



Ханалиев В.Ю.<sup>1</sup>, Абдулагатов И.М.<sup>1,2</sup>, Моллаева Н.Р.<sup>1</sup>, Петросова В.Г.<sup>1</sup>,  
Яхияев М.А.<sup>3</sup>, Салихов Ш.К.<sup>3</sup>

## Роль тяжёлых металлов в этиологии артериальной гипертензии

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Минздрава России, 367000, Махачкала, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», 367000, Махачкала, Россия;

<sup>3</sup>Прикаспийский институт биологических ресурсов, ФГБУН «Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», 367000, Махачкала, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Тяжёлые металлы (ТМ) могут накапливаться в организме человека и влиять на его здоровье, в том числе вызывать гипертензию.

**Цель исследования** — установление связи между содержанием свинца, кадмия, марганца, никеля в почве и цельной крови пациентов с распространённостью артериальной гипертензии (АГ) среди взрослого населения Кизилюртовского района Дагестана.

**Материалы и методы.** Отбор проб почв (смешанных образцов) проведён с площадок с однородным почвенным покровом. В каждом населённом пункте отбирали по 10 почвенных проб. Цельную кровь брали у 10 пациентов из каждого из 11 населённых пунктов, всего у 110 участников в возрасте от 18 до 60 лет с АГ. Анализы почв и цельной крови на содержание ТМ проводили в трёхкратной повторности с использованием атомно-абсорбционный спектрометрии на приборе МГА-915МД. Для изучения связи между показателями ТМ и АГ у населения использовали модели линейной регрессии. Полученные данные обработаны с использованием программного обеспечения Python (версия 3.10.9), R (версия 4.1.2) и пакета прикладных программ Statistica 6.0. Статистическую значимость определяли как значение  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Установлено, что накопление свинца в почвах населённых пунктов Кизилюртовского района составляло 8–41 мг/кг, что эквивалентно 0,13–0,68 предельно допустимой концентрации (ПДК) подвижной формы этого элемента; содержание кадмия — 0,87 ПДК, марганца — 0,89, никеля — 0,14. Статистический анализ показателей содержания ТМ в почвах исследуемой территории и данных о распространённости АГ указывает на прямую связь слабой силы для кадмия, марганца, никеля и заметной силы для свинца по шкале Чеддока. При анализе цельной крови пациентов с АГ также обнаружена статистически значимая связь средней и высокой силы между содержанием свинца и кадмия с АГ.

**Ограничения исследования.** Ограничения исследования связаны с разовым отбором проб в течение одного года.

**Заключение.** Исследование показало значимую связь между уровнями содержания ТМ и распространённостью АГ. Уровень ТМ в почве может играть существенную роль в этиологии АГ, что свидетельствует о значимом воздействии геохимической среды на её развитие. Следовательно, важно учитывать содержание в почвах ТМ, поскольку они могут попадать в организм человека через пищевую цепь и накапливаться, влияя на элементный статус.

**Ключевые слова:** почва; цельная кровь; свинец; кадмий; марганец; никель; артериальная гипертензия

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование соответствовало Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.), программа была утверждена на заседании Учёного совета ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 25 от 24.02.2025 г.). Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Ханалиев В.Ю., Абдулагатов И.М., Моллаева Н.Р., Петросова В.Г., Яхияев М.А., Салихов Ш.К. Роль тяжёлых металлов в этиологии артериальной гипертензии. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(7): 832–838. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-7-832-838> <https://elibrary.ru/fhqhru>

**Для корреспонденции:** Абдулагатов Ильмутдин Магомедович, e-mail: [ilmutdina@gmail.com](mailto:ilmutdina@gmail.com)

**Участие авторов:** Ханалиев В.Ю. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Абдулагатов И.М. — критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания текста статьи, редактирование; Моллаева Н.Р. — критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания текста статьи, редактирование; Петросова В.Г. — анализ материала, обобщение полученных данных, написание текста; Яхияев М.А., Салихов Ш.К. — статистическая обработка данных, обзор литературы. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 30.12.2024 / Поступила после доработки: 03.03.2025 / Принята к печати: 26.06.2025 / Опубликовано: 20.08.2025

Visampasha Y. Khanaliev<sup>1</sup>, Ilmutdin M. Abdulagatov<sup>1,2</sup>, Naida R. Mollaeva<sup>1</sup>,  
Victoria G. Petrosova<sup>1</sup>, Magomedpazil A. Yahyaev<sup>3</sup>, Shamil K. Salikhov<sup>3</sup>

## Assessment of the role of heavy metals in the etiology of arterial hypertension in the population

<sup>1</sup>Dagestan State Medical University, Makhachkala, 367025, Russian Federation;

<sup>2</sup>Dagestan State University, Makhachkala, 367000, Russian Federation;

<sup>3</sup>Precaspian Institute of Biological Resources of the Daghestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, 367000, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Heavy metals (HM) can accumulate in the human body and affect its health, including causing hypertension.

**The aim of the study** was to establish a relationship between the content of lead, cadmium, manganese, and nickel in soil and whole blood in patients with the prevalence of arterial hypertension (AH) among the adult population of the Kizilyurt region of Dagestan.

**Materials and methods.** Soil sampling was carried out from sites with a homogeneous soil cover, from which mixed soil samples were taken. In each locality, ten soil samples were taken. Whole blood was taken from 10 patients from each 11 localities, from a total of 110 participants aged 18 to 60 years with hypertension pathology. Soil and whole blood analyses for TM content, in 3-fold repetition were performed using atomic absorption spectrometry on an MGA-915MD instrument. Linear

regression models were used to study the relationship between HM and AH indicators of the population. The data obtained were processed using Python software (version 3.10.9), K. (version 4.1.2), and the Statistica 6.0 software package. Statistical significance was determined as a *p* value of less than 0.05.

**Results.** Accumulation of lead in the soils of settlements in the Kizilyurt region was found to vary from 8 mg/kg to 41 mg/kg, which is equivalent to 0.13–0.68 of maximum permissible concentration (MPC) of the mobile form of this element. The content of cadmium is 0.87, manganese is 0.89, and nickel is 0.14 MPC. Statistical analysis of the HM content in the soils of the studied area and data on the prevalence of AH indicates to a direct relationship between the weak strength for cadmium, manganese, nickel and the noticeable strength for lead on the Chaddock scale. When analyzing the whole blood in patients with hypertension, a statistically significant association of lead and cadmium levels with pathology was also found to be of medium and high strength.

**Limitations.** The limitations of the study are related to one-time sampling during one year.

**Conclusion.** This study showed a significant relationship between TM levels and the prevalence of hypertension. The level of TM in the soil can play a significant role in the etiology of hypertension, which indicates a significant impact of the geochemical environment on its development. Therefore, it is important to take into account the content of HMS in soils, since they can enter the human body through the food chain and accumulate, affecting its elemental status.

**Keywords:** soil; whole blood; lead; cadmium; manganese; nickel; arterial hypertension

**Compliance with ethical standards.** Minutes No. 25 of the meeting of the Academic Council of the Dagestan State Medical University dated 02/24/2025. All participants gave informed voluntary written consent to participate in the study.

**For citation:** Khanaliev V.Y., Abdulatov I.M., Mollaeva N.R., Petrosova V.G., Yahyaev M.A., Salikhov Sh.K. Assessment of the role of heavy metals in the etiology of arterial hypertension in the population. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(7): 832–838. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-7-832-838> <https://elibrary.ru/fhghru> (In Russ.)

**For correspondence:** Ilmutdin M. Abdulatov, e-mail: [ilmutdina@gmail.com](mailto:ilmutdina@gmail.com)

**Contribution:** Khanaliev V.Yu. — concept and design of the study, writing the article, editing the text; Abdulatov I.M., Mollaeva N.R. — critical revision with the introduction of valuable intellectual content of the text of the article, preparation of the article for publication; Petrosova V.G. — analysis of the material, writing an article, generalization of the data obtained; Yahyaev M.A., Salikhov Sh.K. — literature review, statistical data processing.

All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** The study had no sponsorship.

Received: December 30, 2024 / Revised: March 3, 2025 / Accepted: June 26, 2025 / Published: August 20, 2025

## Введение

Артериальная гипертензия (АГ) — глобальная проблема здравоохранения, одна из основных причин смертности и инвалидности в мире [1, 2], мультифакторная патология [3]. АГ является причиной значительных экономических затрат, оказывающих влияние на систему здравоохранения. При этом велики и экономические потери, обусловленные снижением производительности труда из-за заболеваемости, инвалидности и смертности этой категории пациентов. Экономический ущерб от болезней системы кровообращения в России в 2016 г. составил 2,7 трлн рублей (3,2% годового ВВП) [4]. При этом на прямые затраты приходится лишь 8,1% потерь, а в экономике потери составляют 91,9% совокупного ущерба. АГ остаётся наиболее распространённой хронической патологией во многих странах [5], распространённость её к 2025 г. увеличится до 60%, это более 1,56 млрд человек во всём мире [6]. Важную роль в этиологии АГ играют тяжёлые металлы (ТМ), которые из окружающей среды поступают в организм и приводят к нарушению минерального баланса, формируя изменения в эндокринной, иммунной, репродуктивной системах [7, 8].

ТМ широко распространены в окружающей среде и стали глобальной проблемой из-за потенциального вреда для здоровья людей [9]. Попадая в организм, ТМ накапливаются по ходу биологической пищевой цепи «почва (вода) → растение → животное → продукция → человек» [10], могут биоаккумулироваться в организме, влиять на здоровье, в том числе потенцировать развитие АГ. Механизм накопления ТМ в организме при низких концентрациях в окружающей среде заключается в длительной биоаккумуляции, которая может стать причиной болезни [11, 12].

Влияние свинца на человека остаётся проблемой общественного здравоохранения из-за его способности накапливаться в организме при поступлении с пищевыми продуктами и питьевой водой [13] и влиять на здоровье. Даже малые концентрации свинца повышают кровяное давление и могут увеличить риск гипертонии [14]. Кадмий приводит к эндотелиальной дисфункции, ускоряет образование атеросклеротических бляшек, которые вызывают сердечно-сосудистые повреждения и в конечном итоге приводят к АГ [15]. Воздействие кадмия остаётся фактором риска высокого кровяного давления даже при низких концентрациях [16]. Накопление марганца в организме может вызвать воспаление

и дисфункцию эндотелия, что приводит к повышению кровяного давления, потребление Мп с пищей положительно связано с риском гипертонии [17]. Никель, в зависимости от дозы и продолжительности воздействия, также может вызывать АГ [18].

Таким образом, актуальность изучения геохимической причины АГ обусловлена воздействием ТМ, содержащихся в окружающей среде, на здоровье человека. Это одна из ведущих тем научных исследований последних лет. Выявление алиментарных факторов риска, объясняющих этиологию АГ, поможет сформировать новые подходы к её лечению и профилактике. На развитие АГ влияют многие факторы, в числе которых возраст, наследственность, образ жизни, пищевые привычки [11]. Это является одной из причин сложности определения связи АГ с содержанием ТМ в окружающей среде [19]. Нелинейная и многофакторная связь между АГ и концентрациями тяжёлых металлов представляет собой серьёзную проблему в случае применения традиционных линейных статистических подходов [20]. Связь содержания ТМ в почвах территории Дагестана и распространённости АГ среди населения остаётся недостаточно изученной. Ранее были проведены исследования, установившие связь между содержанием железа, меди, никеля и кобальта [21], магния, меди, марганца, цинка, молибдена [22] и распространённостью АГ среди населения.

В настоящей работе мы попытались экспериментальным путём найти прямую связь между содержанием ТМ в почвах и крови пациентов и распространённостью АГ в Кизилюртовском районе Дагестана. Это может стать основой (экспериментальной базой) разработки прогнозируемой машинной модели [23], проверки надёжности этих моделей для АГ и позволит не только прогнозировать, контролировать, но и корректировать связь влияния ТМ на АГ.

**Цель работы** — исследование взаимосвязи между содержанием ТМ (свинца, кадмия, марганца, никеля) в почвах и в цельной крови пациентов медицинских стационаров Кизилюртовского района Дагестана и АГ населения этого региона. Как было отмечено выше, причин АГ множество, в данном случае была исследована лишь связь патологии с содержанием ТМ. Мы оценили вклад каждого ТМ в риск развития АГ и характер воздействия (линейный или нелинейный), чтобы обеспечить индивидуальные подходы к лечению и профилактике болезни на основе контроля содержания ТМ.

Таблица 1 / Table 1

**Показатели распространённости артериальной гипертензии среди трудоспособного населения Кизилюртского района**  
**Prevalence of hypertension among the able-bodied population of the Kizilyurt district**

| Учреждение<br>Institution                                              | Численность<br>взрослого<br>населения<br>Adult population | 2015 год / year                               |                                                    | 2016 год / year                               |                                                    | 2017 год / year                               |                                                    |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                                        |                                                           | всего<br>зарегистрировано<br>total registered | из них<br>впервые<br>of them for the<br>first time | всего<br>зарегистрировано<br>total registered | из них<br>впервые<br>of them for the<br>first time | всего<br>зарегистрировано<br>total registered | из них<br>впервые<br>of them for the<br>first time |
| Новочиркейская УБ<br>N-Chirkei district hospital                       | 5154                                                      | 189                                           | 69                                                 | 204                                           | 61                                                 | 276                                           | 72                                                 |
| Зубутли-Миатлинская УБ<br>Z-Miatly local hospital                      | 6106                                                      | 317                                           | 59                                                 | 303                                           | 51                                                 | 337                                           | 67                                                 |
| Чонтаульская УБ<br>Chontaulskaya district hospital                     | 4211                                                      | 305                                           | 22                                                 | 302                                           | 31                                                 | 311                                           | 70                                                 |
| Акнадинская ВА<br>Aknadinsky medical ambulatory                        | 2234                                                      | 116                                           | 16                                                 | 120                                           | 8                                                  | 112                                           | 26                                                 |
| Кироваульская ВА<br>Kirovaul medical ambulatory                        | 2115                                                      | 107                                           | 23                                                 | 112                                           | 40                                                 | 113                                           | 41                                                 |
| Гельбахская ВА<br>Gelbach medical ambulatory                           | 2416                                                      | 140                                           | 23                                                 | 137                                           | 12                                                 | 132                                           | 26                                                 |
| Комсомольская ВА<br>Komsomolsk medical ambulatory                      | 5615                                                      | 337                                           | 25                                                 | 356                                           | 32                                                 | 349                                           | 39                                                 |
| Кульзёбская ВА<br>Kulzeb medical ambulatory                            | 1912                                                      | 117                                           | 11                                                 | 111                                           | 8                                                  | 107                                           | 14                                                 |
| Стальская ВА<br>Stalskaya medical ambulatory                           | 5536                                                      | 330                                           | 68                                                 | 345                                           | 113                                                | 335                                           | 69                                                 |
| Султанянгиуртовская ВА<br>Sultanyangiyurtovskaya medical<br>ambulatory | 6514                                                      | 366                                           | 104                                                | 397                                           | 74                                                 | 371                                           | 98                                                 |
| Нечаевская ВА<br>Nechaevskaya medical ambulatory                       | 4682                                                      | 254                                           | 19                                                 | 266                                           | 54                                                 | 281                                           | 74                                                 |

## Материалы и методы

**Обследуемое население. Сбор данных.** Эффективным инструментом для определения содержания ТМ в организме является биомониторинг на основе данных о населении. Проведён анализ содержания ТМ в цельной крови пациентов с АГ, поскольку концентрация ТМ в крови считается хорошим биомаркером воздействия металлов и отражает их кумулятивное воздействие. Обследованием были охвачены населённые пункты Кизилюртского района с минимальным уровнем миграции коренного населения. Для анализа показателей распространённости АГ среди населения использовали данные Кизилюртской центральной районной больницы.

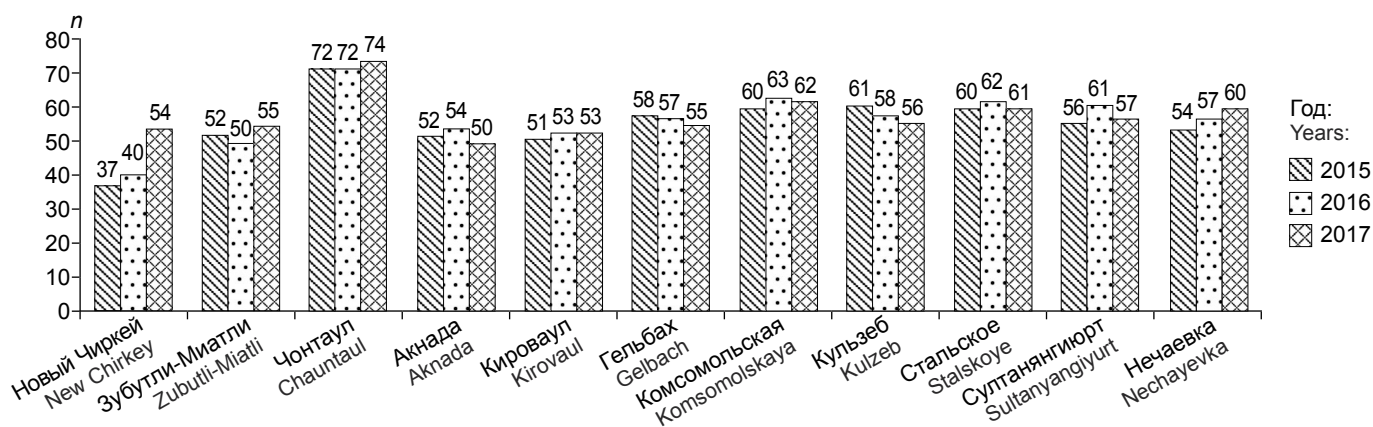
Образцы цельной крови брали из локтевой вены утром натощак. Образцы отбирали в вакуумные контейнеры (Vacuette 456084) и хранили в холодильнике в замороженном виде до проведения анализа. Заборы крови выполняли в лабораториях медицинских учреждений района. В каждом населённом пункте случайным образом выбирали по 10 человек с АГ, используя простой метод случайной выборки. В исследовании, проведённом с октября 2015 г. по февраль 2016 г., участвовали 110 человек (11 × 10) в возрасте от 18 до 60 лет и старше. В распределении существенных различий по полу, статусу курения, употреблению алкоголя, семейной истории АГ, применению антигипертензивных средств и уровню образования не обнаружено. Протокол настоящего исследования одобрен институтским наблюдательным советом.

**Характеристика изучаемой группы.** В табл. 1 представлена статистика изучаемых групп по годам исследования. Все участники жили на территории Кизилюртского района. Распространённость АГ среди жителей варьируется в зависимости от населённого пункта. За годы наблюдений отмечено увеличение числа пациентов с диагнозом АГ. Основные показатели распространённости АГ среди взрослого

населения по населённым пунктам Кизилюртского района приведены на рисунке. Самая высокая заболеваемость АГ на 1000 населения отмечена в населённых пунктах Чонтаул, Кульзёб, Стальское, Султанянгиурт (6–7,2%). В остальных сёлах района распространённость АГ составляла 3,7–5,8%.

**Определение концентраций ТМ в почве и крови.** Содержание ТМ в почвах исследовали в лаборатории экологического мониторинга Дагестанского государственного университета. В ходе исследований выбирали участки размером 25 м<sup>2</sup> с однородным почвенно-растительным покровом. Таким образом можно получить достоверные результаты (репрезентативные данные), так как исключается влияние факторов, которые могут варьироваться на малых площадях. С участка отбирали смешанный образец почвы (на глубине пахотного слоя), состоящий из пятиточечных проб, взятых по методу конверта. Почвенные образцы смешивали, после чего ≈ 50 г почвы освобождали от камней, корней и других включений, тщательно перемешивали, высыпали в чистый мешочек. В каждом населённом пункте Кизилюртского района отбирали по 10 почвенных проб в трёхкратной повторности.

Определение содержания ТМ в почвах и цельной крови проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии в режиме электротермической атомизации на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД [24] в среде аргона высокой чистоты (99,998%). Концентрацию металлов определяли путём сравнения анализируемого раствора со стандартными растворами свинца, кадмия, марганца, никеля (концентрация 1 мг/см<sup>3</sup>) с использованием калибровки. Погрешность измерений составляла менее 1% при уровне достоверности  $p = 95\%$ . Содержание металла в анализируемом образце рассчитывали с использованием простого соотношения  $x = kC$ , где  $C$  — содержание металла в образце по калибровочной кривой, мг/дм<sup>3</sup>;  $k$  — коэффициент, учитывающий разбавление или концентрацию.



Показатели заболеваемости артериальной гипертензией взрослого населения по населённым пунктам Кизилюртовского района, случаев (n) на 1000 населения.

Indices of morbidity in the adult population of hypertension in the settlements of Kizilyurt district, cases (n) per 1,000 population.

**Статистический анализ.** Статистический анализ результатов исследований проводили с использованием программного обеспечения Python (версия 3.10.9), R. (версия 4.1.2) и пакета прикладных программ Statistica 6.0. Для оценки связи уровней ТМ в почве и в цельной крови с АГ пациентов использовали многомерную линейную модель. Для определения типа распределения выборки применён критерий Шапиро – Уилка. Для данных с нормальным распределением использован корреляционный тест Пирсона и *t*-критерий Стьюдента. Статистическую значимость определяли как значение  $p < 0,05$ .

## Результаты

Результаты настоящего исследования показали, что концентрации свинца в почвах территории отдельных поселений Кизилюртовского района варьировались в пределах 8–41 мг/кг (0,13–0,68 ПДК его подвижной формы); содержание кадмия составляло 0,87 ПДК; марганца – 0,89 ПДК; никеля – 0,14 ПДК (табл. 2).

Таким образом, в изученных населённых пунктах не отмечено превышения ПДК ТМ в почвах. Лишь содержание свинца, кадмия и марганца было близко к ПДК. Тем не менее,

Таблица 2 / Table 2

### Содержание тяжёлых металлов в почвах и крови жителей населённых пунктов Кизилюртовского района

The content of heavy metals (HM) in the soils and blood of the inhabitants of settlements of the Kizilyurt district

| Населённый пункт<br>Locality                                                                                                                    | Объект исследования<br>The object of research | Металл   Metal |                  |                      |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|------------------|----------------------|-----------------|
|                                                                                                                                                 |                                               | свинец   lead  | кадмий   cadmium | марганец   manganese | никель   nickel |
| Новый Чиркей   New Chirkey                                                                                                                      | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 8              | 0.01             | 236                  | 1.6             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 213            | 5.1              | 30.6                 | 3.9             |
| Зубутли-Миатли   Zubutli Miatli                                                                                                                 | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 26             | 0.15             | 405                  | 3.6             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 228            | 5.8              | 35.2                 | 4.4             |
| Чонтаул   Chontaul                                                                                                                              | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 41             | 0.09             | 271                  | 2.4             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 256            | 6.4              | 34.6                 | 4.2             |
| Акнада   Aknada                                                                                                                                 | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 29             | 0.045            | 271                  | 3.6             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 231            | 5.5              | 33.5                 | 4.1             |
| Кироваул   Kirovaul                                                                                                                             | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 38             | 0.01             | 228                  | 2.9             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 240            | 5.3              | 30.1                 | 3.7             |
| Гельбах   Gelbach                                                                                                                               | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 38             | 0.85             | 534                  | 10.0            |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 246            | 6.8              | 35.9                 | 4.8             |
| Комсомольская   Komsomolskaya                                                                                                                   | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 23             | 0.48             | 324                  | 4.6             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 237            | 6.5              | 33.1                 | 4.3             |
| Кульзеб   Kulzeb                                                                                                                                | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 34             | 0.64             | 333                  | 6.0             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 249            | 7.1              | 34.3                 | 4.5             |
| Стальское   Stalskoe                                                                                                                            | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 29             | 0.088            | 298                  | 2.4             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 243            | 5.6              | 32.4                 | 4.0             |
| Султанянгиюрт   Sultanyanhiyurt                                                                                                                 | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 25             | 0.44             | 306                  | 4.8             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 234            | 6.3              | 33.7                 | 4.6             |
| Нечаевка   Nechaevka                                                                                                                            | Почва, мг/кг   Soil, mg/kg                    | 13             | 0.87             | 289                  | 3.2             |
|                                                                                                                                                 | Кровь, мкг/л   Blood, µg/L                    | 221            | 6.1              | 31.5                 | 4.2             |
| ПДК подвижной формы ТМ в почве, мг/кг (экстрагент 1 н. HCl) [25]<br>MPC of the mobile form of HM in the soil, mg/kg (extractant 1 N. HCl)* [25] |                                               | 60             | 1                | 600                  | 36              |
| Норма содержания в крови здоровых людей [26]<br>The norm in the blood [26]                                                                      |                                               | 210            | 5.2              | 1.6–75               | 10–50           |

Таблица 3 / Table 3

Показатели связи заболеваемости артериальной гипертензией населения и содержания ТМ в почвах и цельной крови,  $p \leq 0.05$   
Indices of the relation between the incidence of hypertension in the population and the content of HM in soils and whole blood,  $p \leq 0.05$

| Показатель<br>Index                                                                          | Объект<br>исследования<br>The object<br>of research | Металл   Metal        |                           |                           |                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                                                                              |                                                     | свинец<br>lead        | кадмий<br>cadmium         | марганец<br>manganese     | никель<br>nickel          |
| Корреляция по Пирсону<br>Pearson correlation                                                 | Почва   Soil                                        | 0.681                 | 0.244                     | 0.215                     | 0.249                     |
|                                                                                              | Кровь   Blood                                       | 0.867                 | 0.678                     | 0.554                     | 0.372                     |
| <i>t</i> -критерий Стьюдента<br>Student's <i>t</i> -test                                     | Почва   Soil                                        | 2.791                 | 0.756                     | 0.662                     | 0.772                     |
|                                                                                              | Кровь   Blood                                       | 5.214                 | 2.766                     | 2.0                       | 1.2                       |
| Парная линейная<br>регрессия<br>Pair linear regression                                       | Почва   Soil                                        | $y = 0.566x + 40.082$ | $y = 53.66284 + 6.21647x$ | $y = 48.94153 + 0.02136x$ | $y = 51.93734 + 0.91826x$ |
|                                                                                              | Кровь   Blood                                       | $y = 0.592x - 84.125$ | $y = 9.11x + 0.651$       | $y = 2.557x - 29.082$     | $y = 9.965x + 13.423$     |
| Коэффициент регрессии<br>детерминации $r^2$<br>Determination regression<br>coefficient $r^2$ | Почва   Soil                                        | 0.464                 | 0.6                       | 0.046                     | 0.062                     |
|                                                                                              | Кровь   Blood                                       | 0.751                 | 0.46                      | 0.307                     | 0.138                     |
| Средняя ошибка<br>аппроксимации, %<br>Mean approximation error, %                            | Почва   Soil                                        | 9.91                  | 10.6                      | 11.0                      | 10.7                      |
|                                                                                              | Кровь   Blood                                       | 6.34                  | 8.33                      | 10.81                     | 10.56                     |

как это следует из табл. 3, статистический анализ данных ГБУ РД «Кизилюртовская ЦРБ» о заболеваемости АГ и концентраций ТМ (свинца, кадмия, марганца, никеля) в почвах исследуемой территории и показал прямую связь слабой силы по шкале Чеддока для кадмия, марганца, никеля и связь заметной силы для свинца.

Выявлена статистически значимая связь средней и высокой силы для содержания в цельной крови свинца и кадмия с распространённостью АГ, что, вероятно, связано с превышением нормативов этих ТМ в крови здорового человека: 1,43–21,9% – свинец; 1,9–36,5% – кадмий. Ввиду широкого диапазона содержания в крови здорового человека марганца и никеля сложно определить статус этих ТМ (см. табл. 2).

Для почв критическое значение *t*-критерия Стьюдента при нашем числе степеней свободы ( $f = 9$ ) составляет 2,685, в настоящем исследовании оно было статистически значимым ( $p = 0,024$ ) лишь для свинца  $t_{набл} > t_{крит}$ . В остальных случаях этот показатель оказался незначимым для кадмия  $p = 0,47$ , марганца  $p = 0,53$  и никеля  $p = 0,46$ . В цельной крови значение *t*-критерия было значимым для свинца и кадмия, а для марганца и никеля значимость отсутствовала ввиду меньшего значения  $t_{набл}$ .

Обсуждение

Настоящее исследование и более ранние работы многих авторов подтверждают, что даже низкое содержание ТМ представляет угрозу для здоровья населения, а токсичность свинца не имеет порогового уровня для человека [27]. Результаты исследований указывают на важную роль в этиологии АГ поступающих из почв свинца [28], кадмия [29], марганца [17], никеля [18], что согласуется с нашими данными.

Обнаруженная положительная корреляционная связь содержания ТМ в цельной крови и патологии АГ (см. табл. 3) также подтверждается другими исследователями. Так, выявлена связь содержания свинца в цельной крови с риском гипертонии [30], отмечена положительная связь между содержанием кадмия в крови и гипертонией [31]. Однако обнаруженный J. Cheek и соавт. [18] значимый риск АГ от содержания марганца в крови не подтверждается нашими

исследованиями, так как связь между показателями распространённости АГ и содержанием марганца в почвах данного региона не являлась значимой.

**Ограничения исследования.** Ограничения связаны с разовым отбором проб в течение одного года. В идеале регулярный мониторинг и более частый отбор проб обеспечивают более точное представление о состоянии окружающей среды. Значимость и направление связи уровня ТМ в почве и АГ в зависимости от пола человека, статуса курения, употребления алкоголя, семейной истории АГ, этнической принадлежности, статуса приёма лекарств и категории индекса массы тела остаются нерешёнными.

Заключение

Настоящее исследование показало, что применительно к некоторым ТМ (свинец, кадмий, марганец, никель) наблюдается следующая закономерность: чем больше их содержание в почвах и цельной крови жителей района, тем выше заболеваемость населения АГ. Соответственно длительное проживание в районах, где зафиксировано высокое содержание ТМ в почве, имеет более высокий риск развития АГ. Попадание ТМ в организм сельских жителей Кизилюртовского района по биологической пищевой цепи «почва (вода) → растение → животное → продукция → организм человека» связано с тем, что местное население употребляет продукты, выращенные на собственных приусадебных участках. Поэтому при АГ особенно важно обратить внимание на лечебное питание, которое способствует восстановлению баланса металлов в организме. Однако значимость и направление связи уровня содержания ТМ в почве и АГ находятся в зависимости от многих факторов, таких как половое различие, статус курения, индекс массы тела, уровень образования, статус курения и употребления алкоголя, семейная история АГ, применение антигипертензивных средств. В дальнейшем планируется сосредоточить исследования на комплексном изучении содержания ТМ в почве и крови и их связи с АГ с учётом всех перечисленных факторов, а также на установлении стандартного биомаркёра воздействия ТМ. Результаты настоящих исследований демонстрируют необходимость более глубокого изучения этой проблемы.

## Литература

(п.п. 1–3, 5–9, 11–20, 23, 27–31 см. References)

4. Концевая А.В., Драпкина О.М., Баланова Ю.А., Имаева А.Э., Суворова Е.И., Худяков М.Б. Экономический ущерб сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации в 2016 году. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2018; 14(2): 156–66.
10. Теплая Г.А., Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы). *Астраханский вестник экологического образования*. 2013; (1): 182–92. <https://elibrary.ru/pxnttr>
21. Абдурахманов Г.М., Эржапова Э.С., Даудова М.Г. Корреляция между развитием патологий и превышением ПДК загрязняющих веществ в окружающей среде Республики Дагестан. *Юг России: экология, развитие*. 2013; (3): 117–25. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2013-3-117-125>
22. Яхияев М.А., Салихов Ш.К., Абусуев С.А., Хачиров Д.Г., Атаев М.Г., Абусуева З.С. Артериальная гипертензия — следствие нарушения микроэлементного статуса объектов биосферы. *Микроэлементы в медицине*. 2016; 17(2): 10–4. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-2-10-14> <https://elibrary.ru/wberwd>
24. Крысанова Т.А., Котова Д.Л., Бабенко Н.К. *Атомно-абсорбционная спектроскопия*. Воронеж; 2005.
25. Чудзжийан Х., Кирвета С., Фацек З. Тяжелые металлы в почвах и растениях. *Экологическая кооперация. Братислава*. 1988; (1): 5–24.
26. Алексеев В.А. *Экологическая геохимия*. М.: Логос; 2000.

## References

1. Mensah G.A., Fuster V., Murray C.J., Roth G.A. Mensah G.A., Abate Y.H., et al. Global burden of cardiovascular diseases and risks, 1990–2022. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2023; 82(25): 2350–473. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.11.007>
2. Brouwers S., Sudano I., Kokubo Y., Sulaica E.M. Arterial hypertension. *Lancet*. 2021; 398(10296): 249–61. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)00221-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)00221-x)
3. Harrison D.G., Coffman T.M., Wilcox C.S. Pathophysiology of hypertension. *Circ. Res.* 2021; 128(7): 847–63. <https://doi.org/10.1161/circresaha.121.318082>
4. Kontsevaia A.V., Drapkina O.M., Balanova Yu.A., Imaeva A.E., Suvorova E.I., Khudyakov M.B. Economic damage from cardiovascular diseases in the Russian Federation in 2016. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2018; 14(2): 156–66. <https://elibrary.ru/xnsqup>
5. Carey R.M., Moran A.E., Whelton P.K. Treatment of hypertension: a review. *JAMA*. 2022; 328(18): 1849–61. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.19590>
6. Xu J., White A.J., Niehoff N.M., O'Brien K.M., Sandler D.P. Airborne metals exposure and risk of hypertension in the Sister Study. *Environ. Res.* 2020; 191: 110144. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110144>
7. Okerefor U., Makhatha M., Mekuto L., Uche-Okerefor N., Sebola T., Mamumengwana V. Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(7): 2204. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072204>
8. Pan Z., Gong T., Liang P. Heavy metal exposure and cardiovascular disease. *Circ. Res.* 2024; 134(9): 1160–78. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.123.323617>
9. Nowicki G.J., Slusarska B., Prystupa A., Blicharska E., Adamczuk A., Czernecki T., et al. Assessment of Concentrations of heavy metals in postmyocardial infarction patients and patients free from cardiovascular event. *Cardiol. Res. Pract.* 2021; 2021: 9546358. <https://doi.org/10.1155/2021/9546358>
10. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor of environmental pollution (review). *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2013; (1): 182–92. <https://elibrary.ru/pxnttr> (in Russian)
11. Xu J., Engel L.S., Rhoden J., Jackson W.B., Kwok R.K., Sandler D.P. The association between blood metals and hypertension in the GuLF study. *Environ. Res.* 2021; 202: 111734. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111734>
12. Wen Z.J., Wei Y.J., Zhang Y.F., Zhang Y.F. A review of cardiovascular effects and underlying mechanisms of legacy and emerging per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Arch. Toxicol.* 2023; 97(5): 1195–245. <https://doi.org/10.1007/s00204-023-03477-5>
13. Fu Z., Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol. Mech. Methods*. 2019; 30(3): 167–76. <https://doi.org/10.1080/15376516.2019.1701594>
14. Collin M.S., Venkatraman S.K., Vijayakumar N., Kanimozhi V., Arbaaz S.M., Stacey R.G.S., et al. Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. *J. Hazard. Mater. Adv.* 2022; 7: 100094. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>
15. Vallée A., Gabet A., Grave C., Blacher J., Olié V. Associations between urinary cadmium levels, blood pressure, and hypertension: the ESTEBAN survey. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2020; 27(10): 10748–56. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07249-6>
16. Jeong J., Yun S., Kim M., Koh Y.H. Association of blood cadmium with cardiovascular disease in Korea: From the Korea national health and nutrition examination survey 2008–2013 and 2016. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(17): 6288. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176288>
17. Zhang Y., Liu M., Yang S., Zhang Y., Ye Z., Wu Q. Positive association between dietary manganese intake and new-onset hypertension: A nationwide cohort study in China. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 2024; 34(3): 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2023.11.005>
18. Cheek J., Fox S.S., Lehmler H.J., Titcomb T.J. Environmental nickel exposure and cardiovascular disease in a nationally representative sample of U.S. adults. *Expo. Health*. 2023; 16(2): 607–15. <https://doi.org/10.1007/s12403-023-00579-4>
19. Aung T.N.N., Shirayama Y., Moolphate S., Lorga T., Jannongprasatporn W., Yuasa M., et al. Prevalence and risk factors for hypertension among Myanmar migrant workers in Thailand. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*. 2022; 19(6): 3511. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063511>
20. Li W., Huang G., Tang N., Lu P., Jiang L., Lv J., et al. Effects of heavy metal exposure on hypertension: A machine learning modeling approach. *Chemosphere*. 2023; 337: 139435. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139435>
21. Abdurakhmanov G.M., Erzhapova E.S., Daudova M.G. Correlation between pathology and excess of maximum concentration limit of pollutants in the environment of the Republic of Dagestan. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. 2013; 8(3): 117–25. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2013-3-117-125> (in Russian)
22. Yahyaev M.A., Salikhov Sh.K., Abusuev S.A., Khachirov D.G., Atayev M.G., Abusueva Z.S. Hypertension — a consequence of violations of trace element status of objects of the biosphere. *Mikroelementy v meditsine*. 2016; 17(2): 10–4. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-2-10-14> <https://elibrary.ru/wberwd> (in Russian)
23. Russo S., Bonassi S. Prospects and pitfalls of machine learning in nutritional epidemiology. *Nutrients*. 2022; 14(9): 1705. <https://doi.org/10.3390/nu14091705>
24. Krysanova T.A., Kotova D.L., Babenko N.K. *Atomic Absorption Spectroscopy [Atomno-absorbtsionnaya spektroskopiya]*. Voronezh; 2005. (in Russian)
25. Chuldzhiyan K.H., Kirveta S., Fatsek Z. Heavy metals in soils and plants. *Ekologicheskaya kooperatsiya. Bratislava*. 1988; (1): 5–24. (in Russian)
26. Alekseenko V.A. *Ecological Geochemistry [Ekologicheskaya geokhimiya]*. Moscow: Logos; 2000. (in Russian)
27. Lanphear B.P., Rauch S., Auinger P., Allen R.W., Hornung R.W. Low-level lead exposure and mortality in US adults: a population-based cohort study. *Lancet Public Health*. 2018; 3(4): e177–84. [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(18\)30025-2](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(18)30025-2)
28. Charkiewicz A.E., Backstrand J.R. Lead toxicity and pollution in Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(12): 4385. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124385>
29. McCalla G., Brown P.D., Cole W.C., Campbell C., Nwokocha C.R. Cadmium-induced hypertension is associated with renal myosin light chain phosphatase inhibition via increased T697 phosphorylation and p44 mitogen-activated protein kinase levels. *Hypertens. Res.* 2021; 44(8): 941–54. <https://doi.org/10.1038/s41440-021-00662-w>
30. Tsoi M.F., Lo C.W.H., Cheung T.T., Cheung B.M.Y. Blood lead level and risk of hypertension in the United States National Health and Nutrition Examination Survey 1999–2016. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 3010. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82435-6>
31. Martins A.C., Almeida Lopes A.C.B., Urbano M.R., Carvalho de F.H.M., Silva A.M.R., Tinkov A.A., et al. An updated systematic review on the association between Cd exposure, blood pressure and hypertension. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021; 208: 111636. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111636>

## Сведения об авторах

**Ханалиев Висампаша Юсупович**, доктор мед. наук, профессор, зав. каф. фтизиопульмонологии, ректор ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России, 367000, Махачкала, Россия. E-mail: vis.kh@yandex.ru

**Абдулагатов Ильмутдин Магомедович**, доктор техн. наук, профессор, зав. каф. физической и органической химии ФГБОУ ВО ДГУ Минздрава России, 367000, Махачкала, Россия. E-mail: ilmutdina@gmail.com

**Моллаева Наида Раджабовна**, доктор мед. наук, профессор, зав. каф. психиатрии, медицинской психологии и наркологии, проректор по научной работе ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России, 367000, Махачкала, Россия. E-mail: naidadgma@mail.ru

**Петророва Виктория Герасимовна**, канд. мед. наук, ассистент каф. внутренних болезней педиатрического и стоматологического факультетов, ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России 367000, Махачкала, Россия. E-mail: dolcevida03@mail.ru

**Яхияев Магомедпазил Атагишиевич**, науч. сотр. лаб. по проблемам опустынивания и биогеохимии, Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, 367000, Махачкала, Россия. E-mail: pazil59@mail.ru

**Салихов Шамиль Курамагомедович**, науч. сотр. лаб. по проблемам опустынивания и биогеохимии, Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, 367000, Махачкала, Россия. E-mail: salichov72@mail.ru

### Information about authors

**Visampasha Y. Khanaliev**, DSc (Medicine), Professor, Chief of the Department of Phthisiopulmonology, Rector of the Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; Makhachkala, 367025, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0002-4875-1404> E-mail: vis.kh@yandex.ru

**Ilmutdin M. Abdulagatov**, DSc (Engineering), Professor, Chief, Physical and Organic Chemistry Department, Dagestan State University, Makhachkala, 367000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6299-5280> E-mail: ilmutdina@gmail.com

**Naida R. Mollaeva**, DSc (Medicine), Professor, Chief of the Department of psychiatry, medical psychology and narcology, Deputy Rector of the Dagestan State Medical University, Makhachkala, 367000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2332-2996> E-mail: naidadgma@mail.ru

**Victoria G. Petrosova**, PhD, (Medicine), assistant of the Department of Internal Diseases of the Pediatric and Dental Faculties, Dagestan State Medical University, Makhachkala, 367000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0393-3255> E-mail: dolcevida03@mail.ru

**Magomedpazil A. Yahyaev**, researcher at the Laboratory for desertification and biogeochemistry problems, Precaspian Institute of Biological Resources of the Daghestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, 367000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9955-5019> E-mail: pazil59@mail.ru

**Shamil K. Salikhov**, researcher at the Laboratory for desertification and biogeochemistry problems, Precaspian Institute of Biological Resources of the Daghestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, 367000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5531-3045> E-mail: salichov72@mail.ru

---