

© Батырова Г.А., Умарова Г.А., Умаров Е.А., Кудабаяева Х.И., Тлегенова Ж.Ш., Кононец В.И., Айтмаганбет П.Ж., 2021

УДК 616-036:611.781:661.65(574.1)

Ассоциация содержания бора в волосах с показателями заболеваемости в борной геохимической провинции: поперечное исследование

Г.А. Батырова, Г.А. Умарова, Е.А. Умаров, Х.И. Кудабаяева,
Ж.Ш. Тлегенова, В.И. Кононец, П.Ж. Айтмаганбет

НАО «Западно-Казахстанский медицинский университет имени Марата Оспанова»,
ул. Маресьева, д. 68, Актобе, 030019, Республика Казахстан

Резюме. Введение. В Актыбинской области (Западный Казахстан) сформировалась устойчивая природно-техногенная борная геохимическая провинция, характеризующаяся повышенным содержанием в среде микроэлемента бора. Основным источником поступления бора в окружающую среду являются шламонакопители борнокислотного производства ныне разрушенного химического завода, построенные без противодиффузионных экранов в бывших старицах реки Илек, а также в пойме реки на аллювиальных четвертичных песчано-гравийных отложениях, имеющих высокую проницаемость. Цель исследования: составить карту содержания бора в волосах жителей Актыбинской области (Западный Казахстан) и изучить его связь с показателями заболеваемости взрослого населения. Материалы и методы. В настоящее исследование вовлечены 340 человек в возрасте 18–60 лет, постоянно проживающие в Актыбинской области. Содержание бора в образцах волос оценивали с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Nexion 300D (PerkinElmer Inc., США), оборудованном пробоотборником ESI SC-2 DX4 (Elemental Scientific Inc., USA). Карта была составлена с помощью кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS (QGIS 3.18). Результаты. Карта борного статуса жителей региона визуально продемонстрировала неравномерное распределение содержания бора в волосах жителей области. Содержание бора в волосах значительно выше у мужчин, чем у женщин ($p = 0,000$). Установлена прямая сильная корреляционная связь содержания бора с показателями заболеваемости, связанной с врожденными аномалиями и хромосомными нарушениями ($r = 0,886$, $p = 0,019$), болезнями мочеполовой системы ($r = 0,829$, $p = 0,042$), болезнями органов дыхания ($r = 0,943$, $p = 0,005$), болезнями органов пищеварения ($r = 0,878$, $p = 0,021$), болезнями крови, кроветворных органов и иммунной системы ($r = 0,880$, $p = 0,017$). Заключение. Составлена карта содержания бора в волосах жителей Актыбинской области (Западный Казахстан), визуально демонстрирующая неравномерное распределение борного статуса на изучаемой территории. Выявленные ассоциации содержания бора в волосах жителей борной геохимической провинции с показателями заболеваемости в регионе подтверждают предположение о том, что экологические особенности среды могут оказывать влияние на здоровье населения, что требует дальнейших глубоких исследований.

Ключевые слова: бор, борная провинция, заболеваемость населения, дисбаланс микроэлементов, карта, Западный Казахстан.

Для цитирования: Батырова Г.А., Умарова Г.А., Умаров Е.А., Кудабаяева Х.И., Тлегенова Ж.Ш., Кононец В.И., Айтмаганбет П.Ж. Ассоциация содержания бора в волосах с показателями заболеваемости в борной геохимической провинции: поперечное исследование // Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 6 (339). С. 41–47. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-339-6-41-47>

Информация об авторах:

✉ Батырова Гульнара Арыстангалиевна – PhD, руководитель кафедры клинической лабораторной и визуальной диагностики; e-mail: batyrovagulnara77@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7970-4059>.

Умарова Гульмира Арыстангалиевна – м.м.н., преподаватель кафедры доказательной медицины и научного менеджмента; e-mail: uga_80@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7637-113X>.

Умаров Ескендир Арыстангалиевич – м.е.н., программист; e-mail: ce_aquarius@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5661-4023>.

Кудабаяева Хатима Ильясовна – профессор кафедры внутренних болезней № 1; e-mail: hatima_aktobe@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5508-916X>.

Тлегенова Женисгуль Шимбулатовна – PhD, доцент кафедры внутренних болезней № 2; e-mail: zhenisgultlegenova@yandex.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3707-7365>; SPIN 8403-4695.

Кононец Виктория Ивановна – преподаватель кафедры ЕНД; e-mail: micropaleontolog@yandex.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4666-6794>.

Айтмаганбет Перизат Жаксыбаевна – м.м.н., мл. науч. сотр. Научно-практического центра; e-mail: piki.kz@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1958-0493>.

The Association between Hair Levels of Boron and Disease Incidence in the Population of a Boron Geochemical Province: A Cross-Sectional Study

G.A. Batyrova, G.A. Umarova, Ye.A. Umarov, Kh.I. Kudabayeva, Zh.Sh. Tlegenova, V.I. Kononets, P.Zh. Aitmagambet
West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, 68 Maresyev Street, Aktobe, 030019, Republic of Kazakhstan

Summary. Background: A stable natural and technogenic boron geochemical province characterized by high environmental levels of boron has formed in the Aktobe Region of West Kazakhstan. The main local source of boron is sludge collectors of the boric acid production of the now destroyed chemical plant, built without impervious screens in the former old channels of the Ilek River, as well as in the river floodplain on alluvial quaternary sand and gravel deposits with high permeability. The objective of the study was to map hair levels of boron in residents of the Aktobe Region and to establish their relationship with disease incidence of the adult population. Materials and methods: The study included 340 permanent residents of the Aktobe Region, Republic of Kazakhstan, aged 18–60. Hair boron levels were measured by inductively coupled plasma mass spectrometry using a Nexion 300D spectrometer (PerkinElmer Inc., USA) coupled with an ESI SC-2 DX4 sampler (Elemental Scientific Inc., USA). Mapping was performed using the QGIS cross-platform geographic information system (QGIS 3.18). Results: The map of the boron status of the study participants visually demonstrated the uneven distribution of hair boron concentrations in the inhabitants of the region. Hair levels of boron were significantly higher in men than in women ($p = 0,000$). We established a strong direct correlation between hair levels of boron and the incidence of congenital anomalies and chromosomal abnormalities ($r = 0,886$, $p = 0,019$), diseases of the genitourinary system ($r = 0,829$, $p = 0,042$), respiratory diseases ($r = 0,943$, $p = 0,005$), diseases of the digestive system ($r = 0,878$, $p = 0,021$), diseases of the blood, hematopoietic organs and the immune system ($r = 0,880$, $p = 0,017$). Conclusion: The mapping of hair levels of boron in the residents of the Aktobe Region of West Kazakhstan gave a visual demonstration of the uneven distribution of environmental pollution with boron in the study area. The revealed relationships between boron concentrations in hair tissue and disease incidence in the boric geochemical province confirm the assumption that the ecological features of the environment can affect the health of the population, which requires further in-depth research.

Keywords: boron, boric province, population morbidity, imbalance of trace elements, map, West Kazakhstan.

For citation: Batyrova GA, Umarova GA, Umarov YeA, Kudabayeva KH, Tlegenova ZhSh, Kononets VI, Aitmagambet PZh. The association between hair levels of boron and disease incidence in the population of a boron geochemical province: a cross-sectional study. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021; (6(339)):41–47. (In Russian). doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-339-6-41-47>

Author information:

✉ Gulnara A. **Batyrova**, PhD, Head of the Department of Clinical Laboratory and Visual Diagnostics, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University; e-mail: batyrovagulnara77@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7970-4059>.
 Gulmira A. **Umarova**, M.Sc., Lecturer, Department of Evidence-Based Medicine and Scientific Management, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University; e-mail: uga_80@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7637-113X>.
 Yeskendir A. **Umarov**, M.Sc., programmer, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University; e-mail: ce_aquarius@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5661-4023>.
 Khatimya I. **Kudabayeva**, Professor, Department of Internal Medicine No. 1, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University; e-mail: hatima_aktobe@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5508-916X>.
 Zhenisgul Sh. **Tlegenova**, PhD, Associate Professor, Department of Internal Medicine No. 2, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University; e-mail: zhenisgultlegenova@yandex.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3707-7365>.
 Victoria I. **Kononets**, Lecturer, Department of Natural Sciences, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University; e-mail: micropaleontolog@yandex.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4666-6794>.
 Perizat Zh. **Aitmaganbet**, M.Sc., Junior Research Scientist, Scientific and Practical Center, West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University; e-mail: piki.kz@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1958-0493>.

Введение. Здоровье населения, являясь мерой социально-экономического, культурного и индустриального развития страны, зависит от множества факторов, основным из которых является влияние окружающей среды [1]. Для нормальной жизнедеятельности и сохранения здоровья организму необходимы микроэлементы (МЭ) – жизненно важные компоненты, участвующие в реализации основных функций организма [2, 3]. Хроническое воздействие токсических концентраций МЭ повышает риск развития заболеваний и может привести ко вторичной недостаточности питания [4].

Актюбинская область Республики Казахстан представляет собой крупный промышленный регион, наибольшее развитие в котором получили горнодобывающая и химическая отрасли, а также черная металлургия. Негативное воздействие на окружающую среду в регионе оказывают предприятия по добыче и переработке хрома, нефти и газа. В области образовалась устойчивая природно-техногенная борно-хромовая геохимическая провинция, характеризующаяся повышенным содержанием в среде микроэлементов бора и хрома [5, 6].

Важнейшей экологической проблемой региона является загрязнение бором подземных вод долины трансграничной реки Илек [7]. Основным источником поступления бора в окружающую среду являются шламонакопители борнокислотного производства Актюбинского химического завода им. С.М. Кирова, построенные без противотрационных экранов в бывших старицах реки Илек, а также в пойме реки на аллювиальных четвертичных песчано-гравийных отложениях, имеющих высокую проницаемость¹. Загрязнение окружающей среды бором началось в 1941 году с вводом в эксплуатацию химического завода по производству удобрений, который на протяжении более двадцати лет сбрасывал загрязненные промышленные сточные воды в реку Илек, а в 1964–1980 гг. осуществлял сброс загрязненных стоков в шламонакопители без противотрационного экрана². В период перестройки (80-е годы XX века) завод перестал функционировать, в настоящее время он разрушен, но

отходы производства находятся на территории Актюбинской области. Работы по локализации объекта загрязнения бором ведутся медленно. По данным Комитета экологического регулирования и контроля МЭ РК, общая площадь распространения загрязненных бором подземных вод составляет на сегодняшний день 21,1 кв. км³.

Известно, что бор является условно-эссенциальным микроэлементом [8]. Он играет важную роль в некоторых биологических процессах, демонстрирует различные плеiotропные эффекты – от противовоспалительных и антиоксидантных до модуляции различных систем организма. Дефицит бора связан с нарушением иммунитета, остеопорозом и снижением когнитивных функций, в то время как высокий уровень оказывает токсическое действие, вызывая повреждение клеток у животных и человека [9]. Установлены эмбриотоксические свойства и репродуктивная токсичность соединений бора [10].

Цель: составить карту содержания бора в волосах жителей Актюбинской области (Западный Казахстан) и изучить его связь с показателями заболеваемости взрослого населения.

Материалы и методы исследования. Одномomentное поперечное исследование проводилось на территории Актюбинской области (Западный регион Республики Казахстан). Исследование одобрено Биоэтической комиссией (протокол № 5 от 13.05.2020). Анализ проведен в соответствии с принципами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice). Получено информированное согласие участников исследования.

Критерии исключения в исследовании: острые состояния, связанные с инфекционными, хирургическими и травматическими заболеваниями; хронические декомпенсированные соматические заболевания; наличие металлических имплантатов; потребление витаминно-минеральных добавок; беременность, лактация.

В настоящее исследование было вовлечено 340 участников в возрасте 18–60 лет, постоянно проживающих в Актюбинской области. Отбор для включения в исследование проводился

¹ Информация о состоянии экологии Актюбинской области и мерах, принимаемых по уменьшению загрязнения. Управление природных ресурсов и регулирования природопользования Актюбинской области. Доступно 10 апреля, 2021. <https://www.gov.kz/memleket/entities/aktobe-zher-paidalanuy/press/article/details/23736?lang=ru>

² Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2013 год (обзор водного компонента информационного бюллетеня Министерства охраны окружающей среды, РГП «КАЗГИДРОМЕТ», Департамента экологического мониторинга «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2013 год») http://www.sawater-info.net/water_quality_in_ca/files/water_quality_kz_2013_r.pdf

³ Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2017 год. <http://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2018/12/CA.D.199-Nacionalnyj-doklad-o-sostojanii-okruzhajushhej-sredy-i-ob-ispolzovanii-prirodnih-resursov-RK-za-2017-god.pdf>

методом случайной выборки в общественных местах, с учетом критериев исключения. В исследование включено 110 (32,4 %) мужчин и 230 (67,6 %) женщин. Средний возраст участников исследования составил $44,60 \pm 12,24$ лет, рост – $166,02 \pm 8,11$ см, вес – $71,59 \pm 13,36$ кг, индекс массы тела (ИМТ) – $25,98 \pm 4,56$. Характеристика выборки представлена в табл. 1.

Оценка заболеваемости взрослого населения проводилась за 2019 год по официальным статистическим данным, представленными Республиканским центром электронного здравоохранения Министерства здравоохранения Республики Казахстан и медицинских организаций⁴. Заболеваемость была изучена по классам МКБ-10⁵. Расчет показателей заболеваемости проводился на 100 тыс. населения.

Пробы волос в количестве 0,1 г были взяты с затылочной области при помощи ножниц из нержавеющей стали. Содержание бора в полученных образцах волос оценивали с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Nexion 300D (PerkinElmer Inc., США), оборудованном пробоотборником ESI SC-2 DX4 (Elemental Scientific Inc., USA). Калибровка системы проведена с использованием набора стандартов Universal Data Acquisition Standards Kit (PerkinElmer Inc., США). Внутренняя онлайн-стандартизация выполнялась с использованием раствора изотопа Иттрий-89, полученного из Yttrium (Y) Pure Single-Element Standard (PerkinElmer Inc., США). Стандартным образцом служил сертифицированный стандартный образец

волос человека GBW09101 «Human hair», выпущенный Шанхайским институтом ядерных исследований (Shanghai Institute of Nuclear Research, PR China).

Карта содержания бора в волосах жителей Актыбинской области составлена с помощью кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS (QGIS 3.18). Векторные данные были взяты из открытых источников. Цветовое значение легенды обозначено по показателям медианы содержания бора в волосах (Me (мкг/г)).

Полученные данные обработаны с использованием программного обеспечения Statistica 10 (США). Распределение данных оценивали с помощью теста Шапиро – Уилка. Описательная статистика проведена с использованием медианы и интерквартильного размаха – 25-го и 75-го перцентиля (Me (25–75)). Для групповых сравнений использовался тест Манна – Уитни. Для корреляционного анализа использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Уровень значимости определен как $p < 0,05$.

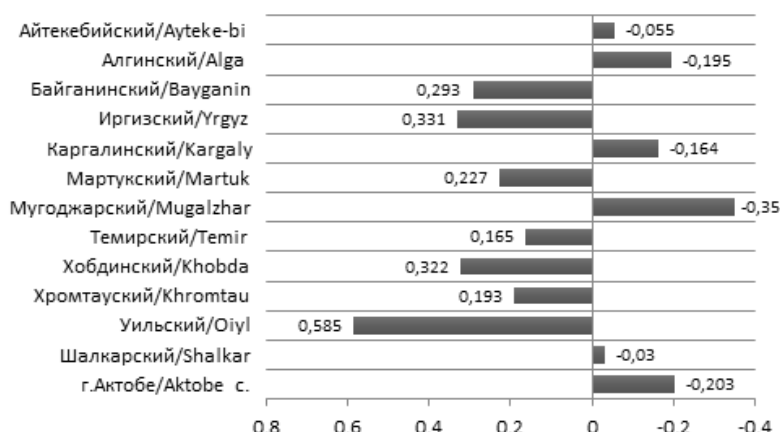
Результаты. Содержание бора в волосах (Me (q25–q75)) жителей Актыбинской области составило 1,271 (0,847–1,932) мкг/г.

Детальный анализ значений содержания бора в волосах жителей по районам Актыбинской области показал неоднородность полученных данных. В подавляющем большинстве районов содержание бора в волосах превысило показатель среднего значения по области (рис. 1).

Наиболее высокая концентрация бора в волосах определена у жителей Уильского района 1,856 (1,268–3,015) мкг/г. Несмотря на

Таблица 1. Характеристика обследованной выборки Актыбинской области (Западный Казахстан)
Table 1. Characteristics of the surveyed sample of the Aktobe Region (West Kazakhstan)

Пол / Gender	Возраст, лет / Age, years	Рост, см / Height, cm	Вес, кг / Weight, kg	ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²
	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD
Мужчины / Men (n = 110)	40,75 ± 14,15	172,69 ± 7,02	78,07 ± 13,56	26,19 ± 4,30
Женщины / Women (n = 230)	46,44 ± 10,76	162,83 ± 6,51	68,49 ± 12,13	25,88 ± 4,68



Примечания: значения данных по отношению к среднему по региону.
Note: data values are relative to the regional average

Рис. 1. Разница в содержании бора (мкг/г) в волосах жителей районов по отношению к среднему в регионе
Fig. 1. The difference between hair levels of boron (μg/g) in the inhabitants of various districts and the regional average

⁴ Форма № 12 «Отчет о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания медицинской организации, и контингентах больных, состоящих под диспансерным наблюдением».

⁵ Международная классификация болезней (МКБ-10) <https://mkb-10.com/>

локализацию борсодержащих отходов производства на территории Алгинского района, загрязнение ими реки Илек, которая используется в водном хозяйстве города Актобе, содержание бора у населения Алгинского района составило 1,076 (0,619–1,295) мкг/г. В волосах жителей города Актобе содержание бора определялось в концентрации 1,068 (0,586–1,566) мкг/г, что сравнительно ниже, чем в других районах области. Данный факт требует дальнейших глубоких исследований.

В пределах области содержание бора в волосах жителей неоднородно и составляет в Байганинском районе 1,564 (1,236–2,301) мкг/г, в Иргизском 1,602 (0,835–2,328) мкг/г, Мартукском 1,498 (1,256–2,375) мкг/г, Хобдинском 1,593 (0,741–2,015) мкг/г. В Темирском районе содержание бора в волосах составляет 1,436 (1,057–1,920) мкг/г, в Хромтауском

1,464 (0,985–2,136) мкг/г, в Айтекебийском 1,216 (0,903–1,957) мкг/г, в Шалкарском 1,241 (0,789–1,599) мкг/г, в Каргалинском 1,107 (0,918–1,572) мкг/г, Мугоджарском 0,921 (0,527–1,419) мкг/г.

По результатам анализа борного статуса жителей региона была составлена карта содержания бора в волосах, которая визуальнo продемонстрировала его неравномерное распределение в пределах области (рис. 2).

Анализ полученных данных с учетом половой принадлежности обследуемых выявил различия по содержанию бора в волосах между мужчинами и женщинами. При сравнительном анализе содержания бора в группах мужчин и женщин наблюдается статистически значимая разница. Содержание бора в волосах значительно выше у мужчин ($p = 0,000$) (рис. 3). Наиболее значимая разница по содержанию бора между

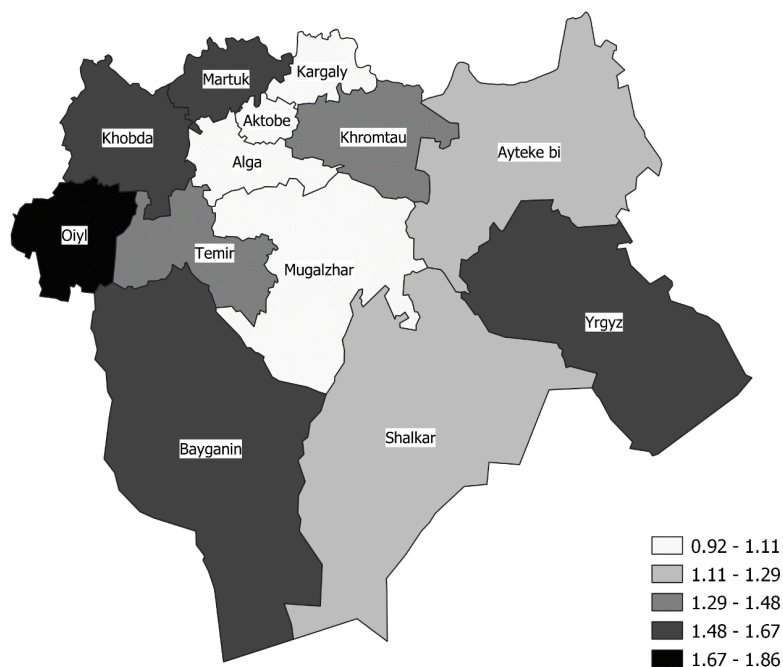


Рис. 2. Карта содержания бора в волосах жителей Актюбинской области (Западный Казахстан)
Fig. 2. The map of hair concentrations of boron ($\mu\text{g/g}$) in residents of the Aktobe Region, West Kazakhstan

Возраст/age	Мужчины/Male	Женщины/Female
18-25 лет	1,430	0,994
	$p=0.000$	
26-35 лет	1,969	1,319
	$p=0.000$	
36-45 лет	1,856	1,156
	$p=0.000$	
46-55 лет	2,784	1,235
	$p=0.000$	
56-60 лет	2,774	1,272
	$p=0.000$	
Всего	1,905	1,062
	$p=0.000$	

Примечания: p – уровень значимости различий с помощью критерия Манна – Уитни U.
Note: p – statistical significance of differences (Mann-Whitney U-test)

Рис. 3. Содержание бора в волосах жителей Актюбинской области (Западный Казахстан) с учетом пола и возраста, Ме (мкг/г)

Fig. 3. Hair concentrations of boron ($\mu\text{g/g}$) in residents of the Aktobe Region, West Kazakhstan, by gender and age

мужчинами и женщинами выявлена в возрастных категориях 46–55 лет и 56–60 лет.

Корреляционный анализ показал слабую положительную связь содержания бора в волосах с ИМТ ($r = 0,293$, $p = 0,000$), среднюю отрицательную связь с полом ($r = -0,449$, $p = 0,000$), однако корреляция с возрастом не является статистически значимой ($r = 0,050$, $p = 0,356$).

Установлена прямая сильная корреляционная связь содержания бора в волосах с заболеваемостью, связанной с врожденными аномалиями и хромосомными нарушениями ($r = 0,886$, $p = 0,019$), болезнями мочеполовой системы ($r = 0,829$, $p = 0,042$), болезнями органов дыхания ($r = 0,943$, $p = 0,005$), болезнями органов пищеварения ($r = 0,878$, $p = 0,021$), болезнями крови, кроветворных органов и иммунной системы ($r = 0,880$, $p = 0,017$).

Обсуждение. Нами выявлена разница между содержанием бора в волосах у мужчин 1,905 (1,330–2,899) мкг/г и женщин 1,062 (0,636–1,477) мкг/г всех возрастов. Уровень бора у мужчин значительно выше, чем у женщин ($p = 0,000$). Наши данные согласуются с данными Prejac J. et al. (2018), согласно которым у 727 практически здоровых субъектов референтный диапазон концентрации бора в волосах для мужчин был значительно выше, чем для женщин [11].

Известно, что бор является биоактивным элементом, оказывающим влияние на рост костей и функции центральной нервной системы, он способствует действию стероидных гормонов и гормонов щитовидной железы и положительно связан со снижением риска некоторых типов рака. Бор участвует во многих биохимических процессах за счет образования борных эфиров в биомолекулах, содержащих цис-гидроксильные группы (S-аденозилметионин, диаденозинфосфаты и НАД), а также может образовывать борозфирные комплексы с фосфоинозитидами, гликопротеинами и гликолипидами, влияющими на целостность и функции клеточной мембраны [12].

Низкое потребление бора приводит к ухудшению состояния костной ткани, снижению когнитивных функций и иммунного ответа

[13]. В то же время высокие токсические дозы оказывают неблагоприятное действие на здоровье человека [14]. Исследования, проведенные нами ранее в Западном регионе Республики Казахстан, показали повышение содержания бора в волосах у детей с увеличенным объемом щитовидной железы [15, 16].

Мы выявили прямую сильную корреляционную связь содержания бора с показателями заболеваемости, связанной с врожденными аномалиями и хромосомными нарушениями ($r = 0,886$, $p = 0,019$) и с болезнями мочеполовой системы ($r = 0,829$, $p = 0,042$). Многочисленными исследованиями установлено токсическое воздействие бора на эмбриональное развитие и репродуктивную функцию [17, 18]. В экспериментальных исследованиях на животных подтверждено негативное воздействие избытка бора на развитие плода, приводящее к уменьшению размеров плода, повышению внутриутробной смертности, аномалиям ЦНС, сердечно-сосудистой системы и органов иммунной системы [19, 20].

Поступление повышенных доз бора с питьевой водой у беременных приводило к уменьшению длины тела ребенка при рождении: концентрация бора в сыворотке выше 80 мкг/л была обратно пропорциональна длине тела при рождении. Концентрация бора в сыворотке крови была самой высокой при воздействии бора в третьем триместре беременности, при этом увеличение концентрации бора в сыворотке крови на 100 мкг/л соответствовало рождению детей на 0,9 см короче и на 120 г легче [21].

Кроме того, повышенное содержание бора в окружающей среде во время беременности может оказать отрицательное влияние на рост ребенка в раннем младенчестве [22].

В то же время результаты проведенного в Турции поперечного исследования влияния бора на мужскую репродуктивную функцию у рабочих ($n = 212$) показали, что изменений характеристик спермы, концентрации ФСГ, ЛГ и общего тестостерона не наблюдалось даже в группе экстремального воздействия бора. Авторы пришли к выводу об отсутствии воздействия неорганических соединений бора на репродуктивные эффекты у мужчин [23].

Таблица 2. Взаимосвязь содержания бора в волосах с показателями заболеваемости по классам заболеваний
Table 2. Correlation between hair levels of boron and incidence rates by disease classes

	Заболеваемость / Incidence	r	p
1	Новообразования / Neoplasms	-0,086	0,872
2	Болезни крови, кроветворных органов и иммунной системы / Diseases of the blood, hematopoietic organs and the immune system	0,880	0,017*
3	Болезни эндокринной системы и нарушения обмена веществ / Diseases of the endocrine system and metabolic disorders	0,371	0,468
4	Болезни нервной системы / Diseases of the nervous system	0,714	0,111
5	Болезни костно-мышечной системы / Diseases of the musculoskeletal system	0,657	0,156
6	Болезни органов дыхания / Diseases of the respiratory system	0,943	0,005*
7	Болезни органов пищеварения / Diseases of the digestive system	0,878	0,021*
8	Болезни системы кровообращения / Diseases of the circulatory system	0,714	0,111
9	Болезни мочеполовой системы / Diseases of the genitourinary system	0,829	0,042*
10	Врожденные аномалии и хромосомные нарушения / Congenital anomalies and chromosomal abnormalities	0,886	0,019*

* $p < 0,05$

Также не установлены генотоксические эффекты бора: при сравнении поврежденных ДНК в лимфоцитах и буккальных клетках не выявлено различий между группами женщин, живущих в районах с высоким и низким его содержанием в окружающей среде [24]. Для исследования канцерогенной токсичности бора *in vitro* использовали эпителиальные клетки легких человека BEAS-2B и опухолевые клетки A549. Клеточный рост, не зависящий от закрепления, признак злокачественной трансформации, усиливался бором в концентрациях 50, 250 и 500 мкМ в клетках BEAS-2B, хотя такие же концентрации бора не влияли на независимый от закрепления рост клеток A549 [25].

Установлена корреляция содержания бора в пище с заболеваниями пищеварительной и иммунной систем. В исследованиях на животных показано, что различные дозы бора влияют на микроструктуру двенадцатиперстной кишки у крыс, экспрессию секреторного иммуноглобулина А (SIgA) и белка плотных контактов, пролиферацию клеток и апоптоз. Результаты исследования Liu et al. показали, что добавка 40 и 80 мг/л бора может улучшить структуру и функцию двенадцатиперстной кишки, в то время как добавка токсической дозы (320–640 мг/л) оказывает значительный ингибирующий и негативный эффект [26].

В регионе производства борной кислоты и боратов (Турция) оценивалось влияние бора на антиоксидантные/прооксидантные и воспалительные параметры обследованных жителей. Было установлено, что продолжительная борная экспозиция не повышает уровень биомаркеров окислительного стресса и воспаления у женщин и мужчин, подвергшихся влиянию бора из окружающей среды и при профессиональном воздействии [27].

Выводы

1. Представленная карта содержания бора в волосах жителей Актыбинской области (Западный Казахстан) демонстрирует неравномерное распределение борного статуса на изучаемой территории.

2. Содержание бора в волосах значительно выше у мужчин, чем у женщин ($p = 0,000$).

3. Выявлена прямая сильная корреляционная связь содержания бора в волосах с показателями заболеваемости, связанной с врожденными аномалиями и хромосомными нарушениями ($r = 0,886$, $p = 0,019$), показателями заболеваемости мочеполовой системы ($r = 0,829$, $p = 0,042$), органов дыхания ($r = 0,943$, $p = 0,005$), органов пищеварения ($r = 0,886$, $p = 0,019$), крови, кроветворных органов и иммунной системы ($r = 0,886$, $p = 0,019$).

Выявленные ассоциации содержания бора в волосах жителей борной геохимической провинции с показателями заболеваемости в регионе подтверждают предположение о влиянии экологических особенностей среды на здоровье населения, что требует проведения дальнейших углубленных исследований в данном направлении.

Информация о вкладе авторов: Г.А. Батырова – концепция и дизайн исследования; Г.А. Умарова, П.Ж. Айтмаганбет, Ж.Ш. Тлегенова, В.И. Кононец, Е.А. Умаров – сбор и обработка материала; Е.А. Умаров

– программное обеспечение, визуализация, разработка карт; Г.А. Батырова, Г.А. Умарова – написание текста; Х.И. Кудобаева, Г.А. Батырова – обзор публикаций по теме; Х.И. Кудобаева – редактирование

Финансирование: работа выполнена в рамках научного проекта с грантовым финансированием Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан «Разработка онлайн-атласа «Элементный статус населения Западного региона Республики Казахстан» (ИРН AP08855535).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Протокол исследования одобрен Биоэтической комиссией – заключение № 5 от 13.05.2020 г.

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Список литературы (пп. 2–4, 6, 9–27 см. References)

1. Мамырбаев А.А., Умарова Г.А. Современные аспекты состояния общественного здоровья (обзор литературы) // *Georgian Medical News*. 2016. № 5 (254). С. 61–67.
5. Бекмухамбетов Е.Ж., Мамырбаев А.А., Джаркенов Т.А. Медико-экологические аспекты трансграничного сотрудничества в Уральском водном бассейне // *Медицинский журнал Западного Казахстана*. 2012. № 1 (33). С. 3–5.
7. Яковлева Н.А., Франковская Н.М., Лимешкина Е.С., Богомазова О.А., Альмурзаева С.И. Комплексная эколого-гигиеническая оценка территории промышленной площадки бывшего Актыбинского химического завода (г. Алга). 2016. Доступно 10 апреля, 2021. https://ecoservice.kz/publications/kompleksnaja_jekologo-gigienicheskaja_ocenka/
8. Скальный А.В., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г., Тармаева И.Ю., Киричук А.А.; Ракитский В.Н., Рахманин Ю.А., ред. *Химические элементы в гигиене и медицине окружающей среды*. М.: РУДН, 2019. 339 с.

References

1. Mamyrbayev A, Umarova G. Modern issues of public health: the review. *Georgian Med News*. 2016;(5(254)):61–67. (In Russian). PMID: 27348170
2. Zembrani B, Bines JE. Recent insights into trace element deficiencies: causes, recognition and correction. *Curr Opin Gastroenterol*. 2020;36(2):110–117. doi: 10.1097/MOG.0000000000000612
3. Zhang Y. Trace elements and healthcare: A bioinformatics perspective. *Adv Exp Med Biol*. 2017;1005:63–98. doi: 10.1007/978-981-10-5717-5_4
4. Frazzoli C, Bocca B, Mantovani A. The one health perspective in trace elements biomonitoring. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2015;18(7–8):344–370. doi: 10.1080/10937404.2015.1085473
5. Bekmukhambetov EZh, Mamyrbayev AA, Dzharckenov TA. Health environmental aspects of the cross-border cooperation in the water basin Ural. *Meditinskiy Zhurnal Zapadnogo Kazakhstana*. 2012;(1(33)):3–5. (In Russian).
6. Bekmukhambetov Y, Mamyrbayev A, Jarkenov T, et al. Interdisciplinary approaches to assessing the health of people living in environmentally adverse conditions. *Iran J Public Health*. 2019;48(9):1627–1635.
7. Yakovleva NA, Frankovskaya NM, Limeshkina ES, Bogomazova OA, Almurzaeva SI. The complex ecological and hygienic assessment of the territory of the industrial zone of the former Aktyubinsk Chemical Plant (in Alga). 2016. (In Russian). Accessed on April 10, 2021. https://ecoservice.kz/publications/kompleksnaja_jekologo-gigienicheskaja_ocenka/
8. Skalny AV, Grabeklis AR, Skal'naya MG, Tarmaeva IYu, Kirichuk AA; Rakitskiy VN, Rakhmanin YuA, eds. [Chemical Elements in Environmental Hygiene and Medicine.] Moscow: RUDN, 2019. (In Russian).

9. Abdelnour SA, Abd El-Hack ME, Swelum AA, Perillo A, Losacco C. The vital roles of boron in animal health and production: A comprehensive review. *J Trace Elem Med Biol.* 2018;50:296–304. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.07.018
10. IPCS (International Programme on Chemical Safety). Environmental Health Criteria 204. Boron. Geneva, WHO. 1998. Accessed on April 10, 2021. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42046/9241572043_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
11. Prejac J, Skalny AA, Grabeklis AR, Uzun S, Mimica N, Momčilović B. Assessing the boron nutritional status by analyzing its cumulative frequency distribution in the hair and whole blood. *J Trace Elem Med Biol.* 2018;45:50–56. doi: 10.1016/j.jtemb.2017.09.018
12. Nielsen FH. Update on human health effects of boron. *J Trace Elem Med Biol.* 2014;28(4):383–7. doi: 10.1016/j.jtemb.2014.06.023
13. Nielsen FH. Is boron nutritionally relevant? *Nutr Rev.* 2008;66(4):183–91. doi: 10.1111/j.1753-4887.2008.00023.x
14. Hadrup N, Frederiksen M, Sharma AK. Toxicity of boric acid, borax and other boron containing compounds: A review. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2021;121:104873. doi: 10.1016/j.yrtph.2021.104873
15. Kudabayeva K, Batyrova G, Bazargaliyev Y, Agzamova R, Nuftieva A. Microelement status in children with enlarged thyroid gland in West Kazakhstan region. *Georgian Medical News.* 2017;(2(263)):64–71.
16. Kudabayeva KI, Batyrova GA, Bazargaliyev YSh, Baspakova AM, Sakhanova SK. Hair trace element composition in 6- to 12-year-old children with goiter in West Kazakhstan, a province of the Republic of Kazakhstan. *J Elem.* 2018;23(2):647–657. doi: 10.5601/jelem.2017.22.3.1369
17. Bolt HM, Başaran N, Duydu Y. Effects of boron compounds on human reproduction. *Arch Toxicol.* 2020;94(3):717–724. doi: 10.1007/s00204-020-02700-x
18. Fail PA, Chapin RE, Price CJ, Heindel JJ. General, reproductive, developmental, and endocrine toxicity of boronated compounds. *Reprod Toxicol.* 1998;12(1):1–18. doi: 10.1016/s0890-6238(97)00095-6
19. Khaliq H, Juming Z, Ke-Mei P. The physiological role of boron on health. *Biol Trace Elem Res.* 2018;186(1):31–51. doi: 10.1007/s12011-018-1284-3
20. Iztleuov M, Mamyrbayev A, Yeleuov G, Jarkenov T, Iztleuov Y, Yeleuov A. Impact of chromium and boron compounds on the reproductive function in rats. *Toxicol Ind Health.* 2018;34(6):365–374. doi: 10.1177/0748233718759162
21. Igra AM, Harari F, Lu Y, Casimiro E, Vahter M. Boron exposure through drinking water during pregnancy and birth size. *Environ Int.* 2016;95:54–60. doi: 10.1016/j.envint.2016.07.017
22. Hjelm C, Harari F, Vahter M. Pre- and postnatal environmental boron exposure and infant growth: Results from a mother-child cohort in northern Argentina. *Environ Res.* 2019;171:60–68. doi: 10.1016/j.envres.2019.01.012
23. Duydu Y, Başaran N, Aydin S, et al. Evaluation of FSH, LH, testosterone levels and semen parameters in male boron workers under extreme exposure conditions. *Arch Toxicol.* 2018;92(10):3051–3059. doi: 10.1007/s00204-018-2296-7
24. Başaran N, Duydu Y, Üstündağ A, et al. Environmental boron exposure does not induce DNA damage in lymphocytes and buccal cells of females: DNA damage in lymphocytes and buccal cells of boron exposed females. *J Trace Elem Med Biol.* 2019;53:150–153. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.03.004
25. Xu H, Hashimoto K, Maeda M, et al. High levels of boron promote anchorage-independent growth of nontumorigenic cells. *Environ Pollut.* 2020;266(Pt 3):115094. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115094
26. Liu T, Wang C, Wu X, et al. Effect of boron on microstructure, immune function, expression of tight junction protein, cell proliferation and apoptosis of duodenum in rats. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199(1):205–215. doi: 10.1007/s12011-020-02123-w
27. Başaran N, Duydu Y, Bacanlı M, et al. Evaluation of oxidative stress and immune parameters of boron exposed males and females. *Food Chem Toxicol.* 2020;142:111488. doi: 10.1016/j.fct.2020.111488

Статья получена: 22.03.21
 Принята в печать: 08.06.21
 Опубликовано: 30.06.21

