

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco110972>

Оценка химической и радиологической безопасности дикорастущих грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области

Т.Н. Унгурия¹, Д.А. Степовая¹, И.А. Беляевская², С.В. Гайдук³, К.С. Бобыкин⁴,
Н.Г. Волков⁵, Д.Л. Кузнецова⁶, Е.Н. Косарева⁷, А.С. Глуханова⁷

¹ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Российская Федерация;

² Управление Роспотребнадзора по Архангельской области, Архангельск, Российская Федерация;

³ Балашихинская областная больница, Балашиха, Российская Федерация;

⁴ Управление Роспотребнадзора по Вологодской области, Сокол, Российская Федерация;

⁵ Центр гигиены и эпидемиологии в Архангельской области и Ненецком автономном округе, Нарьян-Мар, Российская Федерация;

⁶ Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич, Архангельск, Российская Федерация;

⁷ Станция агрохимической службы «Архангельская», Архангельск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель. Проанализировать уровни загрязнения тяжёлыми металлами и радионуклидами лесных грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области.

Методы. Данные о содержании тяжёлых металлов (кадмий, ртуть, свинец, мышьяк) и радионуклидов (цезий-137 и стронций-90) в ягодах и грибах изучены на основе протоколов ФГБУ Станция агрохимической службы «Архангельская» и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Архангельской области и Ненецком автономном округе» за 2015–2021 гг. Проанализированы 201 проба грибов и 175 проб ягод.

Результаты. Не обнаружено превышения предельно допустимых уровней тяжёлых металлов в 94% исследованных проб грибов и 86% исследованных проб ягод. Все пробы грибов и ягод соответствовали гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов. Медианные концентрации ртути (0,013 мг/кг) и кадмия (0,040 мг/кг) в грибах были выше средних концентраций данных металлов в ягодах в 2,1 ($p=0,002$) и 1,8 ($p < 0,001$) раза соответственно. На уровне медианной концентрации и 90-го перцентиля содержание ртути в трубчатых грибах (0,036 и 0,047 мг/кг соответственно) было в 3,2 раза выше по сравнению с пластинчатыми грибами ($p=0,003$). В ягодах высоких кустарников на уровне средней концентрации и 90-го перцентиля выявлено наибольшее содержание мышьяка (0,067 и 0,24 мг/кг соответственно) и свинца (0,088 и 0,15 мг/кг соответственно) по сравнению с другими видами кустарников, но различия не были статистически значимыми.

Заключение. Грибы и ягоды, произрастающие на территории Архангельской области, содержат тяжёлые металлы и радионуклиды в низких концентрациях. Грибы больше аккумулируют тяжёлые металлы и радионуклиды по сравнению с ягодами.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; радионуклиды; грибы, ягоды; дикоросы.

Как цитировать:

Унгурия Т.Н., Степовая Д.А., Беляевская И.А., Гайдук С.В., Бобыкин К.С., Волков Н.Г., Кузнецова Д.Л., Косарева Е.Н., Глуханова А.С. Оценка химической и радиологической безопасности дикорастущих грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco110972>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco110972>

Assessment of the chemical and radiological safety of wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region

Tatiana N. Unguryanu¹, Daria A. Stepovaia¹, Ilona A. Belyaevskaya²,
Svetlana V. Gaiduk³, Konstantin S. Bobykin⁴, Nikita G. Volkov⁵,
Diana L. Kuznetsova⁶, Elena N. Kosareva⁷, Anna S. Glukhanova⁷

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russian Federation;

² Agency of Consumer Protection, Arkhangelsk Branch, Arkhangelsk, Russian Federation;

³ Balashikha Central District Hospital, Balashikha, Russian Federation;

⁴ Agency of Consumer Protection, Vologda Branch, Sokol, Russian Federation;

⁵ Center for Hygiene and Epidemiology in the Arkhangelsk Region and Nenets Autonomous Okrug, Naryan-Mar, Russian Federation;

⁶ Volosevich First Municipal Clinical Hospital, Arkhangelsk, Russian Federation;

⁷ Agrochemical Service Station «Arkhangelskaya», Arkhangelsk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: To analyze the levels of contamination with heavy metals and radionuclides of wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region.

METHODS: Data on the content of heavy metals (cadmium, mercury, lead, arsenic) and radionuclides (cesium-137 and strontium-90) in berries and mushrooms were studied in accordance with the protocols of the Agrochemical Service Station «Arkhangelskaya» and the Center for Hygiene and Epidemiology in the Arkhangelsk Region and the Nenets Autonomous Okrug during the period of 2015–2021. Total 201 samples of mushrooms and 175 samples of berries were analyzed.

RESULTS: The levels of heavy metals did not exceed the maximum permissible concentrations in 94% of the studied samples of mushrooms and 86% of the studied samples of berries. All samples of mushrooms and berries corresponded the hygienic standards for the content of radionuclides. The mean concentrations of mercury (0.013 mg/kg) and cadmium (0.040 mg/kg) in mushrooms were higher than the average concentrations of these metals in berries by 2.1 ($p=0.002$) and 1.8 times ($p < 0.001$), respectively. At the level of median concentration and 90th percentile, the content of mercury in tubular mushrooms (0.036 and 0.047 mg/kg, respectively) was 3.2 times higher in comparison to plate mushrooms ($p=0.003$). The highest content of arsenic (0.067 and 0.24 mg/kg, respectively) and lead (0.088 and 0.15 mg/kg) were found in the berries of the large-sized shrubs at the level of average concentration and the 90th percentile compared to other shrub species, but the differences were not statistically significant.

CONCLUSION: The comparative analysis concluded that although mushrooms and berries from the Arkhangelsk region contain low concentrations of heavy metals and radionuclides, mushrooms tend to accumulate higher concentration of heavy metals and radionuclides in comparison to berries.

Keywords: heavy metals; radionuclides; mushrooms; berries; wild plants.

To cite this article:

Unguryanu TN, Stepovaia DA, Belyaevskaya IA, Gaiduk SV, Bobykin KS, Volkov NG, Kuznetsova DL, Kosareva EN, Glukhanova AS. Assessment of the chemical and radiological safety of wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(1):17–27. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco110972>

Received: 19.09.2022

Accepted: 25.10.2022

Published online: 16.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

Для населения, проживающего в суровых условиях Крайнего Севера, фактор питания является одним из важнейших элементов сохранения и укрепления здоровья [1, 2]. Для восполнения недостатка витаминов, минералов и микроэлементов население использует в питании местные дикорастущие грибы и ягоды.

Грибы обладают высокой пищевой ценностью, содержат значительное количество белка и незаменимых аминокислот [3]. Кроме того, они богаты минералами (селеном, магнием, калием, натрием, кальцием, фосфором, медью, марганцем, цинком) и содержат витамины (А, В₁, В₂, С, D, и РР) [4–6]. Широкий спектр биологически активных веществ входит в состав ягод и определяет их полезные свойства. Ягоды содержат минералы и микроэлементы, пищевые волокна, витамины (С, В₁, В₂ и Е), органические кислоты, антоцианы, флавоноиды, каротиноиды [7, 8]. Благодаря такому составу грибы и ягоды обладают антиоксидантными, противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами [9, 10].

Несмотря на высокую пользу грибов и ягод, их потребление может являться существенным источником поступления тяжёлых металлов и радионуклидов в организм человека. Неблагоприятное воздействие данных поллютантов на здоровье проявляется в нарушении функционирования органов и систем человека, в частности иммунной системы, повышается риск возникновения пороков развития, нейродегенеративных расстройств, злокачественных новообразований и заболеваний системы кровообращения [11–13].

Цель исследования. Проанализировать уровни загрязнения тяжёлыми металлами и радионуклидами лесных грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные о содержании тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах и ягодах получены в лабораториях станции агрохимической службы «Архангельская» и Центра гигиены и эпидемиологии в Архангельской области и Ненецком автономном округе. На основе протоколов испытаний за 2015–2021 гг. создана база данных, которая включала наименование ягодной и грибной продукции, дату и место отбора проб, концентрации кадмия, ртути, свинца и мышьяка в миллиграммах на 1 кг сырого веса, а также цезия-137 и стронция-90 в беккерелях на 1 кг сырого веса. Концентрации металлов и радионуклидов в дикорастущих ягодах и грибах сравнивали с предельно допустимыми уровнями (ПДУ) с помощью показателей наглядности в процентах [14].

Всего проанализировали 201 пробу грибов, включая трубчатые (грибы белые, подосиновики, моховики, маслята, подберёзовики) и пластинчатые грибы (грузди, лисички, рыжики, волнушки, опята), и 175 проб ягод,

включая произрастающие на высоких кустарниках (ежевика, черноплодная рябина, рябина обыкновенная, облепиха, можжевельная ягода, шиповник, смородина красная), на низкорослых кустарниках (черника, брусника, клюква) и на травянистых растениях (морозка, земляника). Пробы грибов и ягод были отобраны в лесном массиве вблизи городов Архангельска и Северодвинска, в Красноборском, Пинежском, Приморском, Онежском и Устьянском районах.

Проверку распределения количественных данных проводили с применением статистического критерия Шапиро–Уилка. В связи с тем, что распределение концентраций химических веществ статистически значимо отличалось от нормального, для их описания были использованы медиана, 95% доверительный интервал для медианы (95% ДИ), 90-й процентиль (P_{90}), размах вариации. Для проверки нулевых гипотез о равенстве средних значений между двумя группами применяли U-критерий Манна–Уитни, между тремя группами — критерий Краскела–Уоллиса. Категориальные переменные описаны в виде процентных соотношений. Критический уровень статистической значимости принимали равным 0,05. Для статистического анализа данных использовалось программное обеспечение STATA версия 16.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрации тяжёлых металлов не превышали ПДУ в 94% исследованных проб грибов и 86% исследованных проб ягод. В трёх пробах белых грибов и в одной пробе лисичек обнаружено содержание кадмия выше ПДУ. В 12 пробах ягод (14%) установлено превышение гигиенических нормативов по содержанию мышьяка и кадмия.

Медианные концентрации ртути (0,013 мг/кг) и кадмия (0,040 мг/кг) в грибах были статистически значимо выше средних концентраций данных металлов в ягодах: в 2,1 и 1,8 раза соответственно. Среднее содержание мышьяка (0,034 мг/кг) и свинца (0,083 мг/кг) в грибах было в 1,5 раза выше, чем в ягодах, однако различия не достигали статистической значимости.

Сравнение медианных концентраций тяжёлых металлов и их содержание на уровне P_{90} показало, что в грибах и ягодах концентрация свинца была наибольшей, а ртути — наименьшей. Содержание в грибах металлов на уровне медианной концентрации можно расположить в следующем (убывающем) порядке: Pb > Cd > As > Hg, в ягодах — Pb > As > Cd > Hg.

В пластинчатых и трубчатых грибах медианная концентрация ртути была ниже ПДУ (0,05 мг/кг) на 69 и 34% соответственно, мышьяка (0,5 мг/кг) — на 82 и 77% соответственно, свинца (0,5 мг/кг) — на 74 и 73% соответственно, кадмия (0,1 мг/кг) — на 50 и 51% соответственно.

На уровне медианной концентрации и P_{90} в трубчатых грибах содержание ртути (0,036 и 0,047 мг/кг соответственно), мышьяка (0,080 и 0,36 мг/кг соответственно) и кадмия (0,04 и 0,089 мг/кг соответственно) было выше

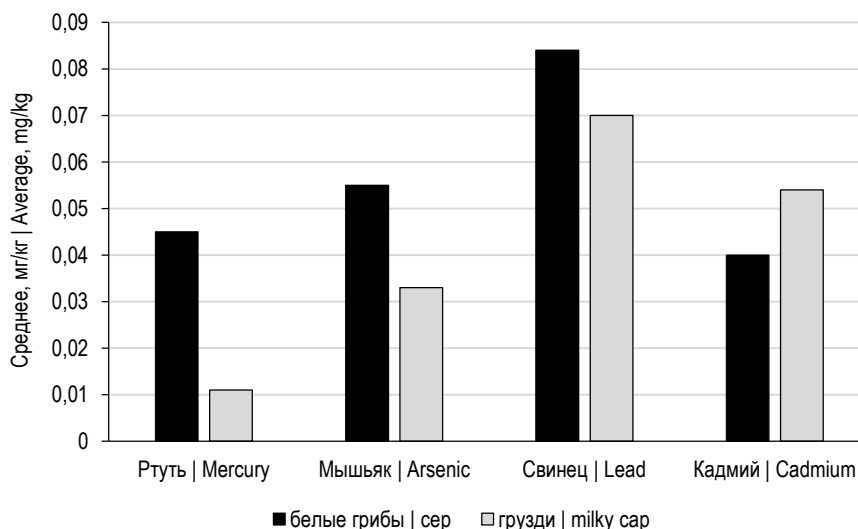


Рис. 1. Концентрации тяжёлых металлов в белых грибах и груздях, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.).

Fig. 1. Concentrations of heavy metals in cep and milky cap growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021).

по сравнению с пластинчатыми грибами. Однако статистически значимые различия ($p=0,003$) установлены только по содержанию ртути между трубчатыми и пластинчатыми грибами. Концентрация свинца оказалась выше в пластинчатых грибах (0,089 и 0,41 мг/кг соответственно) по сравнению с трубчатыми, но различия не достигли статистической значимости.

Исследование показало, что трубчатые грибы в целом аккумулировали тяжёлые металлы значительно больше, чем пластинчатые грибы, не превышая при этом ПДУ. Установлено, что в белых грибах средние концентрации свинца (0,084 мг/кг), мышьяка (0,055 мг/кг) и ртути (0,045 мг/кг) были выше по сравнению

с груздями, которые в большей степени накапливают кадмий (0,054 мг/кг) (рис. 1).

По две пробы ягод из группы высоких и низкорослых кустарников содержали мышьяк в концентрации выше ПДУ, что составило 4,2% от общего числа проб. Три пробы ягод из группы высоких кустарников, одна проба из группы низкорослых кустарников и пять проб из группы травянистых растений содержали кадмий в концентрации выше ПДУ, что составило 9,6% от общего числа проб.

Медианные концентрации ртути в ягодах, произрастающих на травянистых растениях, высоких и низкорослых кустарниках, были ниже ПДУ (0,02 мг/кг) на 67, 64 и 73% соответственно, мышьяка (0,2 мг/кг) — на 86, 45

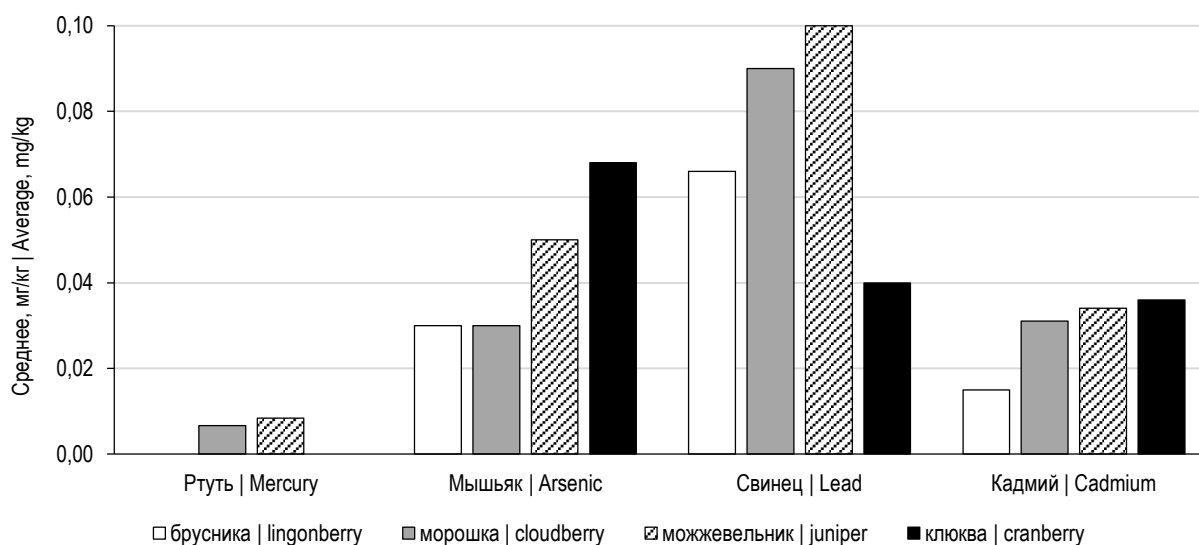


Рис. 2. Концентрации тяжёлых металлов в дикорастущих ягодах брусники, морозки, можжевельника, клюквы, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.).

Fig. 2. Concentrations of heavy metals in lingonberries, cloudberries, junipers, cranberries growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021).

и 80% соответственно, свинца (0,4 мг/кг) — на 73, 80 и 87% соответственно, кадмия (0,03 мг/кг) — на 42, 36 и 54% соответственно.

В высоких кустарниках на уровне средней концентрации и P_{90} выявлены более высокие концентрации мышьяка (0,067 и 0,24 мг/кг соответственно) и свинца (0,088 и 0,15 мг/кг соответственно) по сравнению с другими видами кустарников. Однако статистически значимых различий в содержании ртути, мышьяка, свинца и кадмия в ягодах высоких кустарников, низкорослых кустарников и травянистых растений не обнаружено ($p > 0,05$).

Анализ содержания тяжёлых металлов по видам ягод показал, что медианные концентрации свинца и ртути были выше в ягодах можжевельника (0,1 и 0,008 мг/кг соответственно) и морошки (0,09 и 0,006 мг/кг соответ-

ственно). Концентрация мышьяка в клюкве (0,068 мг/кг) в 2,3 раза превышала уровень данного металла в бруснике и морошке. Содержание кадмия было практически одинаковым в морошке (0,031 мг/кг), можжевельнике (0,034 мг/кг) и клюкве (0,036 мг/кг) (рис. 2).

Все исследуемые пробы дикоросов по содержанию цезия-137 не превышали гигиенические нормативы. Средний уровень содержания цезия-137 в грибах был в 2,3 раза выше, чем в ягодах ($p < 0,001$). Среднее содержание цезия-137 и стронция-90 в грибах составило 3,65 и 0,35 Бк/кг соответственно, на уровне 90-го проценталя — 11,2 и 0,65 Бк/кг соответственно (табл. 1).

Наибольшая концентрация стронция-90 выявлена в плодах травянистых растений (1,2 Бк/кг). Ягоды, произрастающие на высоких и низких кустарниках, имели

Таблица 1. Концентрации тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах и ягодах, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.)

Table 1. Concentrations of heavy metals and radionuclides in wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021)

Металлы и радионуклиды Metals and radionuclides	Показатели Variables	Все виды грибов All types of mushrooms	Все виды ягод All types of berries	<i>p</i>
Hg, мг/кг mg/kg	Me	0,013	0,006	0,002
	95% ДИ CI	0,011–0,022	0,004–0,011	
	P_{90}	0,044	0,012	
	Размах Amplitude	0,046	0,008	
As, мг/кг mg/kg	Me	0,034	0,031	0,103
	95% ДИ (CI)	0,027–0,082	0,021–0,054	
	P_{90}	0,360	0,220	
	Размах Amplitude	0,418	0,187	
Pb, мг/кг mg/kg	Me	0,083	0,065	0,230
	95% ДИ CI	0,039–0,134	0,036–0,099	
	P_{90}	0,390	0,150	
	Размах Amplitude	0,415	0,238	
Cd, мг/кг mg/kg	Me	0,040	0,022	<0,001
	95% ДИ CI	0,030–0,062	0,015–0,033	
	P_{90}	0,083	0,042	
	Размах Amplitude	0,919	0,300	
Cs-137, Бк/кг Bk/kg	Me	3,65	1,6	<0,001
	95% ДИ CI	2,0570–5,3829	1,2000–2,1954	
	P_{90}	11,2	4,6	
	Размах Amplitude	40,1	45,08	
Sr-90, Бк/кг Bk/kg	Me	0,35	0,355	0,742
	95% ДИ CI	0,2800–0,5957	0,2903–0,3900	
	P_{90}	0,65	0,72	
	Размах Amplitude	0,6	1,3	

Примечание: Me — медиана; ДИ — доверительный интервал.
Note: Me — mediana; CI — confidential interval.

Таблица 2. Концентрации тяжёлых металлов и радионуклидов в дикорастущих ягодах, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.)

Table 2. Concentrations of heavy metals and radionuclides in wild berries growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021)

Металлы и радионуклиды Metals and radionuclides	Показатели Variables	Высокие кустарники Tall shrubs	Низкорослые кустарники Undersized shrubs	Травянистые растения Herbaceous plants	<i>p</i>
Hg, мг/кг mg/kg	Me	0,005	0,005	0,007	0,705
	95% ДИ CI	0,004–0,013	0,004–0,007	0,005–0,008	
	P ₉₀	0,012	0,007	0,008	
	Размах Amplitude	0,008	0,003	0,002	
As, мг/кг mg/kg	Me	0,067	0,033	0,030	0,131
	95% ДИ CI	0,018–0,226	0,016–0,073	0,008–0,051	
	P ₉₀	0,24	0,22	0,057	
	Размах Amplitude	0,233	0,215	0,053	
Pb, мг/кг mg/kg	Me	0,088	0,038	0,079	0,313
	95% ДИ CI	0,033–0,140	0,014–0,109	0,028–0,233	
	P ₉₀	0,15	0,15	0,25	
	Размах Amplitude	0,137	0,138	0,232	
Cd, мг/кг mg/kg	Me	0,030	0,014	0,030	0,059
	95% ДИ CI	0,011–0,041	0,010–0,026	0,015–0,081	
	P ₉₀	0,041	0,036	0,178	
	Размах Amplitude	0,031	0,026	0,297	
Cs-137, Бк/кг Bk/kg	Me	0,66	2,5	43,7	<0,001
	95% ДИ CI	0,4174–1,2000	2,0004–3,9555	42,1–45,3	
	P ₉₀	1,21	4,6	45,3	
	Размах Amplitude	1,38	3,7	3,2	
Sr-90, Бк/кг Bk/kg	Me	0,32	0,355	1,2	0,075
	95% ДИ CI	0,2469–0,4431	0,2567–0,3933	0,9–1,5	
	P ₉₀	0,99	0,65	0,6	
	Размах Amplitude	0,99	0,65	0,6	

Примечание: Me — медиана; ДИ — доверительный интервал.
Note: Me — mediana; CI — confidential interval.

равные концентрации стронция-90 на уровне медианной концентрации и P₉₀ (по 0,3 и 0,6 Бк/кг соответственно). На уровне средней концентрации и P₉₀ наибольшее содержание цезия-137 установлено в ягодах травянистых растений (43,7 и 45,3 Бк/кг соответственно), наименьшее — в ягодах высоких кустарников (0,66 и 1,21 Бк/кг соответственно) (табл. 2).

Анализ концентраций радионуклидов по видам ягод установил, что наибольшее содержание цезия-137 и стронция-90 выявлено в морознике (43,7 и 1,2 Бк/кг соответственно). Наименьшее содержание цезия-137 установлено в шиповнике и рябине (0,8 и 0,48 Бк/кг соответственно), стронция-90 — в клюкве и чернике (0,26 и 0,23 Бк/кг соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании изучены уровни загрязнения дикорастущих грибов и ягод тяжёлыми металлами и радионуклидами. Содержание тяжёлых металлов на уровне, превышающем гигиенические нормативы, обнаружено в 5% исследованных проб грибов и в 14% — ягод. Среднее содержание тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах было выше, чем в ягодах.

На содержание тяжёлых металлов в дикорастущих грибах и ягодах оказывают влияние такие факторы, как видовая специфика, физиологическая значимость элементов для растений и удалённость от источника загрязнения [15]. Исследование, выполненное в Кировской

области, показало, что 14,3% проб белых грибов содержали кадмий в концентрации, превышающей ПДУ. Самые высокие концентрации тяжёлых металлов были установлены в трубчатых грибах, что согласуется с результатами нашего исследования [16].

По результатам исследования съедобных дикорастущих грибов, проведённом в Центральной Якутии, содержание свинца, кадмия и ртути превышало гигиенические нормативы в 4,2; 2,5 и 7 раз соответственно [17]. По сравнению с грибами, произрастающими на территории Архангельской области, уровни загрязнения грибов тяжёлыми металлами в Центральной Якутии значительно выше.

Исследование, выполненное в городах Среднего Урала, продемонстрировало влияние удалённости промышленного предприятия на концентрацию тяжёлых металлов в грибах. В грибах, собранных на сильно загрязнённой территории, которая расположена на расстоянии 1–3 км от крупного медеплавильного комбината, обнаружено повышенное содержание кадмия и свинца во всех пробах пластинчатых грибов и в 90% трубчатых грибов [11].

Результаты исследования из Словении показали, что в грибах, собранных поблизости от свинцового завода и тепловой электростанции, выявлено высокое содержание свинца (53,8 мг/кг) и кадмия (117 мг/кг) [18]. Ещё в одном исследовании, также проведённом в Словении, обнаружены высокие концентрации металлов в грибах, собранных поблизости от района, где производится добыча полиметаллической руды. При этом концентрации химических веществ варьировали в зависимости от вида грибов. Самые высокие концентрации свинца и ртути были определены в грибе-зонтике пёстром (7,62 и 9,86 мг/кг соответственно), самые низкие концентрации свинца — в белом грибе (1,54 мг/кг) и ртути — в маслёнке листовничном (0,53 мг/кг) [19].

В условиях техногенного загрязнения происходит накопление тяжёлых металлов в дикорастущих ягодах, что подтверждается результатами многочисленных исследований. В ягодах, которые произрастают на территории Свердловской области, загрязняемой выбросами крупного предприятия цветной металлургии, установлено высокое содержание кадмия и свинца в шиповнике, бруснике, чернике, малине, землянике с превышением ПДУ в 1,2–11 раз [20]. В этом же исследовании авторы пришли к заключению, что загрязнённая грибная продукция по сравнению с ягодами вносит более значительный вклад в дозовую нагрузку тяжёлыми металлами.

Результаты исследования, проведённого в Кировской области, показали, что свинец наиболее интенсивно аккумулируется в плодах рябины. На загрязнённых территориях содержание свинца в плодах рябины составило от 0,5 до 9,5 мг/кг. Наибольшее количество свинца установлено в плодах шиповника (12,5 мг/кг), произрастающего на территории шламоотвала Кировского завода

по обработке цветных металлов. Оказалось, что плоды рябины и шиповника накапливают в 3 раза больше свинца, чем их облиственные побеги, что было характерно только для загрязнённых районов [16, 21].

Анализ содержания тяжёлых металлов в ягодных культурах Амурской области выявил, что наибольшее содержание свинца характерно для голубики (1 мг/кг). Концентрация свинца в голубике превышала ПДУ в 2,2–2,5 раза. Наименьшее количество свинца обнаружено в бруснике (0,028 мг/кг). Содержание свинца в клюкве, смородине и шиповнике находилось в диапазоне 0,028–0,48 мг/кг [22].

При удалении от источника загрязнения происходит снижение концентрации тяжёлых металлов в дикорастущих ягодах. При изучении показателей безопасности дикорастущих ягод Кольского полуострова обнаружено [1], что содержание контаминантов в пробах черники и брусники, собранных на расстоянии более 40 км от медно-никелевого комбината, соответствовало нормативам, а в импактной зоне на расстоянии менее 10 км от комбината содержание металлов было в 2–3 раза выше.

Анализ содержания радионуклидов в дикорастущих грибах, собранных в разных регионах России, выявил наибольшую концентрацию цезия-137 в окрестностях городов Нижнего Новгорода (77,0 Бк/кг) и Дубны (63,7 Бк/кг), а также повышенное накопление в белых грибах стронция-90 (2 Бк/кг) — в Туле [23]. На территории Новгородской области в 2012 году установлено повышение активности цезия-137 в лесных ягодах до 123 Бк/кг, в грибах — до 109 Бк/кг [24].

Сравнительный анализ содержания цезия-137 в грибах на территории Республики Беларусь показал, что наибольшая концентрация радиоактивного цезия выявлена в грибах Могилёвской области (3553 Бк/кг), что превышает норматив на 70%. На территории Гомельской области наибольшее удельное содержание цезия-137 в грибах установлено в Лельчицком районе (1970 Бк/кг) [25, 26]. Наибольшая концентрация радионуклида содержится в ягодах черники (610,5 Бк/кг), наименьшая — в ягодах клюквы (185 Бк/кг). Установлено превышение нормируемых показателей в сухих грибах по цезию-137 в 1,9–9,1 раза.

На содержание тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах и ягодах может оказывать влияние вид технологической переработки. Длительное замачивание грибов или их сушка приводят к повышению концентраций тяжёлых металлов и радионуклидов. Если при замачивании грибов в течение 4–8 ч концентрация тяжёлых металлов снижается в 1,2–2,3 раза, то замачивание на протяжении 24 ч и дольше приводит к её повышению до первоначального уровня [27]. По сравнению со свежими грибами при сушке концентрация тяжёлых металлов увеличивается в 2–3 раза. При варке грибов в течение 20 мин происходит снижение концентраций тяжёлых металлов на 30–80%, а цезия-137 — на 20–80% [28, 29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Грибы и ягоды, произрастающие на территории Архангельской области, содержат тяжёлые металлы и радионуклиды в низких концентрациях. Содержание ртути, свинца и цезия-137 в лесных грибах и ягодах — ниже допустимых значений. Грибы больше аккумулируют тяжёлые металлы и радионуклиды по сравнению с ягодами. По уровню загрязнения тяжёлые металлы располагаются в убывающем порядке: в грибах — Pb > Cd > As > Hg; в ягодах — Pb > As > Cd > Hg. Принимая во внимание широкое употребление в пищу дикорастущих грибов и ягод населением северных территорий, необходимо организовать мониторинг за содержанием тяжёлых металлов в дикоросах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: Т.Н. Унгурияну внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, написание текста, редактирование; Д.А. Степовая, И.А. Беляевская, С.В. Гайдук, К.С. Бобыкин, Н.Г. Волков, Д.Л. Кузнецова работали над получением, анализом и интерпретацией данных, разработали первый вариант статьи;

Е.Н. Косарева и А.С. Глуханова принимали участие в формировании базы данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE; все авторы внесли значительный вклад в разработку концепции, исследование и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант перед публикацией.

Authors contribution: T.N. Unguryanu made a significant contribution to the concept and design of the study, obtained, analyzed, and interpreted the data, wrote, and edited the text; D.A. Stepovaia, I.A. Belyaevskaya, S.V. Gaiduk, K.S. Bobykin, N.G. Volkov, D.L. Kuznetsova obtained, analyzed, and interpreted the data, prepared the first version of the article; E.N. Kosareva and A.S. Glukhanova took part in the formation of the database. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria; they made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding

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

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бражная И.Э., Быкова А.Е., Судак С.Н., Семенов Б.Н. Исследование безопасности и минерального состава дикорастущего сырья Кольского полуострова // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2012. Том 15, № 1. С. 11–14.
2. АМАП. Отчет АМАП — 2015: здоровье человека в Арктике. Санкт-Петербург : Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2018. 176 с.
3. Бакайтис В.И., Басалаева С.Н. Содержание макро- и микроэлементов в дикорастущих грибах Новосибирской области // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 2. С. 73а–76.
4. Kalač P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms // J Sci Food Agric. 2013. Vol. 93, N 2. P. 209–218. doi: 10.1002/jsfa.5960
5. Valverde M.E., Hernández-Pérez T., Paredes-López O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life // Int J Microbiol. 2015. Vol. 2015. P. 376387. doi: 10.1155/2015/376387
6. Sharifi-Rad J., Butnariu M., Ezzat S.M., et al. Mushrooms-rich preparations on wound healing: from nutritional to medicinal attributes // Front Pharmacol. 2020. Vol. 11. P. 567518. doi: 10.3389/fphar.2020.567518
7. Акимов М.Ю., Бессонов В.В., Коденцова В.М., и др. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 220–232. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10055
8. Zeiner M., Juranović Cindrić I. Harmful elements (Al, Cd, Cr, Ni, and Pb) in wild berries and fruits collected in Croatia // Toxics. 2018. Vol. 6, N 2. P. 338–343. doi: 10.3390/toxics6020031
9. Orywal K., Socha K., Nowakowski P., et al. Health risk assessment of exposure to toxic elements resulting from consumption of dried wild-grown mushrooms available for sale // PLoS One. 2021. Vol. 16, N 6. P. e0252834. doi: 10.1371/journal.pone.0252834
10. Zhang J.J., Li Y., Zhou T., et al. Bioactivities and health benefits of mushrooms mainly from China // Molecules. 2016. Vol. 21, N 7. P. 938. doi: 10.3390/molecules21070938
11. Кацнельсон Б.А., Мажеева Т.В., Привалова Л.И., и др. О значимости накопления свинца и кадмия в съедобных грибах как фактора риска для здоровья населения // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2011. № 1. С. 12–16.
12. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., et al. Heavy metal toxicity and the environment // Exp Suppl. 2012. Vol. 101. P. 133–164. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
13. Щетинкина Н.А., Величко Л.Г., Мячина О.В. Некоторые проблемы питания в современных экологических условиях // Научно-медицинский вестник центрального Черноземья. 2016. № 63. С. 163–165.
14. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011. Приложение 3, п. 6. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902320560>
15. Ветрова О.А., Кузнецов М.Н., Леоничева Е.В., и др. Накопление тяжелых металлов в органах земляники садовой в условиях техногенного загрязнения // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49, № 5. С. 113–119.
16. Егошина Т.Л., Скопин А.Е., Шулятьева Н.А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов дикорастущими видами ягод и грибов // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. 2004. № 1. С. 128–131.

17. Попова М.Г. Способность дикорастущих съедобных грибов Центральной Якутии аккумулировать тяжелые металлы // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2011. № 4. С. 75–77.
18. Petkovšek S.A., Pokorny B. Lead and cadmium in mushrooms from the vicinity of two large emission sources in Slovenia // *Sci Total Environ.* 2013. Vol. 443. P. 944–954. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.007
19. Árvay J., Tomáš J., Hauptvogel M., et al. Human exposure to heavy metals and possible public health risks via consumption of wild edible mushrooms from Slovak Paradise National Park, Slovakia // *J Environ Sci Health B.* 2015. Vol. 50, N 11. P. 833–843. doi: 10.1080/03601234.2015.1058107
20. Безель В.С., Мухачева С.В., Трубина М.Р., Воробейчик Е.Л. Химическое загрязнение среды: накопление тяжелых металлов дикорастущими ягодами и грибами, оценка риска их потребления населением среднего Урала // Проблемы биогеохимии геохимической экологии. 2012. № 3. С. 39–47.
21. Егошина Т.Л., Шихова Л.Н., Ярославцев А.В. Особенности накопления свинца некоторыми дикорастущими ягодными растениями // Проблемы региональной экологии. 2008. № 4. С. 94–98.
22. Димиденко Ж.А., Смирнова С.А. Количественная оценка содержания тяжелых металлов в ягодных культурах Амурской области // Проблемы региональной экологии. 2020. № 5. С. 17–20.
23. Густова М.В., Каплина С.П., Каманина И.З., и др. Определение микроэлементов и радионуклидов в грибах из разных регионов России // *Экология.* 2021. № 4. С. 5–10. doi: 10.24412/1728-323X-2021-4-5-10
24. Васильев Р.М. Результаты мониторинга удельной активности стронция и цезия в лесных ягодах и грибах Новгородской области. В кн.: *Формирование и развитие новой парадигмы науки в условиях постиндустриального общества: сборник статей Международной научно-практической конференции*; 20 декабря 2020 г.; Саратов, Россия. Саратов : Аэтерна, 2020. С. 71–72.
25. Рогачевский А.А. Сравнительный анализ содержания калия-40 и цезия-137 в грибах некоторых регионов Беларуси. В кн.: *Сельское хозяйство — проблемы и перспективы : сборник научных трудов.* Т. 45. Агрономия / под ред. В.К. Пестиса. Гродно : ГГАУ, 2019. С. 123–128.
26. Сподабаева Е.П., Замбрыцкий О.Н. [интернет]. Удельное содержание цезия-137 в цельном молоке и дикорастущих ягодах и грибах, заготовленных в частном секторе на территории Лельчицкого района Гомельской области в период 2000–2011 гг. В кн.: *здоровье и окружающая среда : сборник научных трудов.* Выпуск 21. Минск, 2012. С. 207–214. Доступ по ссылке: http://med.by/content/ellibsci/RNPGC/rnpgc_2012_21.pdf
27. Бакайтис В.И., Че С.Н. Влияние замачивания на снижение содержания тяжелых металлов в грибах // *Техника и технология пищевых производств.* 2012. № 4. С.136–138.
28. Ловкис З.В., Почницкая И.М., Рябова К.С., и др. Результаты радиологического мониторинга дикорастущей продукции. В кн.: *Наука, питание и здоровье : сборник научных трудов / под ред. З.В. Ловкис.* Минск : Беларуская навука, 2020. С. 304–308.
29. Че С.Н., Бакайтис В.И., Цапалова И.Э. Влияние тепловой обработки на физические показатели и содержание тяжелых металлов в макромицетах // *Техника и технология пищевых производств.* 2015. № 2. С.138–143.

REFERENCES

1. Brazhnaja IJe, Bykova AE, Sudak SN, Semenov BN. Issledovanie bezopasnosti i mineral'nogo sostava dikorastushhego syr'ja Kol'skogo poluoostrova. *Vestnik of MSTU.* 2012;15(1):11–14. (In Russ).
2. AMAP. *AMAP Assessment 2015: human health in the Arctic. Arctic monitoring u assessment programme (AMAP).* Oslo, Norway; 2018. 165 p.
3. Bakajtis VI, Basalaeva SN. The content of macro- and microelements in wild mushrooms Novosibirskaya Oblast. *Food Processing: Techniques and Technology.* 2009(2):73a–76. (In Russ).
4. Kalač P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *J Sci Food Agric.* 2013;93(2):209–218. doi: 10.1002/jsfa.5960.
5. Valverde ME, Hernández-Pérez T, Paredes-López O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *Int J Microbiol.* 2015;2015:376387. doi: 10.1155/2015/376387
6. Sharifi-Rad J, Butnariu M, Ezzat SM, et al. Mushrooms-rich preparations on wound healing: from nutritional to medicinal attributes. *Front Pharmacol.* 2020;11:567518. doi: 10.3389/fphar.2020.567518
7. Akimov MYu, Bessonov VV, Kodentsova VM, et al. Biological value of fruits and berries of Russian production. *Problems of Nutrition.* 2020;89(4):220–232. (In Russ). doi: 10.24411/0042-8833-2020-10055
8. Zeiner M, Juranović Cindrić I. Harmful elements (Al, Cd, Cr, Ni, and Pb) in wild berries and fruits collected in Croatia. *Toxics.* 2018;6(2):31. doi: 10.3390/toxics6020031
9. Orywal K, Socha K, Nowakowski P, et al. Health risk assessment of exposure to toxic elements resulting from consumption of dried wild-grown mushrooms available for sale. *PLoS One.* 2021;16(6):e0252834. doi: 10.1371/journal.pone.0252834
10. Zhang JJ, Li Y, Zhou T, et al. Bioactivities and health benefits of mushrooms mainly from China. *Molecules.* 2016;21(7):938. doi: 10.3390/molecules21070938
11. Katsnelson BA, Mazhayeva TV, Privalova LI. The significance of the lead and cadmium accumulation in wild-growing edible mushrooms as a population health risk factor. *Journal of Ural Medical Academic Science.* 2011;(1):12–16. (In Russ).
12. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, et al. Heavy metal toxicity and the environment. *Exp Suppl.* 2012;101:133–164. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
13. Shchetinkina NA, Velichko LG, Myachina OV. Some problems of food in modern ecological conditions. *Medical Scientific Bulletin of Central Chernozemye.* 2016;(63):163–165. (In Russ).
14. *Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti pishhevoj produkcii» TP TC 021/2011. Prilozhenie 3, p. 6.* Available from: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (In Russ).

15. Vetrova OA, Kuznetsov MN, Leonicheva EV, et al. Accumulation of heavy metals in the strawberry plants grown in conditions of anthropogenic pollution. *Agricultural Biology*. 2014;49(5):113–119. (In Russ).
16. Egoshina TL, Skopin AE, Shulatjeva NA. The peculiarities of heavy metals accumulation by wild species of berries and mushrooms. *Sovremennye problemy prirodopol'zovaniya, ohotovedeniya i zverovodstva*. 2004;(1):128–131. (In Russ).
17. Popova MG. Sposobnost' dikorastushchikh s"edobnykh gribov Tsentral'noi Yakutii akumulirovat' tyazhelye metally. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2011;(4):75–77. (In Russ).
18. Petkovšek SA, Pokaorny B. Lead and cadmium in mushrooms from the vicinity of two large emission sources in Slovenia. *Sci Total Environ*. 2013;443:944–954. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.007
19. Árvay J, Tomáš J, Hauptvogel M, et al. Human exposure to heavy metals and possible public health risks via consumption of wild edible mushrooms from Slovak Paradise National Park, Slovakia. *J Environ Sci Health B*. 2015;50(11):833–843. doi: 10.1080/03601234.2015.1058107
20. Bezel VS, Mukhacheva SV, Trubina MR, Vorobeichik EL. Environmental chemical pollution: accumulation of heavy metals in berries and edible mushrooms, risk assessment by their consumption for population of Middle Urals. *Problemy biogeokhimii geokhimicheskoi ekologii*. 2012;(3):39–47. (In Russ).
21. Egoshina TL, Shikhova LN, Yaroslavtsev AV. The peculiarities of lead accumulation by some wild berry plants. *Regional Environmental Issues*. 2008;(4):94–98. (In Russ).
22. Dimidenok ZhA, Smirnova SA. Quantitative estimation of heavy metals content in berry cultures in the Amur Region. *Regional Environmental Issues*. 2020;(5):17–20. (In Russ).
23. Gustova MV, Kaplina SP, Kamanina IZ, et al. Determination of microelements and radionuclides in mushrooms from different regions of Russia. *Ekologiya*. 2021;(4):5–10. (In Russ). doi: 10.24412/1728-323X-2021-4-5-10
24. Vasil'ev RM. Rezul'taty monitoringa udel'noj aktivnosti stroncija i cezija v lesnyh jagodah i gribah Novgorodskoj oblasti. In: *Formirovanie i razvitie novoj paradigmy nauki v usloviyah postindustrial'nogo obshhestva: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*; 2020 Dec 20; Saratov, Russia. Saratov: Ajeterna; 2020. P. 71–72. (In Russ).
25. Rogachevskij AA. Sravnitel'nyj analiz sodержaniya kalija-40 i cezija-137 v gribah nekotoryh regionov Belarusi. In: Pestis VK, editor. *Sel'skoe hozjajstvo — problemy i perspektivy: sbornik nauchnyh trudov*. T. 45. Agronomija. Grodno: GGAU; 2019. P. 123–128. (In Russ).
26. Spodabaeva EP, Zambrzhickij ON. [Internet]. Udel'noe sodержanie cezija-137 v cel'nom moloke i dikorastushchih jagodah i gribah, zagotovlennyh v chastnom sektore na territorii Lel'chickogo rajona Gomel'skoj oblasti v period 2000–2011 gg. In: *Zdorov'e i okruzhajushhaja sreda: sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 21*. Minsk; 2012. P. 207–214. Available from: http://med.by/content/ellibsci/RNPCG/rnpcg_2012_21.pdf (In Russ).
27. Bakajtis VI, Che SN. Effect of soaking on heavy metals content in mushrooms. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2012;(4):136–138. (In Russ).
28. Lovkis ZV, Pochickaja IM, Rjabova KS, et al. Rezul'taty radiologicheskogo monitoringa dikorastushhej produkcii. In: Lovkis ZV, editor. *Nauka, pitanie i zdorov'e: sbornik nauchnyh trudov*. Minsk: Belaruskaja navuka; 2020. P. 304–308. (In Russ).
29. Che SN, Bakajtis VI, Tsapalova IE. Influence of heat treatment on macromycete physical characteristics and the content of heavy metals in them. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2015;(2):138–143. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Унгуряну Татьяна Николаевна**, д.м.н.;

адрес: Россия, 163000, Архангельск, пр. Троицкий, 51;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8936-7324>;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

e-mail: unguryanu_tn@mail.ru

Степовая Дарья Алексеевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1512-9838>;

eLibrary SPIN: 8759-1012;

e-mail: stepovaia.d.a@gmail.com

Беляевская Илона Александровна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1685-8170>;

eLibrary SPIN: 5255-0141;

e-mail: ilona.aleksandrova.1998@mail.ru

Гайдук Светлана Викторовна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-7967>;

eLibrary SPIN: 6634-6981;

e-mail: svetikzaharova5@mail.ru

Бобыкин Константин Сергеевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0875-5008>;

eLibrary SPIN: 1292-5961;

e-mail: bobikin.kostik@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Tatiana N. Unguryanu**, MD, Dr. Sci. (Med.);

address: 51 Troitsky avenue, 163000, Arkhangelsk, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8936-7324>;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

E-mail: unguryanu_tn@mail.ru

Daria A. Stepovaia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1512-9838>;

eLibrary SPIN: 8759-1012;

e-mail: stepovaia.d.a@gmail.com

Ilona A. Belyaevskaya;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1685-8170>;

eLibrary SPIN: 5255-0141;

e-mail: ilona.aleksandrova.1998@mail.ru

Svetlana V. Gaiduk;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-7967>;

eLibrary SPIN: 6634-6981;

e-mail: svetikzaharova5@mail.ru

Konstantin S. Bobykin;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0875-5008>;

eLibrary SPIN: 1292-5961;

e-mail: bobikin.kostik@mail.ru

Волков Никита Геннадьевич;ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9202-7400>;e-mail: candysec@yandex.ru**Кузнецова Диана Логиновна;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4579-9357>;e-mail: dianka.kuznetsova.00@inbox.ru**Косарева Елена Николаевна;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5918-2820>;e-mail: kosareff_en@bk.ru**Глуханова Анна Сергеевна;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4763-2377>;e-mail: annagluhanova@yandex.ru**Nikita G. Volkov;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9202-7400>;e-mail: candysec@yandex.ru**Diana L. Kuznetsova;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4579-9357>;e-mail: dianka.kuznetsova.00@inbox.ru**Elena N. Kosareva;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5918-2820>;e-mail: kosareff_en@bk.ru**Anna S. Glukhanova;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4763-2377>;e-mail: annagluhanova@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author