

Накопление тяжелых металлов в пищевых продуктах из прилегающих территорий Алавердского медно-химического комбината

Людмила С. Мирумян¹, Варужан С. Оганесян¹, Рузанна Г. Арутюнян¹, Марине В. Варданян¹, Армен С. Гаспарян², Людмила Г. Аванесян², Сирине А. Шогерян², Мадина З. Магомедова³, Патимат Д. Магомедова³, Жасмина А. Рустамова³, Асият Ш. Магомедова³, Лаура Д. Арутюнова¹

¹Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА, Ереван, Республика Армения

²Армянский государственный педагогический университет им. Х. Абовяна, Ереван, Республика Армения

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Лаура Д. Арутюнова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН РА; 0014 Республика Армения, г. Ереван, ул. П. Севака, 7. Тел. +37494574202
 Email zool_laura@yahoo.com
 ORCID <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>

Формат цитирования

Микумян Л.С., Оганесян В.С., Арутюнян Р.Г., Варданян М.В., Гаспарян А.С., Аванесян Л.Г., Шогерян С.А., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Рустамова Ж.А., Магомедова А.Ш., Арутюнова Л.Д. Накопление тяжелых металлов в пищевых продуктах из прилегающих территорий Алавердского медно-химического комбината // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, № 4. С. 131-136. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-10

Получена 22 июня 2024 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2024 г.

Принята 11 октября 2024 г.

Резюме

Цель: определить концентрацию тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb) в продуктах растительного и животного происхождения, подверженных влиянию Алавердского медно-химического комбината.

Материалом для данной работы послужили пищевые продукты растительного и животного происхождения (яйца, молоко, айва, топинамбур, красное яблоко, мушмула, королек, картофель), собранные из окрестностей Алавердского медно-химического комбината на расстоянии 5000–8000 м (с. Санайн, Одзун, Ахтала). Концентрации Cu, Zn, Pb определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (AAS extraction & ISO-8288).

Анализы показали, что содержание Pb в продуктах соответствует нормам, однако концентрации Cu и Zn превышают допустимые уровни. Негативное воздействие комбината на окружающую среду сохраняется и на расстоянии 8000 м. Загрязнение продуктов тяжелыми металлами может иметь экологические и биологические последствия.

Полученные результаты показали, что в окрестностях Алавердского медно-химического комбината пищевые продукты животного и растительного происхождения загрязнены тяжелыми металлами (Zn, Cu). Средние концентрации Cu и Zn в некоторых продуктах превышали максимально допустимые уровни, установленные международными организациями. Содержание меди и цинка на расстоянии 5000–8000 м от Алаверди, где находится медно-химический комбинат, выше нормы, содержание свинца соответствует норме. Превышающее норму содержание тяжелых металлов в пищевых продуктах является риском для здоровья населения, потенциально их употребление может нанести вред здоровью. Представленные результаты могут быть использованы для экологического мониторинга в горнодобывающих и металлургических районах.

Ключевые слова

Тяжелые металлы, медно-химический комбинат, Алаверди, пищевые продукты, экологический мониторинг.

Accumulation of heavy metals in food products from territories adjacent to the Alaverdi copper-chemical combine, Armenia

Lyudmila S. Mirumyan¹, Varuzhan S. Hovhannisyan¹, Ruzanna G. Harutyunyan¹, Marine V. Vardanyan¹,

Armen S. Gasparyan², Lyudmila G. Avanesyan², Sirine A. Shogheryan², Madina Z. Magomedova³,

Patimat D. Magomedova³, Jasmina A. Rustamova³, Asiyat Sh. Magomedova³ and Laura D. Harutyunova¹

¹Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Armenia

²Khachatur Abovyan Armenian State Pedagogical University, Yerevan, Armenia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Laura D. Harutyunova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia; 7 P. Sevak St, Yerevan, Armenia 0014.

Tel. +37494574202

Email zool_laura@yahoo.com

ORCID <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>

How to cite this article

Mirumyan L.S., Hovhannisyan V.S., Harutyunyan R.G., Vardanyan M.V., Gasparyan A.S., Avanesyan L.G., Shogheryan S.A., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Rustamova J.A., Magomedova A.Sh., Harutyunova L.D. Accumulation of heavy metals in food products from territories adjacent to the Alaverdi copper-chemical combine, Armenia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(4):131-136. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-10

Received 22 June 2024

Revised 14 September 2024

Accepted 11 October 2024

Abstract

Aim. Determination of heavy metals (Cu, Zn, Pb) concentration in plant- and animal-based food products (FP) in locations adjacent to the Alaverdi Copper Chemical Combine (CCC).

Analysis has been undertaken of local FP of plant and animal origin (eggs, milk, quince, Jerusalem artichoke, red apple, medlar, persimmon and potato) collected within 5,000–8,000 m from the Alaverdi CCC (villages of Sanahin, Odzun and Akhtala). Concentrations of Cu, Zn and Pb were determined using atomic absorption spectrophotometry (AAS extraction & ISO-8288).

Analyses revealed that Pb levels comply with permissible standards, whereas Cu and Zn concentrations exceed allowable limits. The combine's negative impact on the environment persists even at distance of 8,000 m. Contamination of FP with heavy metals may lead to adverse ecological and biological consequences.

The findings indicate that FP of plant and animal origin in the vicinity of the Alaverdi CCC are contaminated with heavy metals (Zn, Cu). Average Cu and Zn concentrations in some products exceed the maximum levels set by international standards. The elevated levels of copper and zinc at distances of 5,000–8,000 m from Alaverdi CCC present a health risk to the population with potential adverse effects from FP consumption. These results can be used for ecological monitoring in other mining and metallurgical regions.

Key Words

Heavy metals, copper-chemical plant, Alaverdi CCC, food products, environmental monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Потребление в пищу продуктов, загрязненных тяжелыми металлами, является важной проблемой современного здравоохранения, связанной с рисками для здоровья человека. В этом отношении важное значение имеет загрязнение микроэлементами в результате деятельности объектов горнодобывающей промышленности.

Горное дело и металлургия веками играли огромную роль в экономической жизни Армении. Алавердский медно-химический комбинат – промышленное предприятие в г. Алаверди, был образован путем слияния Алавердского медеплавильного завода с химическими заводами. Алавердский медно-химический завод работает с момента его приватизации в 1997 году, но его закрыли в 2018 году. Через 4 года завод вновь был открыт [1]. Крупнейший в

Армении промышленный объект расположен в центре г. Алаверди на северо-востоке Армении, в Лорийской области, недалеко от границы с Грузией ($41^{\circ}05'28,3''$ с.ш., $44^{\circ}39'32,4''$ в.д.), на высоте 1000 м над уровнем моря. Район окружен высокими горами и лесами (рис. 1).

Ранее в Армении проводились исследования по накоплению тяжелых металлов в организмах беспозвоночных, обитающих в почве, растениях, гидроэкосистемах [2–6]. Однако в условиях постоянно меняющейся экологической ситуации возникает необходимость в продолжении подобных исследований.

Целью работы является измерение концентрации некоторых тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb) в пищевых продуктах, собранных из окрестностей Алавердского медно-химического комбината.

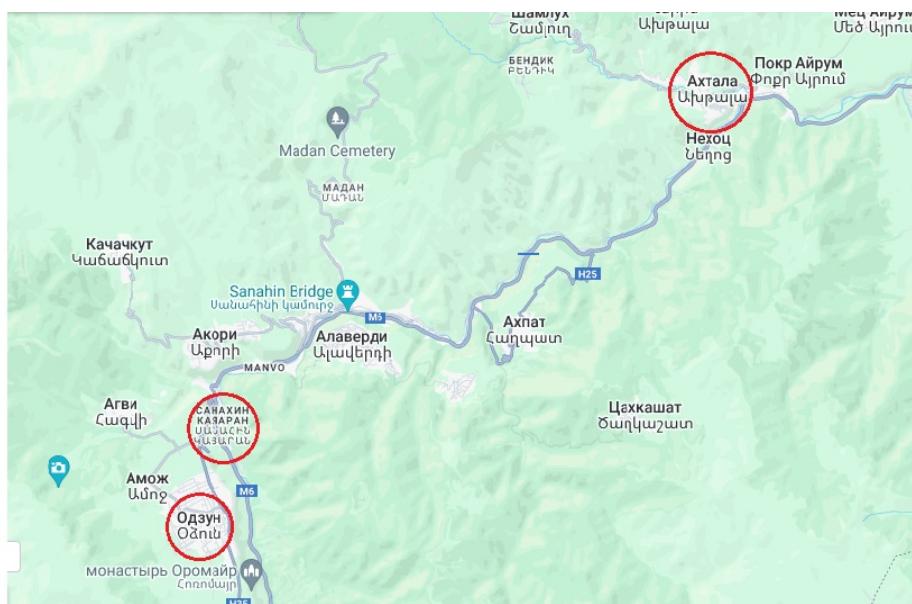


Рисунок 1. Карта г. Алаверди и его окрестностей
Figure 1. Map of Alaverdi and its surroundings

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал для исследования собран из прилегающих территорий Алавердского медно-химического комбината, в населенных пунктах Сананин, Одзун и в окрестностях Ахтала, находящихся на расстоянии от 5000 до 8000 м от города Алаверди (табл. 1). На определение количества содержания тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) были взяты пробы из следующих пищевых продуктов: яиц, молока, айвы, топинамбура, красных яблок, мушмулы, королька – по 30 экземпляров каждого продукта. Все продукты были переданы нами в Республиканский ветеринарно-

санитарный и фитосанитарный центр лабораторных исследований. Был применен метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии AAS extraction & ISO-8288 определения токсичных элементов в пищевых продуктах и пищевом сырье. Взаимосвязь между содержанием тяжелых металлов (ТМ), а также между ТМ и биомассой определяли по критерию Стьюдента (t-тест) [7]. Работа выполнена в Научном Центре зоологии и гидроэкологии НАН Республики Армения и Армянском государственном педагогическом университете им. Х.Абовяна (Лаборатория оценки экологического мониторинга, по программе 10-5/1-4).

Таблица 1. Координаты пунктов сбора в окрестностях г. Алаверди

Table 1. Coordinates of collection points in the surroundings of Alaverdi CCC

Пункты сбора Collection points	Широта Latitude	Долгота Longitude	Высота н.у.м. Height ASL	Расстояние от комбината в м Distance from Combine in m
Сананин Sanahin	$41^{\circ} 5'9.28''\text{C}$	$44^{\circ}39'54.16''\text{B}$	1077	8000
Одзун Odzun	$41^{\circ} 2'48.28''\text{C}$	$44^{\circ}36'41.38''\text{B}$	1144	7000
Ахтала Akhtala	$41^{\circ} 8'59.90''\text{C}$	$44^{\circ}46'13.87''\text{B}$	677	5000

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании были измерены концентрации некоторых тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb) в продуктах, потенциально подверженных влиянию эксплуатации Алавердского медно-химического комбината, на основании которых оценены загрязнение тяжелыми металлами и их экологические и биологические последствия. Концентрации тяжелых металлов (Cu, Zn и Pb) измерялись в различных пищевых продуктах: овощах (топинамбур, картофель), фруктах (яблоки,

мушмула, королек, айва), молоке и яйцах с целью оценки накопления в них тяжелых металлов. По результатам анализов на тяжелые металлы (по МУК 4.1.98600, ГОСТ EN 14084-2014) показано, что в результате эксплуатации металлургического предприятия в яйцах, яблоках, мушмule, топинамбуру, корольке, картофеле, айве и молоке содержание свинца соответствует норме, а содержание меди и цинка превышает норму (табл. 2, 3).

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в продуктах растительного происхождения по ГОСТ EN 14084-2014
Table 2. Content of heavy metals in products of plant origin according to GOST EN 14084-2014

Показатели по ГОСТ EN 14084-2014 Indices according to GOST EN 14084-2014	Пункты сбора Collection points	Одзун Odzun	Санаин Sanahin	Санаин Sanahin	Aхтала Akhtala	Aхтала Akhtala	Aхтала Akhtala
					Продукты Products	Картофель Potato	Яблоко Apple
Свинец Plumbum		<0,02	<0,02	<0,021	0,026	<0,02	0,02
Медь Copper		0,8	<0,5	1,5	1,5	<0,5	0,9
Цинк Zinc		2,4	<0,5	1,8	3,8	<0,5	2,4

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в продуктах животного происхождения по ГОСТ EN 14084-2014
Table 3. Content of heavy metals in products of animal origin according to GOST EN 14084-2014

Показатели по ГОСТ EN 14084-2014 Indices according to GOST EN 14084-2014	Пункты сбора Collection points	Ахтала Akhtala	Санаин Sanahin		
			Продукты Products	Яйцо Egg	Молоко Milk
Свинец Plumbum		<0,02		<0,02	
Медь Copper		0,5		<0,5	
Цинк Zinc		11,3		2,4	

Рассчитанная с помощью критерия достоверности разницы по Стьюденту [7] взаимосвязь между тяжелыми металлами и биомассой (M, N) показала, что во всех продуктах показатели свинца (Pb) в пределах нормы, а содержание меди (Cu) и цинка (Zn) – выше нормы (табл. 4). В тех продуктах, где показатель

достоверности (р) меньше 0,05, указывает на высокое содержание тяжелых металлов: медь (Cu) – достоверно повышенное содержание в топинамбуре, мушмule, картофеле и айве, цинк (Zn) – в пределах нормы в яблоках и корольке, в остальных продуктах содержание достоверно повышенено.

Таблица 4. Сравнительные показатели содержания тяжелых металлов в пищевых продуктах (M ± m, N=30)
Table 4. Comparative indicators of heavy metal content in food products (M ± m, N=30)

Наименование продукта Product Name	Свинец Plumbum	Медь Copper	Цинк Zinc
Яйцо / Egg	0,02±0,0013	0,5±0,0051*	11,3±0,087*
Топинамбур / Jerusalem artichoke	0,026±0,002	1,5±0,0028*	3,8±0,17*
Яблоко / Apple	0,02±0,0021	0,5±0,073*	0,5±0,064*
Мушмула / Medlar	0,02±0,003	1,5±0,0019*	1,8±0,021*
Королек / Kinglet fruit	0,02±0,002	0,5±0,0061*	0,5±0,071*
Картофель / Potato	0,02±0,003	0,8±0,073*	2,4±0,22*
Айва / Quince	0,02±0,002	0,9±0,081*	2,4±0,23*
Молоко / Milk	0,02±0,0013	0,5±0,0049*	2,4±0,27*

Примечание: * – обозначены достоверные значения ($p < 0,05$)

Note: * – significant values are indicated ($p < 0.05$)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в окрестностях Алавердского медно-химического комбината пищевые продукты животного и растительного происхождения загрязнены тяжелыми металлами (Zn, Cu). Содержание меди и цинка на расстоянии 5000–8000 м от города Алаверди, где находится медно-химический комбинат, выше нормы, содержание свинца соответствует норме. Отсюда следует, что даже на расстоянии 8000 м от промышленного объекта сохраняется его воздействие на окружающую среду, а Алавердский медно-химический комбинат представляет собой источник экологического загрязнения. Превышающее норму содержание тяжелых металлов в пищевых продуктах является риском для здоровья населения. Представленные результаты могут быть использованы для экологического мониторинга в горнодобывающих и металлургических районах.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Комитета по высшему образованию и науке РА в рамках научного проекта № 10-5/I-4.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out with the support of the Committee on Higher Education and Science of the Republic of Armenia within the framework of Scientific Project No. 10-5/I-4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Petrosyan V., Orlova A., Dunlap Ch., Babayan E., Farfel M., Von Braun M. Lead in Residential Soil and Dust in a Mining and Smelting District in Northern Armenia: A Pilot Study // Environ. Res. 2004. V. 94. N 3. P. 297–308.
[https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(03\)00113-0](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(03)00113-0)
- 2.Hovhannisyan V., Vaseashta A., Avanesyan L., Sadoyan R., Gasparyan A., Shogheryan S., Harutyunova L., Mirumyan L., Gevorgyan G., Ecological Characterization and Bio-Mitigation Potential of Heavy Metal Contamination in Metallurgically Affected Soil // Applied Sciences. 2022. V. 12. N 13. Article ID: 6312. P. 1–12.
<https://doi.org/10.3390/app12136312>
- 3.Оганесян В.С., Арутюнова Л.Д., Мирумян Л.С., Магомедова М.З., Магомедова П. Д., Погосян Т.Э. Особенности накопления тяжелых металлов в организме моллюсков (Mollusca: Limacidae) южного склона горного массива Арагац // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17. N 2. С. 37–41.
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-2-37-41>
- 4.Gevorgyan G., Mamyan A., Boshyan T., Vardanyan T., Vaseashta A. Heavy Metal Contamination in an Industrially Affected River Catchment Basin: Assessment, Effects, and Mitigation // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. V.18. no. 6, article id: 2881.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18062881>
- 5.Mamyan, A.S., Gevorgyan G.A. Comparative Investigation of the River Phytoplankton of the Debed River Catchment Basin's Mining and Non-mining Areas // Biol. J. Armen. 2017. V. 69. N 4. P. 50–55.
- 6.Pipoyan D., Beglaryan M., Sireyan L., Merendino N. Exposure assessment of potentially toxic trace elements via consumption of fruits and vegetables grown under the impact of Alaverdi's mining complex // Human and Ecological Risk Assessment. 2018. V. 25. Iss. 4. P. 819–834.
<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1452604>
- 7.William Sealy Gosset Student. The Probable Error of a Mean // Biometrika. 1908. V. 6. N 1. P.1–25.
<http://dx.doi.org/10.2307/2331554>

REFERENCES

1. Petrosyan V., Orlova A., Dunlap Ch., Babayan E., Farfel M., Von Braun M. Lead in Residential Soil and Dust in a Mining and Smelting District in Northern Armenia: A Pilot Study. *Environ. Res.*, 2004, vol. 94, no. 3, pp. 297–308.
[https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(03\)00113-0](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(03)00113-0)
2. Hovhannisyan V., Vaseashta A., Avanesyan L., Sadoyan R., Gasparyan A., Shogheryan S., Harutyunova L., Mirumyan L., Gevorgyan G., Ecological Characterization and Bio-Mitigation Potential of Heavy Metal Contamination in Metallurgically Affected Soil. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, no.13, article id: 6312, pp. 1–12.
<https://doi.org/10.3390/app12136312>
3. Hovhannisyan V.S., Arutyunova L.D., Mirumyan L.S., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Poghosyan T.E. Specific features of accumulation of heavy metals in the body of mollusks (Mollusca: Limacidae) of the southern slope of the Aragats mountain range. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 37–41. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-2-37-41>
4. Gevorgyan G., Mamyan A., Boshyan T., Vardanyan T., Vaseashta A. Heavy Metal Contamination in an Industrially Affected River Catchment Basin: Assessment, Effects, and Mitigation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021, vol. 18, no. 6, article id: 2881.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18062881>
5. Mamyan A.S., Gevorgyan G.A. Comparative Investigation of the River Phytoplankton of the Debed River Catchment Basin's Mining and Non-mining Areas. *Biol. J. Armen.* 2017, vol. 69, no. 4, pp. 50–55.
6. Pipoyan D., Beglaryan M., Sireyan L., Merendino N. Exposure assessment of potentially toxic trace elements via consumption of fruits and vegetables grown under the impact of Alaverdi's mining complex. *Human and Ecological Risk Assessment*. 2018, vol. 25, iss. 4, pp. 819–834. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1452604>
7. Sealy W. The Probable Error of a Mean. *Biometrika*. 1908, vol. 6, no. 1, pp. 1–25.
<http://dx.doi.org/10.2307/2331554>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Людмила С. Мирумян проводила анализ и обработку полученных данных, выполняла работу в написании рукописи. **Варужан С. Оганесян** проводил организацию всех работ и научную обработку материала. Рузанна Г. Арутюнян проводила анализ и обработку полученных данных, выполняла работу в написании рукописи. Марина В. Варданян проводила обработку полученных

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ludmila S. Mirumyan carried out the analysis and processed the data obtained and participated in the writing of the manuscript. **Varuzhan S. Hovhannisyan** carried out the organization of all the work and scientific processing of the material. Ruzanna G. Harutyunyan carried out the analysis and processed the data obtained and participated in the writing of the manuscript. Marine V. Vardanyan carried out

данных. Армен С. Гаспарян проводил сбор и обработку научного материала. Людмила Г. Аванесян, Серине А. Шогерян проводили сбор и обработку научного материала. Мадина З. Магомедова, Патимат Д. Магомедова, Асият Ш. Магомедова, Жасмина А. Рустамова проводили научный анализ полученных данных. Лаура Д. Арутюнова проводила анализ и обработку полученных данных, выполняла работу в написании рукописи. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

the processing of data obtained. Armen S. Gasparyan carried out the collection and processing of scientific material. Lyudmila G. Avanesyan, Sirine A. Shogheryan carried out the collection and processing of scientific material. Laura D. Harutyunova, Madina Z. Magomedova, Patimat D. Magomedova, Asiyat Sh. Magomedova, Jasmina A. Rustamova conducted the scientific analysis of the data obtained. Laura J. Harutyunova carried out the analysis and processing of the data obtained and participated in the writing of the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

- Людмила С. Мирумян / Lyudmila S Mirumyan <http://orcid.org/0000-0003-2821-9795>
Варужан С. Оганесян / Varuzhan S. Hovhannisyan <http://orcid.org/0000-0002-1029-8379>
Рузанна Г. Арутюнян / Ruzanna G. Harutyunyan <http://orcid.org/0000-0002-9992-7142>
Марине В. Варданан / Marine V. Vardanyan <http://orcid.org/0009-0000-5610-0375>
Армен С. Гаспарян / Armen S. Gasparyan <http://orcid.org/0000-0002-9498-0761>
Людмила Г. Аванесян / Lyudmila G. Avanesyan <http://orcid.org/0000-0002-1419-821X>
Сирине А. Шогерян / Sirine A. Shogheryan <http://orcid.org/0000-0001-7298-9581>
Мадина З. Магомедова / Madina Z. Magomedova <http://orcid.org/0000-0001-8425-166>
Патимат Д. Магомедова / Patimat D. Magomedova <http://orcid.org/0000-0001-6072-1094>
Жасмина А. Рустамова / Jasmina A. Rustamova <https://orcid.org/0009-0003-9151-8437>
Асият Ш. Магомедова / Asiyat Sh. Magomedova <https://orcid.org/0009-0003-5594-0059>
Лаура Дж. Арутюнова / Laura J. Harutyunova <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>