

Даукаев Р.А.¹, Ларионова Т.К.¹, Бакиров А.Б.¹, Степанов Е.Г.^{2,3}, Фазлыева А.С.¹,
Усманова Э.Н.¹, Аллаярова Г.Р.¹, Афонькина С.Р.¹, Зеленковская Е.Е.¹, Адиева Г.Ф.¹

Гигиеническая оценка содержания микроэлементов в растениеводческой продукции промышленно развитого региона

¹ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа;

²Управление Роспотребнадзора по Республике Башкортостан, 450054, Уфа;

³ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
450062, Уфа

Введение. Выращиваемые на садово-огородных участках сельскохозяйственные культуры используются преимущественно для личного потребления, не подвержены контролю безопасности, в связи с чем возможно значительное влияние химического состава произведённой растениеводческой продукции на накопление либо дефицит химических элементов в организме человека.

Материал и методы. С целью оценки химического состава основных продуктов растительного происхождения, произведённых в районах Республики Башкортостан с различной экономической специализацией, методом атомно-абсорбционной спектроскопии определено содержание 9 микроэлементов в моркови, свёкле столовой и картофеле ($n = 353$). С использованием суммарного коэффициента антропогенной нагрузки ($K_{ан.} = \sum C_i / ПДУ$) проведено ранжирование территории республики по степени загрязнённости овощных культур токсичными элементами (свинец, кадмий). С применением методики оценки риска изучено влияние микроэлементов, содержащихся в растениеводческой продукции, на здоровье населения региона.

Результаты. Наибольший удельный вес в общем объёме исследованной растениеводческой продукции, не соответствующей гигиеническим нормативам, занимают овощи с повышенным содержанием кадмия (10,8% проанализированных проб). При ранжировании территории республики на основе оценки риска здоровью и по степени загрязнённости овощных культур токсичными элементами установлено, что наиболее неблагоприятными зонами являются территории с развитой горнорудной и нефтехимической промышленностью.

Заключение. Содержание химических элементов в овощных культурах, произведённых на приусадебных участках, колеблется в широком диапазоне в зависимости от вида растительной продукции и места произрастания. Отсутствие нормативов по допустимому содержанию в продовольственном сырье и пищевых продуктах отдельных микроэлементов, являющихся в ряде регионов приоритетными загрязнителями, и контроля безопасности продукции, производимой в частных хозяйствах, увеличивает риск употребления населением контаминированной продукции.

К л ю ч е в ы е с л о в а : пищевые продукты; микроэлементы; гигиеническая оценка; риск здоровью.

Для цитирования: Даукаев Р.А., Ларионова Т.К., Бакиров А.Б., Степанов Е.Г., Фазлыева А.С., Усманова Э.Н., Аллаярова Г.Р., Афонькина С.Р., Зеленковская Е.Е., Адиева Г.Ф. Гигиеническая оценка содержания микроэлементов в растениеводческой продукции промышленно развитого региона. *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (9): 918–924. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-918-924>

Для корреспонденции: Даукаев Рустем Аскарлович, кандидат биол. наук, зав. химико-аналитическим отделом ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» Роспотребнадзора, 450106, Уфа. E-mail: ufa.lab@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2016–2020 гг. «Гигиеническое научное обоснование минимизации рисков здоровью населения России», п. 4.2. «Совершенствование нормативно-методической базы государственного надзора на основе оценки безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов, производимых на территории промышленно развитого региона» (регистрационный номер НИОКТР АААА-А16-116022610049-2).

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Бакиров А.Б., Степанов Е.Г., Даукаев Р.А.; сбор и обработка материала – Фазлыева А.С., Усманова Э.Н., Аллаярова Г.Р., Афонькина С.Р., Адиева Г.Ф., Зеленковская Е.Е.; статистическая обработка – Даукаев Р.А.; написание текста и редактирование – Даукаев Р.А., Ларионова Т.К.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей – все соавторы.

Поступила 30.06.2020

Принята к печати 30.09.2020

Опубликована 20.10.2020

Rustem A. Daukaev¹, Tatyana K. Larionova¹, Ahat B. Bakirov¹, Evgeny G. Stepanov^{2,3}, Anna S. Fazlieva¹,
Elza N. Usmanova¹, Guzel R. Allayarova¹, Svetlana R. Afonkina¹, Evgeniya E. Zelenkovskaya¹,
Gyuzeliya F. Adieva¹

Hygienic assessment of the trace elements content in crop production in an industrially developed region

¹Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, 450106, Russia;

²Office of the Federal Service for Oversight of Consumer Protection and Welfare in the Republic of Bashkortostan, Ufa, 450054, Russia;

³Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, 450062, Russia

Introduction. Agricultural crops grown on garden plots are mainly used for personal consumption, are not subject to safety control, and therefore, the chemical composition of the produced crop products may significantly affect the accumulation or deficiency of chemical elements in the human body.

Material and methods. To assess the chemical composition of the main products of plant origin produced in the regions of the Republic of Bashkortostan with different economic specialization, the content of 9 trace elements in carrots, table beets and potatoes was determined by atomic absorption spectrometry ($n = 353$). Using the total coefficient of anthropogenic load ($K_{a.n.} = \sum C_i/PDU_i$), the territory of the Republic was ranked according to the degree of contamination of vegetable crops with toxic elements (lead, cadmium). The influence of trace elements contained in crop products on the health of the region's population was studied using the risk assessment method.

Results. Vegetables with a high content of cadmium (10.8% of the analyzed samples) occupy the largest share in the total volume of crop production that does not meet hygiene standards. When ranking the territory of the Republic on the basis of health risk assessment and the degree of contamination of vegetable crops with toxic elements, territories with a developed mining and petrochemical industry were found to be most unfavorable zones.

Conclusion. The content of chemical elements in vegetable crops produced on household plots varies in a wide range, depending on the type of plant products and the place of growth. The lack of standards for the permissible content of certain trace elements in food raw materials and food products, which are priority pollutants in a number of regions, and safety control of products produced in private farms increase the risk of consumption of contaminated products by the population.

Key words: food products; microelements; hygienic assessment; health risk.

For citation: Daukaev R.A., Larionova T.K., Bakirov A.B., Stepanov E.G., Fazlieva A.S., Usmanova E.N., Allayarova G.R., Afonkina S.R., Zelenkovskaya E.E., Adieva G.F. Hygienic assessment of the trace elements content in crop production in an industrially developed region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2020; 99 (9): 918-924. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-918-924> (In Russ.)

For correspondence: Rustem A. Daukaev, MD, Ph.D, head of Chemical analysis Department of the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation. E-mail: ufa.lab@yandex.ru

Information about the authors:

Daukaev R.A., <https://orcid.org/0000-0002-0421-4802>; Larionova T.K., <https://orcid.org/0000-0001-9754-4685>; Bakirov A.B., <https://orcid.org/0000-0001-6593-2704>; Stepanov E.G., <https://orcid.org/0000-0002-1917-8998>; Fazlieva A.S., <https://orcid.org/0000-0002-0037-6791>; Usmanova E.N., <https://orcid.org/0000-0002-5455-6472>; Allayarova G.R., <https://orcid.org/0000-0003-0838-3598>; Afonkina S.R., <https://orcid.org/0000-0003-0445-9057>; Zelenkovskaya E.E., <https://orcid.org/0000-0001-7682-2703>; Adieva G.F., <https://orcid.org/0000-0003-2377-3471>

Conflict of Interest. The authors of the article have no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no financial sponsorship

Contribution: the concept and design of the study – Daukaev R.A., Bakirov A.B., Stepanov E.G.; collection and processing of the material – Fazlieva A.S., Usmanova E.N., Allayarova G.R., Afonkina S.R., Zelenkovskaya E.E., Adieva G.F.; statistical processing – Daukaev R.A.; writing the text and editing – Daukaev R.A., Larionova T.K.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: June 30, 2020

Accepted: October 20, 2020

Published: October 20, 2020

Введение

Современное состояние природной среды в промышленно развитых регионах характеризуется значительной антропогенной нагрузкой, отходы и выбросы промышленных предприятий, автотранспорта обуславливают опасность комбинированного и комплексного воздействия химических веществ на здоровье населения [1–4]. Среди глобальных загрязнений среды обитания одно из ведущих мест занимают тяжёлые металлы [5–8], которые способны мигрировать и активно включаться в биологические циклы экосистем, что приводит к их накоплению в продовольственном сырье и пищевых продуктах [9–12]. Кроме антропогенных факторов, на поступление микроэлементов в сельскохозяйственные культуры оказывают влияние почвенные и погодные условия, биологические особенности и вид культур, методы выращивания и применяемые сельскохозяйственные технологии [13–15].

Установлено, что до 80% микроэлементов попадают в организм человека алиментарным путём, при этом их избыточное или недостаточное поступление может привести к нарушению обмена веществ и развитию специфических заболеваний [16]. Мониторинг безопасности пищевой продукции, преобладающей в рационе населения, и особенно выращиваемой жителями на загрязнённых территориях, является важнейшей гигиенической задачей.

В современной научной литературе представлено большое количество работ, свидетельствующих о наличии риска здоровью населения при употреблении в пищу растительной продукции, произведённой в зонах влияния промышленных предприятий, в том числе выращенной на приусадебных участках [17–21]. Однако иногда встречаются исследования, оценивающие риск как незначительный и не оказывающий влияние на здоровье населения [22]. Изучение содержания эссенциальных элементов в растительной продукции зачастую свидетельствует об их низком содержании в овощах и соответственно в рационе жителей [23].

Загрязнение территории Республики Башкортостан химическими элементами является одним из проблемных вопросов обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения [24, 25]. Особенностью региона является то, что в зоне развитого земледелия размещены предприятия нефтеперерабатывающей, химической, горнорудной и металлургической промышленности, дополнительный вклад в техногенные потоки рассеивания элементов вносит химизация сельского хозяйства.

Республика Башкортостан является одним из крупнейших регионов производства сельскохозяйственной продукции в России, на её территории более 551 тыс. граждан занимаются садоводством, коллективным и индивидуальным огородничеством на площади 41,6 тыс. га [26]. Основными производителями картофеля (94,1%) и овощей (64%) являются хозяйства населения, при этом уровень самообеспеченности региона картофелем составляет почти 160%, по овощам достигает 70% [27]. В связи с вышесказанным актуальным представляется проведение исследований по оценке элементного состава продукции растениеводства, выращенной на территориях, отличающихся характером и степенью промышленного освоения и составляющих существенную часть продуктовой корзины населения республики.

Цель работы – оценка содержания микроэлементов в овощных культурах для ранжирования территорий исследования по степени гигиенической опасности и изучения уровня экспозиции тяжёлыми металлами на население промышленно развитого региона.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: определить содержание микроэлементов (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Cu, Zn, Mn, Al) в продукции растениеводства; изучить территориальные особенности накопления микроэлементов в овощных культурах; выявить наиболее неблагоприятные районы по степени загрязнённости овощных продуктов токсичными (Pb, Cd) элементами, рассчитать канцерогенные и неканцерогенные риски развития патологических состояний у населения при употреблении растительной продукции.

Содержание микроэлементов (мг/кг сырой массы) в исследованных овощных культурах

Микроэлемент	ПДУ	Объект исследования					
		морковь		свёкла столовая		картофель	
		<i>min-max</i>	медиана	<i>min-max</i>	медиана	<i>min-max</i>	медиана
Свинец	0,5	0–0,59	0,010	0–1,29	0,010	0–0,85	0,007
Кадмий	0,03	0–0,14	0,012	0–0,16	0,016	0–0,16	0,008
Алюминий	–	0–6,5	0,49	0–11	0,42	0–4,3	0,21
Никель	–	0–0,82	0,21	0–2,7	0,17	0–1,1	0,20
Хром	–	0–2,7	0,12	0–1,7	0,14	0–1,9	0,09
Медь	–	0–2,7	0,40	0,14–2,3	0,76	0,06–1,99	0,47
Цинк	–	0,52–16	2,05	1,2–14,4	4,09	0,72–7,1	2,45
Железо	–	1,1–24	3,50	0,27–14	3,50	2–13,3	4,25
Марганец	–	0–7,6	1,05	0–21,4	1,55	0–3,1	0,80

Материал и методы

Образцы наиболее распространённых видов растительной продукции (морковь, свёкла столовая, картофель), используемых в рационе жителей республики, были выращены в весенне-летний период и собраны осенью в фазе их полной зрелости. Отбор образцов ($n = 353$) произведён специалистами Управления Роспотребнадзора по Республике Башкортостан и ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» в 16 районах республики из личных подсобных хозяйств жителей. Выбор территорий исследования осуществлён с учётом специфики экономической деятельности: западная часть республики с месторождениями нефти и газа (Бакалинский, Туймазинский, Ермекеевский, Бижбулякский, Альшеевский, Давлекановский районы), юго-восточная часть – с рудными полезными ископаемыми и предприятиями чёрной и цветной металлургии (Белорецкий, Учалинский, Баймакский районы), центральная часть – с индустриально-аграрным сектором (Уфимский, Чишминский, Стерлитамакский районы), северная часть – с низким уровнем индустриализации (Аскинский, Балтачевский, Бураевский, Мишкинский районы).

Исследования отобранных проб проводили в аккредитованном Испытательном центре ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» в соответствии с действующими методическими указаниями и инструкциями по пробоподготовке и лабораторному контролю. Содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом с использованием спектрофотометров АА моделей 240FS и 240Z с пламенной и термической атомизацией. Полученные результаты сравнивали с Техническим регламентом Таможенного союза¹.

С целью ранжирования исследованных территорий по степени антропогенной нагрузки использован гигиенический принцип оценки воздействия, основанный на сопоставлении медианных значений токсичных элементов – свинца (C_{pb}), кадмия (C_{cd}) в продукции растениеводства с их предельно допустимыми уровнями ($ПДУ_{pb}$, $ПДУ_{cd}$) и последующего расчёта суммарного коэффициента антропогенной нагрузки ($K_{ан.} = C_{pb}/ПДУ_{pb} + C_{cd}/ПДУ_{cd}$) по каждому району.

Оценка риска здоровью населения от воздействия химических загрязнителей пищевых продуктов проведена в со-

ответствии с Руководством Р 2.1.10.1920-04² и методическими указаниями МУ 2.3.7.2519-09³. Для расчёта экспозиции были взяты значения среднесуточного потребления продуктов и значения медианы концентраций элементов. Расчёт неканцерогенных рисков проведён по шести элементам (свинец, кадмий, хром, никель, медь, цинк). Оценка канцерогенного риска проведена по двум элементам (свинец и кадмий).

Статистическая обработка данных проведена с использованием стандартного приложения Microsoft Office Excel. Определены нормальность распределения по Колмогорову–Смирнову, t -критерий Стьюдента, медиана.

Результаты

Исследования показали, что содержание микроэлементов в продукции растениеводства значительно варьируется в зависимости от вида растения и места произрастания. Концентрации химических элементов, отражающие общий элементный состав овощных культур, выращенных в различных районах республики, представлены в табл. 1.

Анализ результатов определения металлов по видам проанализированной овощной продукции показал, что больше всего свинца (0,01 мг/кг), никеля (0,21 мг/кг), алюминия (0,49 мг/кг) содержится в моркови; кадмия (0,016 мг/кг), хрома (0,14 мг/кг), меди (0,76 мг/кг), цинка (4,09 мг/кг), марганца (1,55 мг/кг) – в свёкле столовой; железа (4,25 мг/кг) – в картофеле.

Обсуждение

Для оценки негативного влияния на здоровье населения осуществлено сравнение медианы содержания токсичных микроэлементов в проанализированных пробах с их нормативными значениями. Выявлено, что уровень накопления свинца в растениеводческой продукции составляет 0,02 ПДУ, кадмия – 0,4 ПДУ. В зависимости от территории произрастания овощных культур сверхнормативное накопление свинца выявлено в Учалинском – 2,6% проб (до 1,7 ПДУ) и Бело-

² Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

³ МУ 2.3.7.2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических загрязнителей пищевых продуктов на население».

¹ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

реком – 4,8% проб (до 2,6 ПДУ) районах. Высоким уровнем накопления кадмия характеризуются пробы из 13 исследованных районов, наибольшее количество нестандартных проб отмечено в Уфимском – 14,3% (до 2,2 ПДУ), Учалинском – 15,4% (до 3,8 ПДУ), Баймакском – 21,2% (до 5,1 ПДУ) и Бураевском – 23,8% (до 2,8 ПДУ) районах.

Для выявления неблагоприятных по степени загрязнённости токсичными элементами растениеводческой продукции муниципальных образований республики выполнено гигиеническое ранжирование. Значения коэффициентов антропогенной нагрузки на изученных территориях приведены на рис. 1.

Согласно расчётам, в первую пятерку районов по наибольшему накоплению свинца и кадмия в растениеводческой продукции вошли районы республики с развитой горнорудной промышленностью – Баймакский ($K_{ан.} = 0,9$), Учалинский ($K_{ан.} = 0,64$), Белорецкий ($K_{ан.} = 0,54$), а также районы, где сосредоточены предприятия нефтепереработки, химии и нефтехимии, машиностроения и металлообработки, – Уфимский ($K_{ан.} = 0,75$), Чишминский ($K_{ан.} = 0,73$). Следует отметить, что юго-восточная часть региона характеризуется своеобразием процессов формирования земной коры и связанными с этим геохимическими, гидрогеохимическими, почвенными особенностями. Многолетняя интенсивная разработка рудных месторождений на территории горнорудных районов является дополнительным масштабным фактором преобразования среды обитания человека, поэтому данные территории характеризуются сочетанием природно-обусловленного и техногенного воздействия комплекса неблагоприятных факторов. В свою очередь функционирующие в центральной части региона предприятия нефтехимической промышленности неизбежно выбрасывают в атмосферу большой спектр тяжёлых металлов, что определяет их активное рассеивание и оказывает негативное воздействие на состояние природных ресурсов и здоровье человека.

Далее по мере уменьшения коэффициента антропогенной нагрузки ($K_{ан.} = 0,54–0,3$) расположены территории, отличающиеся характером экономической деятельности: Бижбулякский, Стерлитамакский, Мишкинский, Бураевский, Ермекеевский, Аскинский, Бакалинский, Давлекановский. В овощах и картофеле, выращенных на территории Туймазинского, Балтачевского, Альшеевского районов, содержится наименьшее количество токсичных металлов ($K_{ан.} = 0,24–0,19$).

На основании сведений о среднесуточном потреблении населением овощей и картофеля определили среднесуточный уровень поступления микроэлементов из данных продуктов. Среднесуточное поступление шести исследованных элементов варьировалось от 0,018 мг/кг/день в Балтачевском районе до 0,04 мг/кг/день в Баймакском районе. Наибольшее среднесуточное поступление из растениеводческой продукции свинца (0,00066 мг/кг/день), кадмия (0,00016 мг/кг/день), никеля (0,003 мг/кг/день), цинка (0,03 мг/кг/день) характерно для Баймакского района, хрома (0,0035 мг/кг/день) – для Мишкинского района, меди (0,0049 мг/кг/день) – для Уфимского района.

При оценке уровня неканцерогенного риска для здоровья населения исследованных территорий от контаминации растениеводческой продукции свинцом, кадмием, хромом, никелем, медью, цинком выявлены высокие значения ри-

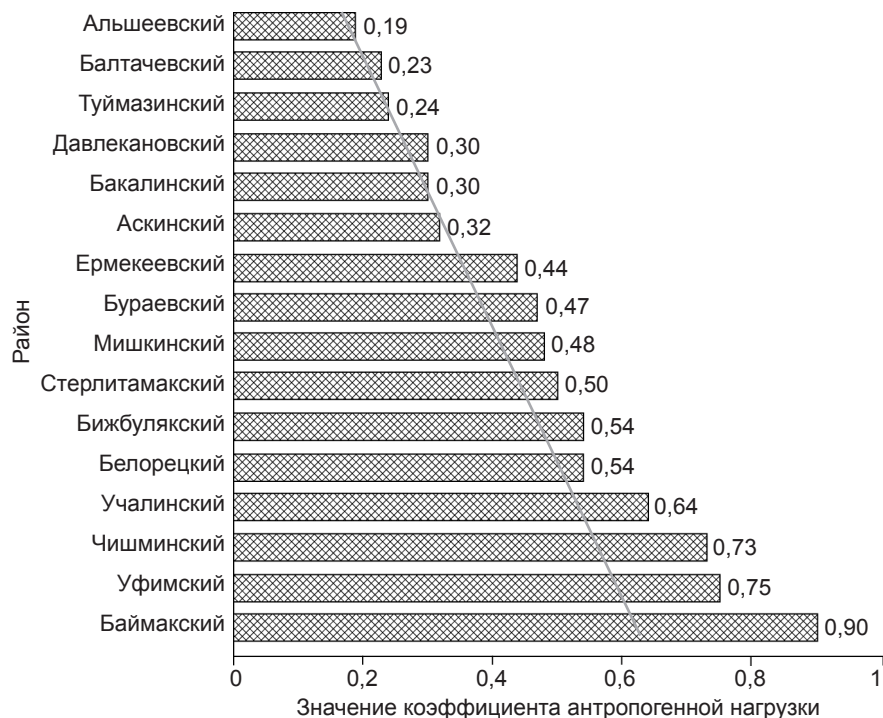


Рис. 1. Ранжирование территории Республики Башкортостан по уровню контаминации овощных культур свинцом и кадмием.

ска ($HI > 1$) для Баймакского ($HI = 1,34$), Мишкинского ($HI = 1,21$), Учалинского ($HI = 1,01$) районов. Такое воздействие характеризуется как недопустимое и требует принятия управленческих решений. В остальных районах вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вышеуказанных металлов с овощами и картофелем характеризуется как допустимая ($HI < 1$). Наибольший вклад в формирование неканцерогенного риска, обусловленного пероральным поступлением исследованных элементов, содержащихся в отобранных овощных культурах, вносят Cu, Cr ($HQ = 0,091$), Cd ($HQ = 0,082$). С учётом направленного действия химических элементов, содержащихся в продукции растениеводства, рассчитан риск развития неблагоприятных эффектов на критические органы (системы). Уровни неканцерогенного риска оцениваются как неблагоприятные по исследованным районам для ЖКТ и печени ($HI = 0,21$).

Расчёт суммарного индивидуального канцерогенного риска при поступлении в организм свинца и кадмия с овощными культурами составил от $1,1 \cdot 10^{-4}$ в Стерлитамакском районе до $1,5 \cdot 10^{-5}$ в Альшеевском районе. Согласно полученным данным, для Стерлитамакского района с индустриально-аграрным сектором, расположенного в центральной части республики, величина пожизненного канцерогенного риска является сигнальной (10^{-4}), свидетельствующей о существовании потенциальной опасности для человека, для остальных районов уровень канцерогенного риска является приемлемым (10^{-5}). Выявлено, что при пероральном поступлении с овощами и картофелем токсичных металлов наибольший вклад в канцерогенный риск в Стерлитамакском районе вносит свинец, а величина популяционного канцерогенного риска составляет 4,8 дополнительных случая злокачественных новообразований на 43 337 жителей.

Для выявления взаимосвязи между значениями коэффициента антропогенной нагрузки и неканцерогенного риска по изученным территориям проведено соответствующее сравнение (рис. 2).

Максимальные величины сравниваемых показателей характерны для Баймакского района, что указывает на большую загрязнённость выращенных на данной территории

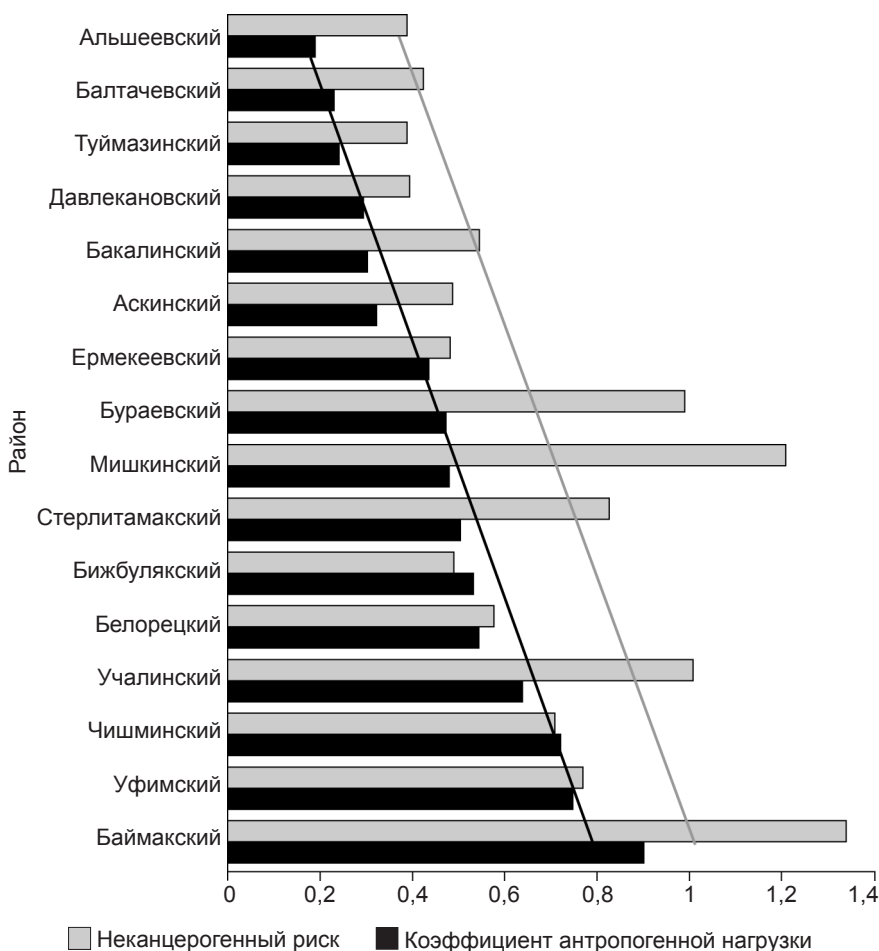


Рис. 2. Величины коэффициента антропогенной нагрузки и неканцерогенного риска, обусловленные содержанием микроэлементов в овощных культурах.

Таблица 2

Содержание химических элементов в крови жителей ($p < 0,05$)

Район республики	K _{ан.}	Содержание химических элементов, мкг/л			
		Pb	Cd	Cr	Ni
Чишминский, n = 97	0,73	45,5 ± 16,8	0,82 ± 0,36	8,7 ± 2,9	16,9 ± 4,1
Баймакский, n = 157	0,90	77,5 ± 5,7	32,3 ± 3,3	90 ± 20	203 ± 22
Референтные уровни [29]		100–150	0,03–7,0	0,2–40	1–50

овощных культур свинцом и кадмием, в отличие от Мишкинского и Бураевского районов, где основной вклад в формирование неканцерогенного риска вносит хром.

При сопоставлении аналогичных величин, рассчитанных для остальных территорий, выявлены отличия по порядку расположения районов, обусловленные разницей в количестве и во вкладе химических элементов, использованных для расчёта коэффициента антропогенной нагрузки (2 элемента) и неканцерогенного риска (6 элементов). Вклады микроэлементов в контаминацию местной растениеводческой продукции, вычисленные двумя методами, соизмеримы и определяются при построении линий тренда, которые отражают общую тенденцию, нивелируя скачки показателей.

Свидетельством антропогенной нагрузки тяжёлыми металлами на население изучаемого региона могут послужить ранее полученные авторами данные по составу биологических сред жителей, поскольку стандартно в качестве маркер-

ра экспозиции химическими элементами используется их анализ [28].

Для примера рассмотрены уровни токсичных элементов свинца и кадмия в крови жителей Баймакского (K_{ан.} = 0,9) и Чишминского районов (K_{ан.} = 0,73), в 1,2 раза различающиеся значениями коэффициентов антропогенной нагрузки и почти в два раза – по уровню неканцерогенного риска (табл. 2).

Повышенный уровень токсичных элементов в крови жителей района с более высоким коэффициентом антропогенной нагрузки, рассчитанной по содержанию этих металлов в растительной продукции, произведённой в данной местности, свидетельствует об адекватности применяемого гигиенического принципа ранжирования территории. В крови жителей Баймакского района обнаружено превышение референтных значений кадмия, никеля и хрома, что также подтверждает поступление металлов в организм, в том числе с пищевым рационом.

Заключение

Гигиеническая оценка содержания микроэлементов в растениеводческой продукции, выращенной на территориях, подверженных различным типам техногенеза, показала, что химические элементы формируют нагрузку на здоровье населения и являются факторами риска хронической экспозиции.

Основными гигиенически значимыми техногенными источниками микроэлементов являются предприятия горнорудной и нефтехимической промышленности. На территории Баймакского, Мишкинского, Учалинского районов риск возникновения вредных неканцерогенных эффектов превышает 1, такое воздействие квалифицируется как недопустимое. Результаты оценки канцерогенного риска показали, что в Стерлитамакском районе уровень $1,1 \cdot 10^{-4}$ является сигнальным уровнем риска, свидетельствующим о существовании потенциальной опасности для человека.

Реализованный в работе подход к ранжированию территорий по степени антропогенной нагрузки путём расчёта суммы

отношений концентраций токсичных элементов в пищевых продуктах к их предельно допустимым уровням может быть использован для экспресс-оценки гигиенической ситуации. Однако в тех регионах, где в объектах окружающей среды определяется повышенный уровень металлов, в овощной продукции происходит накопление комплекса химических элементов (например, меди, никеля, алюминия), необходимо использовать метод оценки рисков здоровью населения, который более адекватно отражает состояние санитарно-эпидемиологической безопасности населения.

Мониторинг содержания микроэлементов в овощных культурах имеет высокое значение для обеспечения качества, безопасности и полноценности производимых растительных пищевых продуктов, даёт возможность обосновать и разработать комплекс профилактических мероприятий для снижения неблагоприятного воздействия химических элементов на здоровье населения.

Литература

(п.п. 7, 8, 16 см. References)

- Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Серегина Ю.Ю. Экологическая опасность загрязнения почв урбанизированных территорий горнорудного региона. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1370–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1370-1375>
- Рахманин Ю.А., Синицына О.О. Состояние и актуализация задач по совершенствованию научно-методологических и нормативно-правовых основ в области экологии человека и гигиены окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(5): 4–10.
- Лисина Н.Л. Современное состояние и проблемы окружающей среды в городах. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015; (4-2): 242–6.
- Голиков Р.А., Суржилов Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы). *Научное обозрение. Медицинские науки*. 2017; 5: 20–31.
- Белуосова А.П., Руденко Е.Э., Миняева Ю.В. Методика оценки суммарной техногенной нагрузки на окружающую среду в зоне Чернобыльского следа. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2019; (2): 59–67. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.2.59-67>
- Манахов Д.В., Липатов Д.Н., Шеглов А.И. Пространственное распределение тяжёлых металлов и радиоцезия в почве ельника в условиях регионального загрязнения. *Экология*. 2018; (4): 282–90. <https://doi.org/10.7868/S0367059718040054>
- Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжёлые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека. *Фундаментальные исследования*. 2013; (8-3): 681–6.
- Сульдина Т.И. Содержание тяжёлых металлов в продуктах питания и их влияние на организм. *Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы*. 2016; (1): 136–40.
- Хотимченко С.А., Бессонов В.В., Багрянцева О.В., Гмошинский И.В. Безопасность пищевой продукции: новые проблемы и пути решений. *Медицина труда и экология человека*. 2015; (4): 7–14.
- Шур П.З., Зайцева Н.В. Оценка риска здоровью при обосновании гигиенических критериев безопасности пищевых продуктов. *Анализ риска здоровью*. 2018; (4): 43–56. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.05>
- Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. *Тяжёлые металлы и растения*. Петрозаводск; 2014.
- Пищик В.Н., Воробьев Н.И., Проворов Н.А., Хомяков Ю.В. Механизмы адаптации растений к тяжёлым металлам. *Агрофизика*. 2015; (2): 38–49.
- Троц Н.М., Прохорова Н.В., Троц В.Б., Ахматов Д.А., Черныкова Г.И., Горшкова О.В. и соавт. *Тяжёлые металлы в агроландшафтах Самарской области*. Кинель; 2018.
- Иванова С.В., Рябчикова И.А. Экологические риски для здоровья населения при употреблении овощей, выращенных в зоне влияния
- алюминиевого производства. *XXI век. Техносферная безопасность*. 2019; 4(4): 495–503. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2019-4-495-503>
- Фролова О.А., Карпова М.В., Махмутова И.П., Мусин Р.А. Мониторинг и оценка контаминации токсичными элементами пищевых продуктов на территории Республики Татарстан. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(6): 72–5.
- Бабошкина С.В., Пузанов А.В., Горбачев И.В. Приоритетные элементы-загрязнители (Zn, Pb, Cd, Al) в огородных почвах и овощах приусадебных участков городов Барнаула, Бийска, Горняка. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2009; (10): 46–50.
- Лыжина А.В., Бузинов Р.В., Унгурияну Т.Н., Гудков А.Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области. *Экология человека*. 2012; (12): 3–8.
- Кику П.Ф., Ананьев В.Ю., Кислицына Л.В., Морева В.Г., Кондратьев К.В., Сабирова К.М. и соавт. Риск воздействия на здоровье населения Приморского края химических контаминантов в продуктах питания. *Экология человека*. 2017; (11): 18–22. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-11-18-22>
- Костенко Е.А., Лысенко И.О. Оценка экологического риска при употреблении в пищу овощных культур, выращенных в сельскохозяйственной зоне г. Ставрополя. *Вестник АПК Ставрополья*. 2015; (2): 225–9.
- Скальный А.В., Сальникова Е.В., Кван О.В., Сизенцов А.Н., Сальников И.А. Изучение взаимосвязи биоаккумуляции цинка в продуктах питания и организме человека на территории Оренбургской области. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2016; (10): 79–81.
- Белан Л.Н., Амирова З.К., Валиуллина А.У., Шамсутдинова Л.Р., Хакимова А.А. Тяжёлые металлы в почве индустриального, рекреационного и сельтебного назначения в городе Уфе. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015; 17(6): 169–73.
- Курамшин Э.М., Курамшина Н.Г., Нуртдинова Э.Э., Имашев У.Б. Геохимическая оценка загрязнения тяжёлыми металлами городских почв Башкортостана. *Башкирский химический журнал*. 2015; 22(2): 74–9.
- Государственный доклад «О состоянии и использовании земель в Республике Башкортостан в 2019 году». Уфа; 2020.
- Республика Башкортостан: Статистический справочник. Уфа; 2019.
- Ларионова Т.К., Такаев Р.М., Фасиков Р.М. Сравнительный анализ содержания химических элементов в биологических средах городского и сельского населения Республики Башкортостан. В кн.: *Материалы конференции «Экология человека, гигиена и медицина окружающей среды на рубеже веков: состояние и перспективы»*. М.; 2006: 98–102.
- Скальный А.В. *Химические элементы в физиологии и экологии человека*. М.; 2004.

References

- Khasanova R.F., Suyundukov Ya.T., Semenova I.N., Rafikova Yu.S., Seregina Yu.Yu. The environmental danger of pollution of soils of urban territories of the mining region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(12): 1370–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1370-1375> (in Russ.)
- Rakhmanin Yu.A., Sinitsyna O.O. Status and actualization of tasks to improve the scientific-methodological and regulatory frameworks in the field of human ecology and environmental hygiene. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(5): 4–10. (in Russ.)
- Lisina N.L. Current state and problems of the environment in cities. *Vestnik Kemrovskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015; (4-2): 242–6. (in Russ.)
- Golikov R.A., Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Shtayger V.A. Impact of environmental pollution on public health (literature review). *Nauchnoe obozrenie. Meditsinskie nauki*. 2017; 5: 20–31. (in Russ.)
- Belousova A.P., Rudenko E.E., Minyaeva Yu.V. Methodology for assessing the total anthropogenic load on the environment in the Chernobyl footprint zone. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2019; (2): 59–67. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.2.59-67> (in Russ.)
- Manakhov D.V., Lipatov D.N., Shcheglov A.I. Spatial distribution of heavy metals and radiocesium in spruce forest soil under conditions of regional pollution. *Ekologiya*. 2018; (4): 282–90. <https://doi.org/10.7868/S0367059718040054> (in Russ.)
- Zhang Y., Hou D., O'Connor D., Shen Z., Shi P., Ok Y.S., et al. Lead contamination in China sesuvium soils: Source identification, spatial-temporal distribution and associated health risks. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2019; 15(49): 1386–423. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1571354>
- Xiao X., Zhang J., Wang H., Han X., Ma J., Ma Y., et al. Distribution and health risk assessment of potentially toxic elements in soils around coal industrial areas: A global meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 2020; 713: 135292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135292>
- Osipova N.A., Yazikov E.G., Yankovich E.P. Heavy metals in soil and vegetables as a risk factor for health of consumers. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013; (8-3): 681–6. (in Russ.)
- Sul'dina T.I. The content of heavy metals in food and their impact on the body. *Ratsional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory*. 2016; (1): 136–40. (in Russ.)
- Khotimchenko S.A., Bessonov V.V., Bagryantseva O.V., Gmshinskiy I.V. Safety of food products: new problems and ways of solution. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2015; (4): 7–14. (in Russ.)
- Shur P.Z., Zaytseva N.V. Health risk assessment when giving grounds for hygienic criteria of food products safety. *Analiz riska zdorov'yu*. 2018; (4): 43–56. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.05> (in Russ.)
- Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. *Heavy Metals and Plants [Tyazhelye metally i rasteniya]*. Petrozavodsk; 2014. (in Russia)
- Pishchik V.N., Vorob'ev N.I., Provorov N.A., Khomyakov Yu.V. Plant adaptation mechanisms to heavy metals. *Agrofizika*. 2015; (2): 38–49. (in Russ.)
- Trots N.M., Prokhorova N.V., Trots V.B., Akhmatov D.A., Chernyakova G.I., Gorshkova O.V., et al. *Heavy Metals in Agricultural Landscapes of the Samara Region [Tyazhelye metally v agrolandshaftakh Samarskoy oblasti, Kinel']*. 2018. (in Russ.)
- Tinkov A.A., Filippini T., Ajsuvakova O.P., Aaseth J., Gluhcheva Y.G., Ivanova J.M., et al. The role of cadmium in obesity and diabetes. *Sci. Total Environ.* 2017; 601-602: 741–55. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.224>
- Ivanova S.V., Ryabchikova I.A. Environmental risks to human health when consuming vegetables grown in the aluminum production zone. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2019; 4(4): 495–503. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2019-4-495-503> (in Russ.)
- Frolova O.A., Karpova M.V., Makhmutova I.P., Musin R.A. Monitoring and assessment contamination of toxic elements food in Tatarstan. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(6): 72–5. (in Russ.)

19. Baboshkina S.V., Puzanov A.V., Gorbachev I.V. Priority elements-pollutants (Zn, Pb, Cd, Al) in garden soils and vegetables of household plots in the cities of Barnaul, Biysk, and Gornyyak. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2009; (10): 46–50. (in Russ.)
20. Lyzhina A.V., Buzinov R.V., Unguryanu T.N., Gudkov A.B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka*. 2012; (12): 3–8. (in Russ.)
21. Kiku P.F., Anan'ev V.Yu., Kislitsyna L.V., Moreva V.G., Kondrat'ev K.V., Sabirova K.M., et al. The risk of impact on the health of the population of Primorye territory contaminant chemical in food. *Ekologiya cheloveka*. 2017; (11): 18–22. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-11-18-22> (in Russ.)
22. Kostenko E.A., Lysenko I.O. Assessment of environmental risk when eating vegetable crops grown in the agricultural zone of Stavropol. *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2015; (2): 225–9. (in Russ.)
23. Skal'nyy A.V., Sal'nikova E.V., Kvan O.V., Sizentsov A.N., Sal'nikov I.A. Examine the relationship of zinc bioaccumulation in food and human organism in the Orenburg region. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016; (10): 79–81. (in Russ.)
24. Belan L.N., Amirova Z.K., Valiullina A.U., Shamsutdinova L.R., Khakimova A.A. Heavy metals in soils of industrial, recreational and residential areas in Ufa city. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2015; 17(6): 169–73. (in Russ.)
25. Kuramshin E.M., Kuramshina N.G., Nurtdinova E.E., Imashev U.B. Geochemical assessment of heavy metal pollution urban soils of Bashkortostan. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal*. 2015; 22(2): 74–9. (in Russ.)
26. State report «On the state and use of land in the Republic of Bashkortostan in 2019». Ufa; 2020. (in Russ.)
27. Republic of Bashkortostan: Statistical Reference book. Ufa; 2019. (in Russ.)
28. Larionova T.K., Takaev R.M., Fasikov R.M. Comparative analysis of chemical elements content in biological environments of urban and rural population of the Republic of Bashkortostan. In: *Proceedings of the Conference «Human Ecology, Hygiene and Environmental Medicine at the Turn of the Century: State and Prospects» [Materialy konferentsii «Ekologiya cheloveka, gigiena i meditsina okruzhayushchey sredy na rubezhe vekov: sostoyanie i perspektivy»]*. Moscow; 2006: 98–102. (in Russ.)
29. Skal'nyy A.V. *Chemical Elements in Human Physiology and Ecology [Khimicheskie elementy v fiziologii i ekologii cheloveka]*. Moscow; 2004. (in Russ.)