANCE IN THE SOUTH OF THE RUSSIAN FAR EAST

V. K. Koval'chuk, O. Yu. Yamilova

Pacific State Medical University, Vladivostok

Aim of the study: hygienic assessment of the combined effect of harmful substances and biogenic elements consumed with drinking waters on the task performance of adolescents in the South of the Russian Far East by simultaneous screening. *Methods.* Seven settlements in the Primorsky Territory were investigated. The content of chloroform, tetrachlorethylene, Fe, Mn, Si and the ratio Ca/Mg were assessed in tap water. 283 schoolchildren aged 15-16 were examined. The questionnaire method was used to determine the daily consumption of Fe, Mn, Ca, Mg, Si with tap, bottled (45 trade marks) and filtered (5 home filter models) water. The actual average total daily dose (AADD) of consumption of the substances with drinking water was calculated. Screening of adolescents' task performance in the settlements was carried out synchronously on February 8 and 9, 2017 at 8:50 - 10:30 AM. Anfimov's table was used for assessing task performance. The number of viewed letters, productivity coefficient, indicators of total errors and differentiation errors were taken into account. The relationship between AADD of substances and task performance was assessed using methods of paired rank (R_s) and multivariate partial (R_{ch}) correlation analysis. *Results.* In some settlements, tap water contains a lot of Fe (0.74 mg/L), Mn (0.18 mg/L), Si (67.11 mg/L) and very little Ca (7.89 mg/L) and Mg (1.54 mg/L) against the background of safe concentrations of chloroform, tetrachlorethylene. The correlation dependences between productivity coefficient indicator and Ca/Mg ratio ($R_s = +0.86$; $p \leq 0.01$) in girls, viewed letters indicator and the Mn-Fe-Ca/Mg complex when eliminating the influence of Si ($R_{ch} = -0.88$; $p \leq 0.001$) in girls and ($R_{ch} = -0.74$; $p \leq 0.01$) in boys, differentiation errors indicator and Mn-Si-Ca/Mg complex when eliminating the influence of Fe ($R_{ch} = +0.52$; $p \leq 0,05$) in boys were established. According to the scientific literature, the revealed correlations have a set of features typical of the cause-effect relationships. *Conclusion:* deficiency and imbalance of Ca and Mn in drinking water against the background of its contamination with Mg, Fe and a natural excess of Si is a real risk factor for reducing task performance in adolescents of the Primorsky Territory.

Key words: tap water, filtered water, bottled water, task performance, adolescent population, simultaneous screening

Библиографическая ссылка:

Ковальчук В. К., Ямилова О. Ю. Качество питьевой воды и умственная работоспособность подростков на юге Дальнего Востока России // Экология человека. 2020. № 7 . С. 32–39.

For citing:

Koval'chuk V. K., Yamilova O. Yu. Quality of Drinking Water and Adolescents' Task Performance in the South of the Russian Far East. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 7, pp. 32-39.

Оптимизация демографической ситуации в стране — приоритетная государственная задача. Одним из факторов проживания населения, определяющих ожидаемую продолжительность его жизни, является качество питьевой воды, особенно ее химический состав, оказывающий постоянное воздействие на человека. В Приморском крае, расположенном на юге Дальнего Востока России, минеральный состав питьевой воды в первую очередь определяется наличием на его территории природной дефицитной биогеохимической провинции [7]. Установлено, что отдельные минеральные вещества и дисбаланс их содержания в питьевой воде являются факторами риска возникновения соматических и онкологических заболеваний органов пищеварения и мочевого выделения [6, 8]. Однако неблагоприятное одновременное действие комплекса органических и минеральных компонентов химического состава этой воды на здоровье населения региона не оценивалось.

Цель настоящего исследования — гигиеническая оценка комбинированного влияния вредных веществ и биогенных элементов, потребляемых с питьевыми водами, на умственную работоспособность подросткового населения Приморского края методом одномоментного скрининга.

Методы

Исследование выполнено в Приморском крае в семи районах наблюдения: городах Владивосток, Лесозаводск, Усурийск, Дальнегорск, Спасск-Дальний, пгт. Пограничный (Пограничный район) и с. Ивановка (Михайловский район). Районы наблюдения преднамеренно отобраны по показателям химического состава водопроводной питьевой воды (разные концентрации приоритетных органических и неорганических загрязнителей и основных биогенных элементов). Учитывали результаты анализа воды на содержание хлороформа, тетрахлорэтилена, железа (Fe), марганца (Mn), кальция (Ca), магния (Mg) и кремния (Si).

Качество питьевой воды оценивали по действующим отечественным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам. Степень загрязнения воды тетрахлорэтиленом определяли по рекомендациям ВОЗ [29]. Использовали первичные лабораторные данные о содержании химических веществ в воде водопроводов питьевого назначения (4 110 единиц информации) за 2013–2017 годы. Сведения выбрали из банка данных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» и частично дополнили их данными по кальцию, магнию и кремнию из фондов лабораторий регионального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (вода поверхностных источников) и краевого комитета по геологии и использованию недр (вода подземных источников). Известно, что концентрации этих химических элементов в воде в ходе ее обработки на очистных сооружениях, эксплуатирующихся в Приморье, практически не изменяются [9, 29].

Объектом наблюдения являлись 283 подростка 15–16 лет, обучающиеся в 10-х классах общеобразовательных школ в районах наблюдения. Использовали гнездовой одноступенный метод отбора подростков для исследования. В каждом городе составляли сквозной список 10-х классов всех общеобразовательных школ. Каждому классу (гнезду) присваивали индивидуальный номер. Выбор классов проводили с помощью генератора случайных чисел. Достаточное число наблюдений в целом по городу вычисляли по общепринятой формуле для средних величин [2, 16] с учетом значения среднего квадратического отклонения (σ), рассчитанному по результатам пилотного исследования умственной работоспособности школьников, выполненного ранее. В сельских поселениях, ввиду крайней малочисленности подростков, применяли сплошное наблюдение во всех 10-х классах школы. В каждом классе обследовали всех учащихся.

Для исследования умственной работоспособности у подростков использовали принцип одномоментного скрининга населения. Обследование проводили синхронно во всех районах наблюдения в дни недели максимальной работоспособности человека — в среду или четверг (8 и 9 февраля 2017 г.). Уровень умственной работоспособности изучали во время наивысшей работоспособности школьников — 2-й или 3-й урок [17] в первую смену (т. е. в 8:50–10:30). Такой подход дает возможность максимально ослабить или элиминировать маскирующий эффект гелиофизических, геофизических, социально-административных факторов, циркадных ритмов, индивидуальных режимов питания и отдыха на проявление связи умственной работоспособности человека с химическим загрязнением питьевой воды.

Работу учащихся, дозированную во времени, измеряли с помощью буквенной корректурной таблицы В. Я. Анфимова два раза: в начале и конце урока по традиционной методике [15]. Исследование работоспособности в классах провели местные студенты-старшекурсники, обучающиеся по специальности «медико-профилактическое дело» в Тихоокеанском государственном медицинском университете, во время зимних каникул. Предварительно эти студенты прошли специальную подготовку и тренировку под руководством авторов этой статьи.

Анализ заполненных буквенных таблиц выполнили авторы статьи. Рассчитывали показатель объема просмотренных знаков (K), коэффициент умственной продуктивности (Q) (степень точности выполнения задания), показатель количества допущенных общих ошибок (ОШ), показатель ошибок на дифференцировку (D) в соответствии с рекомендациями к методу В. Я. Анфимова [15]. В дальнейшем статистическом исследовании использовали разницу анализируемого показателя (Δ), полученного в начале и конце урока.

Заключительный этап обследования подросткового населения в районах наблюдения предусматривал оценку суточного потребления изучаемых химических веществ с бутилированными и доочищенными водами.

Использовали специальную анкету-опросник, учитывая, помимо питьевой водопроводной воды, региональные особенности потребления бутилированных питьевых, минеральных столовых (51 наименование), лечебно-столовых вод и лечебных вод (45 наименований) [10], а также доочищенную на бытовых фильтрах (5 моделей) водопроводную воду [18]. Содержание химических элементов в бутилированных минеральных водах учитывали по справочной литературе [12]. Концентрации минеральных веществ в доочищенной водопроводной воде вычисляли по коэффициентам адсорбции индивидуальных фильтров, установленных ранее лабораторным способом авторами статьи [18].

Среднесуточную дозу потребления (ССД) химического вещества для конкретного вида воды вычисляли по формуле [21]:

$$ССД = C_w \times V \times EF / 31,$$

где C_w – концентрация вещества в воде, мг/л; V – средний объем потребления воды, л/сут; EF – частота потребления воды, дней/месяц.

Величину фактической суммарной среднесуточной дозы (ФСД) потребления химического вещества со всеми учтенными видами питьевой воды рассчитывали путем суммирования.

Полученные результаты исследовали на нормальность распределения. Использовали критерий Шапиро – Уилка. Для статистических рядов с нормальным распределением вычисляли арифметическое среднее (M) и 95 % доверительный интервал (95 % ДИ), с асимметричным распределением – медиану (Me) и величины нижнего (25 % – Q_1) и верхнего (75 % – Q_3) квартилей. Значимость различия между статистическими величинами при нормальном распределении оценивали по двухвыборочному t -критерию Стьюдента, при других видах распределении – по

U -критерию Манна – Уитни. Принятый критерий значимости различия статистических величин – $p \leq 0,05$.

В качестве инструмента для поиска статистических связей между изучаемыми явлениями применяли парный ранговый корреляционный анализ и многофакторный частный (парциальный) корреляционный анализ. Для снижения влияния непараметрического распределения данных на величину коэффициента корреляции в многофакторном анализе использовали ранжированные значения абсолютных величин факторов и признака. Расчеты выполняли с помощью пакета прикладных программ Statistica 10,0 for Windows.

Критериями идентификации причинно-следственных связей между изучаемыми явлениями среди полученных формально-статистических являлись следующие классические критерии Хилла [3, 23], адекватные для условий одномоментного поперечного исследования: 1) значимость коэффициента корреляции связи ($p \leq 0,05$); 2) единая направленность связи у юношей и девушек; 3) направленность связи, соответствующая рабочей гипотезе; 4) соответствие связи современным научным представлениям о патофизиологии влияния рассматриваемого вредного вещества на живой организм при пероральном поступлении.

Результаты

Вычисленные статистические показатели содержания изучаемых веществ в питьевой воде в системах централизованного водоснабжения за пятилетний период в районах наблюдения (табл. 1) позволяют отнести железо, марганец и кремний к группе региональных загрязнителей воды. Загрязнение воды железом (от 1,03 до 2,5 ПДК) характерно для большего числа районов наблюдения, исключая города Дальнегорск и Спасск-Дальний. При этом максимум загрязнения железом находится в г. Лесозаводске.

Таблица 1

Приоритетные показатели химического состава водопроводной питьевой воды в районах наблюдения в 2013–2017 годах

Населенный пункт	Всего лабораторных анализов	Fe, мг/л (ПДК = 0,30)	Mn, мг/л (ПДК = 0,10)	Si, мг/л (ПДК = 10,00)	Ca, мг/л (НФП = 25,00 – 130,00)	Mg, мг/л (НФП = 5,00 – 65,00)	Хлороформ, мкг/л (ПДК = 200,00)	Тетра-хлорэтилен, мкг/л (ПДК = 40,00)
		M (95% ДИ)	M (95% ДИ)	M (95% ДИ)	M (95% ДИ)	M (95% ДИ)	M (95% ДИ)	M (95% ДИ)
с. Ивановка	299	0,32*** (0,27; 0,37)	0,060** (0,050; 0,070)	67,11*** (61,27; 72,96)	17,77*** (12,51; 20,70)	5,95** (3,68; 6,80)	3,00*** (0,20; 3,80)	0,60***
пгт. Пограничный	411	0,31** (0,23; 0,39)	0,020*** (0,010; 0,021)	6,36** (6,03; 6,68)	12,37*** (11,9; 12,75)	3,55*** (3,37; 3,73)	–	–
г. Дальнегорск	423	0,13*** (0,11; 0,15)	0,010 (0,005; 0,012)	9,79*** (9,22; 10,35)	8,63 (8,06; 9,19)	1,54*** (1,42; 1,65)	20,00*** (18,00; 22,00)	0,50* (0,40; 0,60)
г. Лесозаводск	554	0,74* (0,61; 0,87)	0,003*** (0,001; 0,005)	5,73*** (5,41; 6,04)	7,89*** (7,57; 8,21)	2,03*** (1,92; 2,13)	21,00** (15,00; 30,00)	0,20* (0,15; 0,25)
г. Спасск-Дальний	745	0,09*** (0,03; 0,15)	0,180* (0,010; 0,370)	6,14* (5,90; 6,37)	47,97 (46,73; 49,2)	11,54 (11,03; 11,77)	8,00*** (6,00; 10,00)	0,10*** (0,09; 1,00)
г. Уссурийск	797	0,31*** (0,04; 0,58)	0,050*** (0,005; 0,051)	13,54*** (11,86; 15,21)	13,78*** (12,27; 15,28)	6,43*** (7,40; 9,07)	8,00*** (5,00; 10,00)	0,10 (0,07; 0,12)
г. Владивосток	881	0,41 (0,36; 0,46)	0,037 (0,029; 0,045)	6,50 (6,24; 6,82)	8,56 (8,25; 8,86)	2,56 (2,46; 2,65)	30,00 (27,00; 33,01)	0,30 (0,20; 0,40)

Примечания: ПДК – предельно-допустимая концентрация вредного вещества; НФП – нормативы физиологической полноценности воды; значимость различия относительно показателя г. Владивостока: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

В свою очередь, марганец следует считать загрязнителем питьевой воды только в г. Спасске-Дальнем (1,8 ПДК). Кремний является загрязнителем питьевой воды централизованных систем водоснабжения только в с. Ивановка (6,7 ПДК), городах Уссурийске (1,4 ПДК) и Дальнегорске (1,03 ПДК). В остальных районах наблюдения содержание марганца и кремния в водопроводной воде варьирует в широких пределах, но не превышает ПДК, утвержденных Роспотребнадзором.

Наиболее опасными для здоровья населения химическими веществами, изученными в данном исследовании, принято считать тетрахлорэтилен и хлороформ (канцерогенные хлорированные углеводороды [29]). Однако, несмотря на статистически значимые различия содержания этих веществ в разных населенных пунктах (см. табл. 1), их концентрации в водопроводной воде всех районов наблюдения существенно ниже их ПДК. Следует подчеркнуть, что в пос. Пограничный лабораторный контроль наличия тетрахлорэтилена и хлороформа в водопроводной воде не выполняется, так как для обеззараживания подземных вод на станции водоподготовки применяется только ультрафиолетовое облучение.

Вычисленные статистические пределы содержания кальция и магния в питьевой водопроводной воде в районах наблюдения напрямую отображают природные свойства вод источников Приморского края, классифицируемых как очень мягкие маломинерализованные [9]. По показателям физиологической полноценности только питьевая вода в г. Спасске-Дальнем полностью соответствует международным критериям. В остальных районах наблюдения отмечается дефицит кальция разной степени выраженности. Аналогичная ситуация выявлена и в отношении магния. На уровне нижнего предела физиологической полноценности для магния (5,0 мг/л) находятся водопроводная вода в г. Уссурийске и с. Ивановка (см. табл. 1).

Полученные показатели структуры суточного питьевого водопотребления юношей и девушек по районам наблюдения сведены в табл. 2. Установлено, что традиционное потребление простой питьевой и кипяченой воды из муниципальных водопроводов составляет не более 77,0 %. Обращает на себя внимание довольно существенный вклад доочищенной на индивидуальных фильтрах водопроводной воды (до 17,9 %) в суточное питьевое водопотребление. Во всех районах наблюдения на долю всех видов расфасованных вод приходится от 13,3 % (пгт. Пограничный, девушки) до 25,6 % (г. Владивосток, девушки).

Установленные в ходе одномоментного скрининга показатели умственной работоспособности подросткового населения (табл. 3) свидетельствуют, что наиболее дифференцированными по величине показателями в территориальном разрезе являются количественный показатель работоспособности ΔК и качественный показатель, характеризующий степень точности выполнения задания, ΔQ. Среди юношей значимые различия при сравнении с г. Владивостоком по величине ΔК имеют г. Дальнегорск (p = 0,011) и г. Спасск-Дальний (p = 0,043), среди девушек – с. Ивановка (p = 0,012) и пгт. Пограничный (p = 0,002). Показатель ΔQ характеризуется несколько иным территориальным распределением. Величины этого показателя у юношей городов Спасска-Дальнего (p = 0,033) и Уссурийска (p = 0,001) значимо отличаются от юношей Владивостока. У девушек такие различия установлены для жительниц городов Спасска-Дальнего (p = 0,009) и Лесозаводска (p = 0,007).

Величины показателей ΔОШ и ΔД у подростков в районах наблюдения статистически значимо не отличаются от аналогичных величин, полученных в г. Владивостоке (табл. 3).

Результаты корреляционного анализа влияния фактических суточных доз потребления химических

Таблица 2
Структура суточного питьевого водопотребления подросткового населения в районах наблюдения в 2017 году, %

Населенный пункт	Группа населения	Простая и кипяченая вода систем питьевого водоснабжения	Доочищенная вода систем питьевого водоснабжения	Расфасованные воды				Всего
				Питьевые и столовые		Лечебно-столовые и лечебные		
				< 0,3 г/л	> 0,3 г/л	< 4,0 г/л	> 4,0 г/л	
с. Ивановка	Юноши	62,5	7,7	11,2	5,5	7,6	5,5	100
	Девушки	57,7	12,3	10,6	5,1	9,6	4,7	100
пгт. Пограничный	Юноши	62,4	17,9	9,3	4,8	1,7	3,9	100
	Девушки	77,0	9,7	5,9	3,8	1,2	2,4	100
г. Дальнегорск	Юноши	76,9	7,1	4,3	4,0	4,0	3,7	100
	Девушки	76,2	9,4	7,3	3,7	1,9	1,6	100
г. Лесозаводск	Юноши	66,3	9,3	7,2	5,0	7,5	4,7	100
	Девушки	65,5	13,3	8,3	3,1	6,4	3,5	100
г. Спасск-Дальний	Юноши	69,6	9,6	10,2	4,3	4,4	1,9	100
	Девушки	67,3	9,5	9,0	3,3	6,9	4,0	100
г. Уссурийск	Юноши	69,3	8,2	7,5	3,7	8,0	3,2	100
	Девушки	67,7	11,0	9,8	2,8	4,0	4,7	100
г. Владивосток	Юноши	60,3	15,2	11,3	5,2	3,9	4,1	100
	Девушки	57,3	17,0	12,0	4,7	3,5	5,4	100

Таблица 3

Результаты одномоментного скрининга умственной работоспособности у подростков в районах наблюдения (в 8:50–10:30 8 и 9 февраля 2017 г.)

Населенный пункт	Показатель умственной работоспособности			
	ΔК	ΔОШ	ΔД	ΔQ
	Me (Q ₁ ; Q ₃)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	Me (Q ₁ ; Q ₃)
Юноши				
с. Ивановка	1,00 (0,95; 1,01)	0,96 (0,43; 1,37)	0,500 (0,001; 1,000)	1,26 (1,21; 1,34)
пгт. Пограничный	1,00 (0,90; 1,06)	0,98 (0,69; 2,20)	1,000 (0,500; 1,011)	1,16 (1,04; 1,21)
г. Дальнегорск	0,95 (0,76; 1,00)*	0,56 (0,41; 0,77)	0,001 (0,001; 0,560)	1,23 (1,12; 1,46)
г. Лесозаводск	1,08 (1,00; 1,15)	1,20 (0,52; 2,07)	0,001 (0,001; 0,500)	1,15 (1,02; 1,30)
г. Спасск-Дальний	1,10 (1,07; 1,20)*	0,85 (0,62; 1,31)	1,000 (0,001; 1,500)	1,27 (1,16; 1,35) *
г. Усурийск	1,00 (0,97; 1,14)	0,66 (0,47; 1,22)	0,001 (0,001; 1,000)	0,65 (0,61; 0,70) **
г. Владивосток	1,00 (0,99; 1,11)	1,00 (0,50; 2,43)	0,180 (0,001; 1,000)	1,11 (0,96; 1,35)
Девушки				
с. Ивановка	1,00 (0,99; 1,05)*	0,98 (0,36; 1,55)	0,001 (0,001; 0,001)	1,16 (1,06; 1,24)
пгт. Пограничный	1,00 (0,90; 1,06)**	1,50 (0,50; 2,00)	0,001 (0,001; 1,000)	1,16 (1,03; 1,35)
г. Дальнегорск	1,00 (0,78; 1,10)	0,77 (0,72; 1,33)	0,001 (0,001; 0,570)	1,21 (1,12; 1,28)
г. Лесозаводск	1,03 (1,00; 1,15)	1,09 (0,59; 2,55)	0,001 (0,001; 0,190)	1,20 (1,02; 1,29) **
г. Спасск-Дальний	1,06 (1,00; 1,08)	1,17 (0,90; 1,50)	0,500 (0,001; 1,000)	1,16 (1,04; 1,22) **
г. Усурийск	1,00 (0,93; 1,14)	1,00 (0,66; 2,25)	0,001 (0,001; 0,330)	1,14 (1,01; 1,22)
г. Владивосток	1,08 (1,06; 1,14)	1,00 (0,50; 1,40)	0,001(0,010; 1,000)	1,11 (0,99; 1,15)

Примечания: ΔК – показатель объема просмотренных знаков; Δ ОШ – показатель общих ошибок; ΔД – показатель ошибок на дифференцировку; Δ Q – коэффициент умственной продуктивности (степень точности выполнения задания); Me – медиана; Q₁ – нижний квартиль; Q₃ – верхний квартиль; значимость различия относительно показателя г. Владивостока: * – p < 0,05; ** – p < 0,01.

Таблица 4

Коэффициенты парной и многофакторной корреляции территориального распределения суточных доз потребления химических веществ подростками с питьевой водой (факторы воздействия) и уровней их умственной работоспособности в Приморском крае (n = 7)

Группа населения	Фактор воздействия	Элиминируемый фактор	Показатель работоспособности			
			ΔК	ΔОШ	ΔД	ΔQ
Юноши	Парный анализ (Rs)					
	Ca/Mg	–	0,18	–0,14	–0,29	0,54
	Si	–	–0,32	–0,64	0,26	0,64
	Mn	–	0,45	–0,11	0,28	0,11
	Fe	–	0,22	0,39	–0,62	–0,43
	Частный (парциальный) анализ (Rch)					
	Fe+Mn+Si	Ca/Mg	0,49	0,16	–0,17	0,47
	Fe+Mn+ Ca/Mg	Si	–0,74**	–0,66	–0,02	0,61
	Fe +Si+ Ca/Mg	Mn	–0,65	–0,31	–0,02	0,09
	Mn+Si+ Ca/Mg	Fe	0,08	–0,36	0,52*	0,33
Девушки	Парный анализ (Rs)					
	Ca/Mg	–	–0,11	–0,23	–0,20	0,86*
	Si	–	–0,24	–0,22	0,61	0,23
	Mn	–	0,32	0,13	0,61	–0,31
	Fe	–	0,37	–0,04	0,01	–0,09
	Частный (парциальный) анализ (Rch)					
	Fe+Mn+Si	Ca/Mg	0,84	0,13	0,64	0,82
	Fe+Mn+ Ca/Mg	Si	–0,88***	–0,48	–0,44	0,11
	Fe +Si+ Ca/Mg	Mn	0,88	–0,46	0,64	–0,22
	Mn+Si+ Ca/Mg	Fe	0,75	0,40	0,50 †	0,24

Примечание. * – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001; † – тенденция (p < 0,1).

веществ с изученными питьевыми водами на показатели умственной работоспособности подросткового населения Приморья представлены в табл. 4. В анализ включены только приоритетные загрязнители питьевой воды и парное соотношение биогенных элементов антагонистов – кальция и магния (Ca/Mg), максимально отображающее неблагоприятные

региональные свойства воды в физиологическом отношении [7]. Применение парной корреляции выявило только одну статистически значимую связь – прямую зависимость степени точности выполнения задания (ΔQ) у девочек (Rs = +0,86; p ≤ 0,01) от выраженности дисбаланса суточных доз кальция и магния, потребляемых с питьевыми водами.

Расчет коэффициентов частной корреляции позволил повысить избирательность статистического исследования. Он выявил высоко значимую обратную зависимость показателя объема просмотренных знаков (ΔK) у юношей ($R_{ch} = -0,74$; $p \leq 0,01$) и девушек ($R_{ch} = -0,87$; $p \leq 0,001$) от интенсивности комплексного воздействия железа, марганца и парного соотношения Ca и Mg (Ca/Mg) при элиминации маскирующего влияния кремния. Также установлена значимая прямая корреляция показателя ошибок на дифференцировку (ΔD) у девушек ($R_{ch} = +0,52$; $p \leq 0,05$) с комплексом марганца, кремния и Ca/Mg в водной среде при элиминации железа. У юношей эта связь также имеет прямую направленность, но характеризуется только тенденцией к статистической значимости ($R_{ch} = +0,50$; $p < 0,1$). Остальные коэффициенты парной и частной корреляции, перечисленные в табл. 4, не достигают уровня статистической значимости.

Обсуждение результатов

Умственная работоспособность является интегральной функцией организма человека, отображающей комплексное воздействие на него административных и бытовых [17], экономических, космофизических, геомагнитных и иных факторов внешней среды [3, 6], включая качество потребляемой питьевой воды. Реализация в данном исследовании метода одномоментного (сквозного) скрининга позволило существенно ослабить или устранить влияние большинства из этих факторов, выделив при этом непосредственное воздействие на подростковое население региона местных особенностей химического состава питьевой воды. Формальные статистически значимые связи между суточным потреблением химических веществ с питьевыми водами и уровнем умственной работоспособности (см. табл. 4), выявленные в ходе парного и многомерного корреляционного анализа, согласно декларированным выше критериям Хилла [23] имеют набор признаков, типичных для связей причинно-следственного характера. На данном этапе исследования эти показатели качества воды прежде всего нужно трактовать как донозологические факторы риска негативного влияния качества питьевой воды на здоровье подросткового населения региона.

Правомерность такого заключения подтверждается результатами опубликованных экспериментальных, клинических и популяционных научных исследований влияния на функциональное состояние нервной системы марганца [4, 5, 19, 25], магния [5, 11, 20, 26, 28], кальция [20, 26] и отчасти железа [5, 20, 27, 28] при различных путях и уровнях поступления в организм. Однако уровни воздействия марганца и железа в упомянутых работах были намного выше, чем в данном исследовании. Этим обстоятельством можно объяснить результаты парного корреляционного анализа, а именно отсутствие каких-либо статистически значимых связей между суточным потреблением марганца, железа и показателями умственной работоспособности подростков. Выяв-

ленное существенное превышение ПДК этих веществ в питьевой водопроводной воде Приморья не может ассоциироваться с выраженностью их токсических свойств, так как этот гигиенический норматив для марганца и железа базируется на органолептическом лимитирующем признаке, а не на санитарно-токсикологическом (СанПиН 2.1.4. 1074-01).

Очевидно, что в условиях Приморья ведущую роль в снижении умственной работоспособности у изученной группы населения играет дисбаланс и выраженный дефицит биогенных элементов магния и кальция в питьевой воде [30]. Это хорошо исследованный фактор воздействия малой интенсивности. Его влияние наглядно прослеживается по результатам многофакторной частной корреляции (см. табл. 4). Значимое влияние комплексов марганца и железа или марганца и кремния на умственную работоспособность проявляется только при учете в анализе Ca/Mg. Какого-либо статистически значимого влияния на изучаемый признак полного комплекса загрязнителей воды (Fe+Mn+Si) при элиминации Ca/Mg не наблюдается.

Установленная в ходе парного корреляционного анализа связь Ca/Mg с показателем ΔQ (степень точности выполнения задания у девочек) также подтверждает этот вывод. Известно, что в мягкой питьевой воде дисбаланс биогенных элементов кальция и магния способен усиливать вредный эффект химических загрязнителей [13], вероятно, путем ослабления конкурентных взаимоотношений марганца и железа, железа и кремния, кальция и кремния. Эти загрязнители воды являются природными антагонистами [1].

Вызывает беспокойство выявленный весомый (до 17,9 %) вклад в суточном потреблении подростков водопроводной воды, доочищенной на фильтрах-кувшинах без блока минерализации воды (см. табл. 2). Такая обработка мягкой маломинерализованной воды приводит к получению воды, по своим свойствам приближающейся к химическому составу дистиллированной [14, 18]. Рост суточного потребления доочищенной воды увеличит дисбаланс Ca/Mg в общем объеме потребляемых питьевых вод, что усилит неблагоприятное влияние водного фактора на здоровье подросткового населения в Приморском крае.

Выводы

1. Химический состав питьевых вод, потребляемых в Приморском крае, является реальным фактором риска снижения умственной работоспособности в подростковом возрасте, неблагоприятный эффект которого реализуется через дефицит и дисбаланс содержания кальция и магния на фоне загрязнения питьевой водопроводной воды марганцем, железом и природного избытка в ней кремния.

2. Структура питьевого водопотребления подростков Приморья характеризуется весомой долей доочищенной на индивидуальных фильтрах очень мягкой водопроводной воды, что является неблагоприятным фактором для здоровья населения в условиях дефицитной природной биогеохимической провинции.

Авторство

Ковальчук В. К. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, анализ и интерпретацию данных; выполнил редактирование окончательного варианта рукописи, присланной в редакцию; Ямилова О. Ю. внесла существенный вклад в сбор данных, выполнила систематизацию, статистический, гигиенический анализ данных и интерпретацию результатов исследования; подготовила текст статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Ковальчук Виктор Калинович – SPIN 4335-9279; ORCID 0000-0002-4179-7330

Ямилова Ольга Юрьевна – SPIN 8440-6787; ORCID 0000-0002-1623-8414

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Скальный А. В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: Изд-во КМК, 2001. 83 с.

2. Банержи А. Медицинская статистика понятным языком: вводный курс / пер. с англ. под ред. В. П. Леонова. М.: Практическая медицина, 2014. 287 с.

3. Власов В. В. Эпидемиология. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2004. 464 с.

4. Гайнутдинов М. Х., Тарасов О. Ю., Калининкова Т. Б. О влиянии марганца из питьевой воды на функции ЦНС у взрослых и детей // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2016. № 4. URL: <http://apriori-journal.ru/journal-estevennnie-nauki/id/1318> (дата обращения: 26.10.2019).

5. Давыдова Н. О., Нотова С. В., Кван О. В. Влияние элементного статуса организма на когнитивные функции // Микроэлементы в медицине. 2014. Т. 15, № 3. С. 3–9.

6. Кикун П. Ф., Бениова С. Н., Гельцер Б. И. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека: монография / науч. ред. Хотимченко Ю. С. Владивосток: Изд-во ДФУ, 2017. 390 с.

7. Ковальчук В. К., Иванова И. Л. Роль окружающей среды в возникновении неинфекционных заболеваний пищеварительной системы в Приморском крае. Владивосток: Медицина ДВ, 2013. 100 с.

8. Ковальчук В. К., Иванова И. Л., Колдаев В. М. Роль окружающей среды в возникновении неинфекционных заболеваний пищеварительной системы в Приморском крае // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 10–15.

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

10. Ковальчук В. К., Ямилова О. Ю., Саенко А. Г. Структура суточного потребления питьевых вод подростковым населением Приморского края в 2012 и 2015 годах // Здоровье населения и среда обитания. 2017. № 6. С. 32–34.

11. Копицына У. Е., Гришина Т. Р., Торшин И. Ю., Калачева А. Г., Громова О. А. Сверхнизкий уровень магния в эритроцитах как значимый фактор патогенеза пограничных психических расстройств // Журнал неврологии и психиатрии. 2015. № 11. С. 85–96.

12. Минеральные воды Дальнего Востока: справочник / сост. Челнокова Б. И. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2006. 108 с.

13. Плитман С. И. Методологические аспекты оптимизации санитарных условий водопользования населения восточных и северных районов РСФСР: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 1990. 42 с.

14. Поляков В. Ю., Ревуцкая И. Л., Суриц О. В. Усугубление дефицита кальция и магния в питьевой воде

Биробиджана при ионообменной деферризации // Экология человека. 2016. № 9. С. 3–14.

15. Руководство к лабораторным занятиям по гигиене детей и подростков / Кардашенко В. И., Кондакова-Варламова Л. П., Прохорова М. В., Стромская Е. П., Степанова З. Ф.; под ред. В. Н. Кардашенко, 3-е изд. М.: Медицина, 1983. 264 с.

16. Славин М. Б. Методы системного анализа в медицинских исследованиях. М.: Медицина, 1989. 304 с.

17. Ставцева В. В. Динамика умственной работоспособности учащихся 4–11 классов на уроках в течение учебного дня и недели // Научные ведомости. Серия: Естественные науки. 2012. № 3. С. 166–174.

18. Ямилова О. Ю., Ковальчук В. К. Среднеэксплуатационный коэффициент очистки фильтров-кувшинов «Аквафор» в природно-климатических условиях Приморского края // Материалы XIV Тихоокеанского медицинского конгресса с международным участием, г. Владивосток, 20–22 сентября 2017 г. Владивосток: Медицина ДВ, 2017. С. 121–123.

19. Bjorklund G., Chartrand M. S., Aaseth J. Manganese exposure and neurotoxic effects in children // Environmental Res. 2017. Vol. 155. P. 380–384.

20. Cherbuin N., Kumar R., Sachdev P. S., Anstey K. J. Dietary mineral intake and risk of mild cognitive impairment: the PATH through life project // Front Aging Neurosci. 2014. Vol. 6, N 4. P. 1–8.

21. Koval'chuk V. K. Estimate of the providing of iron in adolescents consuming tap water with increased iron content // Am. J. Environmental Protection. 2019. Vol. 8, N 1. P. 17–21.

22. Kozisek F. Health risks from drinking demineralised water // Nutrients in drinking water. Geneva: WHO, 2005. P. 148–163.

23. Lucas R. M., McMichael A. J. Association or causation: evaluating links between «environment and disease» // Bull. World Health Organ. 2005. Vol. 83, N 10. P. 792–795.

24. Olivares M., Uauy R. Essential nutrients in drinking water // Nutrients in drinking water. Geneva: WHO, 2005. P. 41–60.

25. Oulhote Y., Mergler D., Barbeau B., Bellinger D. C., Bouffard T., Brodeur M. E., Saint-Amour D., Legrand M., Sawé S., Bouchard M. F. Neurobehavioral function in school-age children exposed to manganese in drinking water // Environ Health Perspect. 2014. Vol. 122, N 12. P. 1343–1350.

26. Ozawa M., Ninomiya T., Ohara T., Hirakawa Y., Doi Y., Hata J. Self-reported dietary intake of potassium, calcium, and magnesium and risk of dementia in the Japanese: the Hisayama study // J. Am. Geriatr. Soc. 2012. Vol. 60, N 8. P. 1515–1520.

27. Penke L., Hernández M. C., Maniega S., Gow A. J., Murray C., Starr J. M., Bastin M. E., Deary I. J., Wardlaw J. M. Brain iron deposits are associated with general cognitive ability and cognitive aging // Neurobiol. Aging. 2012. Vol. 33, N 3. P. 510–517.

28. Wang C.-T., Li Y. J., Wang F.-J., Shi Y.-M., Lee B.-T. Correlation between the iron, magnesium, potassium and zinc content in adolescent girls' hair and their academic records // Chang Gung Med J. 2008. Vol. 31, N 4. P. 358–363.

29. World Health Organization. Guidelines for drinking water quality. 4-th ed. Geneva: WHO, 2011. 541 p.

30. World Health Organization. Nutrients in drinking water. Geneva: WHO, 2005. 196 p.

References

1. Agadzhanian N. A., Skal'nyi A. V. *Chemical elements in the environment and ecological portrait of man*. Moscow, 2001, 83 p. [in Russian]

2. Banerzhi A. *Medical statistics in plain language: introductory course*. Translation from English, ed. by V. P. Leonova. Moscow, Practical medicine Publ., 2014, 287 p. [In Russian]
3. Vlasov V. V. *Epidemiologiya* [Epidemiology]. Moscow, GEOTAR-MED Publ., 2004, 464 p.
4. Gainutdinov M. Kh., Tarasov O. Yu., Kalinnikova T. B. On the influence of manganese in drinking water on the CNS function of adults and children. *Electronic Scientific Journal APRIORI*. Series: Natural and Technical Sciences. 2016, 4. Available at: <http://apriori-journal.ru/journal-estestvennie-nauki/id/1318> (accessed 26.10.2019). [In Russian]
5. Davydova N. O., Notova S. V., Kvan O. V. The effect of the elemental status of an organism on cognitive functions. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2014, 1, pp. 3-9. [In Russian]
6. Kiku P. F., Beniova S. N., Gel'tser B. I. (nauch. red.). *Sreda obitaniya i ekologozavisimye zabolovaniya cheloveka* [Habitat and environmentally dependent human diseases]. Ed. Yu. S. Khotimchenko. Vladivostok, 2017, 390 p.
7. Koval'chuk V. K., Ivanova I. L. *Rol' okruzhayushchei sredy v vozniknovenii neinfektsionnykh zabolovaniy pishchevaritel'noi sistemy v Primorskom krae* [Role of the environment in the occurrence of noninfectious diseases of the digestive tract in the Primorsky Territory]. Vladivostok, 2013, 100 p.
8. Koval'chuk V. K., Ivanova I. L., Koldaev V. M. Role of the environment in the occurrence of noninfectious diseases of the digestive tract in the Primorsky Territory. *Gigiena i sanitariya*. 2011, 3, pp. 10-15. [In Russian]
9. Koval'chuk V. K., Maslov D. V. Hygienic problems of the chemical compound of drinking water of water systems of Primorye. *Tikhookeanskii meditsinskii zhurnal* [Pacific Medical Journal]. 2006, 3, pp. 60-63. [In Russian]
10. Koval'chuk V. K., Yamilova O. Yu., Saenko A. G. The structure of drinking water daily consumption of adolescent population in the Primorsky Territory in 2012 and 2015. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Life Environment]. 2017, 6, pp. 32-34. [In Russian]
11. Kopitsyna U. E., Grishina T. R., Torshin I. Yu., Kalacheva A. G., Gromova O. A. Very low magnesium levels in red blood cells as a significant factor in the etiopathogenesis of borderline disorders. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiiatrii imeni S. S. Korsakova*. 2015, 11, pp. 85-96. [In Russian]
12. *Reference-book: Mineral water of the Far East*. Chelnokova B. I. Vladivostok, Far East University Publ., 2006, 108 p. [In Russian]
13. Plitman S. I. *Metodologicheskie aspekty optimizatsii sanitarnykh uslovii vodopol'zovaniya naseleniya vostochnykh i severnykh raionov RSFSR (avtor'ef. dokt. diss.)* [Methodological aspects of optimizing sanitary conditions for water use of the population in the Eastern and Northern regions of the RSFSR. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Moscow, 1990, 42 p.
14. Polyakov V. Yu., Revutskaya I. L., Surits O. V. Aggravation of calcium and magnesium deficiency in drinking water of Birobidzhan in ion-exchange process of deferrization. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 9, pp. 3-14. [In Russian]
15. *Guide to laboratory classes on the hygiene of children and adolescents*. Kardashenko V. I., Kondakova-Varlamova L. P., Prokhorova M. V., Stromskaya E. P., Stepanova Z. F.; ed. V. N. Kardashenko. Moscow, Medicine Publ., 1983, 264 p. [In Russian]
16. Slavin M. B. *Metody sistemnogo analiza v meditsinskikh issledovaniyakh* [System analysis methods in medical research]. Moscow, Medicine Publ., 1989, 304 p.
17. Stavtseva V. V. Dynamics of mental performance of pupils of 4-11 classes in the classroom during the school day and week. *Nauchnye vedomosti. Seriya: Estestvennye nauki* [Scientific. Series: Natural Sciences]. 2012, 3, pp. 166-174. [In Russian]
18. Yamilova O. Yu., Koval'chuk V. K. Sredneekspluatatsionnyi koeffitsient ochestki fil'trov-kuvshinov «Akvafor» v prirodno-klimaticheskikh usloviyakh Primorskogo kraya [The average operational coefficient of the home jug filter «Aquaphor» in natural and climatic conditions of the Primorsky Territory]. In: *Materialy XIV Tikhookeanskogo meditsinskogo kongressa s mezhdunarodnym uchastiem, Vladivostok, 20-22 sentyabrya 2017* [Proceedings of the XIV Pacific Med. Congr. with int. participation, Vladivostok, September 20-22, 2017]. Vladivostok, 2017, pp. 121-123.
19. Bjorklund G., Chartrand M. S., Aaseth J. Manganese exposure and neurotoxic effects in children. *Environmental Res.* 2017, 155, pp. 380-384.
20. Cherbuin N., Kumar R., Sachdev P. S., Anstey K. J. Dietary mineral intake and risk of mild cognitive impairment: the PATH through life project. *Front Aging Neurosci.* 2014, 6 (4), pp. 1-8.
21. Koval'chuk V. K. Estimate of the providing of iron in adolescents consuming tap water with increased iron content. *Am. J. Environmental Protection.* 2019, 8 (1), pp. 17-21.
22. Kozisek F. Health risks from drinking demineralised water. *Nutrients in drinking water*. Geneva, WHO, 2005, pp. 148-163.
23. Lucas R. M., McMichael A. J. Association or causation: evaluating links between «environment and disease». *Bull. World Health Organ.* 2005, 83 (10), pp. 792-795.
24. Olivares M., Uauy R. Essential nutrients in drinking water. *Nutrients in drinking water*. Geneva, WHO, 2005, pp. 41-60.
25. Oulhote Y., Mergler D., Barbeau B., Bellinger D. C., Bouffard T., Brodeur M. E., Saint-Amour D., Legrand M., Sauvé S., Bouchard M. F. Neurobehavioral function in school-age children exposed to manganese in drinking water. *Environ Health Perspect.* 2014, 122 (12), pp. 1343-1350.
26. Ozawa M., Ninomiya T., Ohara T., Hirakawa Y., Doi Y., Hata J. Self-reported dietary intake of potassium, calcium, and magnesium and risk of dementia in the Japanese: the Hisayama study. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2012, 60 (8), pp. 1515-1520.
27. Penke L., Hernández M. C., Maniega S., Gow A. J., Murray C., Starr J. M., Bastin M. E., Deary I. J., Wardlaw J. M. Brain iron deposits are associated with general cognitive ability and cognitive aging. *Neurobiol. Aging.* 2012, 33 (3), pp. 510-517.
28. Wang C.-T., Li Y. J., Wang F.-J., Shi Y.-M., Lee B.-T. Correlation between the iron, magnesium, potassium and zinc content in adolescent girls' hair and their academic records. *Chang Gung Med J.* 2008, 31 (4), pp. 358-363.
29. World Health Organization. *Guidelines for drinking water quality*. 4-th ed. Geneva, WHO, 2011, 541 p.
30. World Health Organization. *Nutrients in drinking water*. Geneva, WHO, 2005, 196 p.

Контактная информация:

Ямилова Ольга Юрьевна – аспирант, ассистент кафедры гигиены ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Адрес: 690002, г. Владивосток, пр-т Острякова, д. 2
E-mail: olichyamila82@gmail.com