

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco624154>

Оценка риска развития общетоксических эффектов для здоровья населения, связанного с загрязнением дикорастущих грибов и ягод тяжёлыми металлами

Д.А. Степовая, Т.Н. Унгурану

Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Снижение угрозы формирования недопустимых рисков, обусловленных химической контаминацией пищевой продукции, является одной из главных задач обеспечения продовольственной безопасности населения. Дикорастущие грибы и ягоды накапливают тяжёлые металлы из окружающей среды, что может повлиять на здоровье человека при их употреблении.

Цель. Оценить риск развития общетоксических эффектов для здоровья взрослого населения Архангельской области, связанный с употреблением дикорастущих грибов и ягод.

Материал и методы. Количество и частота употребления грибов и ягод взрослым населением Архангельской области изучены с помощью анкетирования ($n=445$). Дозы поступления тяжёлых металлов, загрязняющих грибы и ягоды, рассчитаны для четырёх сценариев. Характеристика риска развития общетоксических эффектов при воздействии ртути, мышьяка, свинца и кадмия выполнена с помощью коэффициентов опасности (HQ). Для оценки риска развития неканцерогенных эффектов со стороны критических органов и систем использованы индексы опасности для веществ одностороннего действия (HI). Количественные данные представлены в виде медианы (Me), 95% доверительного интервала для медианы (95% ДИ), 90-го перцентиля (P_{90}).

Результаты. Большинство респондентов собирают грибы (82%) и ягоды (70%) на территории Архангельской области самостоятельно. В среднем за неделю они употребляют 180 г свежих или замороженных ягод, 133 г ягод с морсом (соком, компотом), по 50 г грибов с супом или отварных/жареных грибов. Значения HQ для всех тяжёлых металлов не превышали 1,0; HI, рассчитанные для среднего уровня потребления грибов и ягод и среднего уровня загрязнения дикоросов тяжёлыми металлами, не превышали 1,0. При высоком уровне употребления грибов (P_{90} — 417 г/нед.) и ягод (P_{90} — 900 г/нед.) и высоком уровне их загрязнения тяжёлыми металлами формируется повышенный риск развития общетоксических эффектов со стороны эндокринной системы (HI=2,27), органов кровообращения (HI=2,0) и пищеварения (HI=2,0), нервной и иммунной систем (HI по 1,81), а также почек (HI=1,25). Установлено, что при среднем уровне загрязнения лесные грибы и ягоды можно употреблять без ограничений. При высоком уровне загрязнения грибов и ягод тяжёлыми металлами на уровне P_{90} не рекомендуется употреблять более чем 400 г лесных грибов и 650 г лесных ягод в день.

Заключение. Установлен повышенный риск развития общетоксических эффектов для эндокринной, нервной, иммунной систем, органов кровообращения и пищеварения при высоком употреблении дикорастущих грибов и ягод и верхней границе экспозиции тяжёлыми металлами.

Ключевые слова: грибы; ягоды; тяжёлые металлы; оценка риска; Архангельская область.

Как цитировать:

Степовая Д.А., Унгурану Т.Н. Оценка риска развития общетоксических эффектов для здоровья населения, связанного с загрязнением дикорастущих грибов и ягод тяжёлыми металлами // Экология человека. 2024. Т. 31, № 1. С. 77–88. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco624154>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco624154>

Assessment of health risks posed by heavy metal contamination of wild mushrooms and berries

Daria A. Stepovaia, Tatiana N. Unguryanu

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: One of the primary objectives in ensuring food security for the population is to reduce the risk of chemical contamination in food. Wild mushrooms and berries have the potential to accumulate heavy metals from the environment, posing a threat to human health if consumed.

AIM: To assess the risk of developing general toxic effects associated with the consumption of wild mushrooms and berries on health of the adults living in the Arkhangelsk region.

MATERIAL AND METHODS: The amount and frequency of mushroom and berry consumption by the adult population of the Arkhangelsk region was assessed by a survey ($n=445$). Intake of heavy metals contaminating mushrooms and berries was calculated using four scenarios. Hazard Quotients (HQ) were used to characterize the risk of developing overall toxic effects due to exposure to mercury, arsenic, lead, and cadmium. Hazard Indexes (HI) for substances with unidirectional effects were employed to assess the risk of non-cancerous effects on critical organs and systems. Quantitative data were presented as medians (Me) with 95% confidence intervals (95% CI), and the 90th percentile (P_{90}).

RESULTS: In total, 82% and 70% of respondents were engaged in collection of mushrooms and wild berries, respectively. On average, they reported consuming 180 grams of fresh or frozen berries, 133 grams of berries with juice, and 50 grams of mushrooms in soup or boiled/fried form per week. The Hazard Quotients (HQ) for all heavy metals did not exceed 1.0. The Hazard Index (HI) calculated for the average consumption of mushrooms and berries, as well as the average heavy metal contamination of wild plants was below 1.0.

However, at high levels of mushroom (P_{90} — 417 g/week) and berry (P_{90} — 900 g/week) consumption, along with high levels of heavy metal contamination, elevated risk of developing general toxic effects on the endocrine- (HI=2.27), cardiovascular- (HI=2.0), digestive- (HI=2.0), nervous- and immune systems (HI =1.81 for both) and kidneys (HI=1.25) were detected. Forest mushrooms and wild berries can be consumed without restriction at an average level of their contamination. However, in cases of heavy metal contamination of mushrooms and berries at the P_{90} level or above, it is not recommended to exceed daily consumption of 400 grams of forest mushrooms and 650 grams of wild berries.

CONCLUSION: Consuming high amounts of wild mushrooms and berries at the upper limit of exposure to heavy metals, may lead to an elevated risk of developing toxic effects on endocrine, nervous, immune, cardiovascular, and digestive systems.

Keywords: mushrooms; berries; heavy metals; risk assessment; Arkhangelsk region.

To cite this article:

Stepovaia DA, Unguryanu TN. Assessment of health risks posed by heavy metal contamination of wild mushrooms and berries. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(1):77–88. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco624154>

Received: 01.12.2023

Accepted: 12.07.2024

Published online: 27.07.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco624154>

重金属污染野生蘑菇和浆果对公众健康造成一般毒性影响的风险评估

Daria A. Stepovaia, Tatiana N. Unguryanu

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

简评

论证。减少食品化学污染造成的不可接受的风险威胁是确保居民食品安全的主要目标之一。野生蘑菇和浆果会从环境中积累重金属，食用后会影响人体健康。

目的。评估食用野生蘑菇和浆果对阿尔汉格尔斯克州成年人健康造成一般毒性影响的风险。

材料与方法。通过问卷调查 (n=445) 研究了阿尔汉格尔斯克州成年人食用蘑菇和浆果的数量和频率。污染蘑菇和浆果的重金属摄入量是按照四种情况进行计算。使用危险商数 (HQ) 对暴露于汞、砷、铅和镉的情况下产生一般毒性效应的风险进行了定性。为评估对关键器官和系统的非致癌影响风险，采用了单向物质危害指数 (HI)。定量数据以中位数 (Me)、中位数的 95% 置信区间 (95% CI)、第 90 百分位数 (P90) 表示。

结果。大多数受访者自己在阿尔汉格尔斯克州境内采集蘑菇 (82%) 和浆果 (70%)。他们平均每周食用 180 克新鲜或冷冻浆果、133 克浆果果酱 (果汁、果酱)、50 克蘑菇汤或煮蘑菇/炒蘑菇。所有重金属的 HQ 值均不超过 1.0。根据蘑菇和浆果的平均食用量以及野生植物重金属污染的平均水平计算出的 HI 值不超过 1.0。如果食用大量蘑菇 (P90 - 417 克/周) 和浆果 (P90 - 900 克/周)，且其重金属污染水平较高，则会增加内分泌系统 (HI=2.27)、循环系统 (HI=2.0) 和消化系统 (HI=2.0)、神经和免疫系统 (HI 为 1.81) 以及肾脏 (HI=1.25) 产生一般毒性影响的风险。研究发现，在平均污染水平下，可以不受限制地食用森林蘑菇和浆果。如果蘑菇和浆果的重金属污染程度较高 (P90)，则不建议每天食用超过 400 克的森林蘑菇和 650 克的森林浆果。

结论。大量食用野生蘑菇和浆果以及重金属暴露上限会增加对内分泌、神经、免疫系统、循环和消化器官产生一般毒性影响的风险。

关键词：蘑菇；浆果；重金属；风险评估；阿尔汉格尔斯克州。

引用本文：

Stepovaia DA, Unguryanu TN. 重金属污染野生蘑菇和浆果对公众健康造成一般毒性影响的风险评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(1):77–88. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco624154>

收到: 01.12.2023

接受: 12.07.2024

发布日期: 27.07.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Одной из главных задач обеспечения безопасности питания населения является снижение угрозы формирования недопустимых рисков, обусловленных химической контаминацией пищевой продукции [1]. По данным Программы Арктического мониторинга и оценки [2] недостаточно информации об уровнях безопасности традиционных местных продуктов питания, в том числе дикорастущих грибов и ягод, на территории Арктической зоны Российской Федерации. Во многих исследованиях отмечена способность дикоросов аккумулировать тяжёлые металлы из воздуха, грунтовых вод и почвы в районах, подверженных загрязнению промышленными предприятиями [3–5]. На уровень содержания тяжёлых металлов в пищевых продуктах влияет их видовая специфика, концентрации токсикантов в почве и грунтовых водах, удалённость мест произрастания дикоросов от источника загрязнения. При поступлении с пищей тяжёлые металлы оказывают токсическое воздействие на организм человека, которое зависит от многих факторов: дозы, частоты и продолжительности воздействия, возраста, пола, индивидуальной восприимчивости и генетических особенностей [6]. Тяжёлые металлы, такие как свинец (Pb), мышьяк (As), кадмий (Cd) и ртуть (Hg), являются системными токсикантами и могут оказывать негативное воздействие на различные органы и системы, особенно на репродуктивную, нервную и выделительную системы [7–11]. При хроническом поступлении тяжёлых металлов в организм поражение нервной системы проявляется в виде астеновегетативного синдрома [8]. Тяжёлые металлы способны накапливаться в почках, вызывая гистологические и функциональные повреждения почечных канальцев, что приводит к развитию почечной недостаточности [11].

Для установления негативных эффектов здоровью при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, используется методология оценки риска [12, 13]. Характеристика общетоксических (неканцерогенных) эффектов при экспозиции тяжёлых металлов позволяет учесть их аддитивное воздействие на критические органы и системы.

Ранее выполненные исследования выявили, что дикоросы, произрастающие на территории Архангельской области, содержат тяжёлые металлы в низких концентрациях [14, 15]. Источниками поступления тяжёлых металлов в окружающую среду на территории Архангельской области являются предприятия судостроения и машиностроения, целлюлозно-бумажной промышленности, предприятия теплоэнергетики, транспорт. Одним из путей поступления тяжёлых металлов в атмосферу региона является трансграничный перенос загрязнённых воздушных масс из центральных индустриальных районов России и Европы, что приводит к возрастанию содержания тяжёлых металлов во всех компонентах окружающей среды [16]. Принимая во внимание широкое употребление в пищу дикорастущих грибов

и ягод населением региона, проведение оценки риска для здоровья населения при воздействии тяжёлых металлов, загрязняющих дикоросы, является актуальным.

Цель исследования. Оценить риск развития общетоксических эффектов для здоровья взрослого населения Архангельской области, связанный с употреблением дикорастущих грибов и ягод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Информация о содержании тяжёлых металлов в дикоросах за 2015–2021 гг. получена в испытательной лаборатории станции агрохимической службы «Архангельская». Проанализировали 132 пробы ягод и 94 пробы грибов, отобранных в лесном массиве вблизи Архангельска и Северодвинска, в Пинежском, Приморском, Онежском, Красноборском и Устьянском районах. Количественное определение Hg в пробах ($n=88$) проводили с использованием колориметрического метода в соответствии с ГОСТ 26927-86 «Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути». As ($n=129$) определяли на анализаторе «ПАН-As» с использованием метода инверсионной вольтамперометрии в соответствии с ГОСТ 31628-2012 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка». Содержание Pb ($n=102$) и Cd ($n=119$) определяли на атомно-абсорбционном анализаторе «Спектр-5» с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов».

Количество и частоту потребления грибов и ягод населением Архангельской области изучали с помощью анкетирования. Использовали модифицированную анкету Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи по частотному потреблению пищевых продуктов за прошедший месяц с указанием размера порций.

Было проанкетировано 445 человек в возрасте 18 лет и старше, постоянно проживающих в Архангельске, Новодвинске, Северодвинске и районах Архангельской области (Приморском, Пинежском, Холмогорском).

Неканцерогенный риск рассчитывали на основе концентраций тяжёлых металлов в дикорастущих грибах и ягодах, произрастающих на территории Архангельской области (табл. 1) [14]. Дозы поступления тяжёлых металлов, загрязняющих грибы и ягоды, рассчитывали с учётом количества их потребления и массы тела респондентов по четырем сценариям:

- первый сценарий (стандартный) — потребление дикоросов и содержание в них тяжёлых металлов на уровне медианы (Me);
- второй сценарий — потребление дикоросов на уровне верхней границы экспозиции (P_{90}) и содержание в них тяжёлых металлов на уровне Me;

Таблица 1. Концентрация тяжёлых металлов в дикорастущих грибах и ягодах Архангельской области
Table 1. Concentration of heavy metals in wild mushrooms and berries in the Arkhangelsk region

Металлы Metals	Показатели Measures	Все виды грибов All types of mushrooms	Все виды ягод All types of berries	Пределы обнаружения Detection limits
Hg, мг/кг Hg (mg/kg)	Me 95% ДИ (CI)	0,013 0,011–0,022	0,006 0,004–0,011	0,003–0,6
As, мг/кг As (mg/kg)	Me 95% ДИ (CI)	0,034 0,027–0,082	0,031 0,021–0,054	0,02–2,0
Pb, мг/кг Pb (mg/kg)	Me 95% ДИ (CI)	0,083 0,039–0,134	0,065 0,036–0,099	0,01–1,0
Cd, мг/кг Cd (mg/kg)	Me 95% ДИ (CI)	0,040 0,030–0,062	0,022 0,015–0,033	0,01–1,0

• третий сценарий — потребление грибов и ягод на уровне Me и высокий уровень загрязнения дикоросов (P_{90});

• четвёртый сценарий (наихудший) — высокое потребление грибов и ягод (P_{90}) и содержание металлов на уровне P_{90} .

Расчёты уровней риска здоровью населения, связанного с загрязнением дикорастущих грибов и ягод, выполняли в соответствии с «Руководством по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» [12] и методическими указаниями «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических загрязнителей пищевых продуктов на население» [13]. Принимая во внимание, что изучаемые тяжёлые металлы (Hg, Pb, Cd, As) обладают кумулятивными свойствами, дозовую нагрузку рассчитывали с учётом недельного потребления ягод и грибов по формуле 1:

$$E_{xp} = \frac{\sum_{i=1}^N (C_i \times M_i)}{BW}, \tag{1}$$

где E_{xp} — (значение экспозиции загрязнителем), мг/кг массы тела в неделю;

C_i — концентрация вещества в конкретных пищевых продуктах, мг/кг;

M_i — масса потребления продукта, кг/нед.;

BW — рассчитанная средняя масса тела респондентов (68 кг);

N — общее количество продуктов, включённых в исследование.

Характеристику риска развития общетоксических эффектов для отдельных веществ осуществляли путём расчёта коэффициентов опасности (HQ) — отношения воздействующей дозы химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия (формула 2):

$$HQ_i = \frac{E_{xp}}{RfDo}, \tag{2}$$

где HQ_i — коэффициент опасности воздействия вещества i ;

E_{xp} — доза, мг/кг массы тела в неделю;

RfDo — референтная доза при пероральном поступлении, мг/кг/нед.

В качестве референтных доз для исследуемых металлов использовали значения условного переносимого недельного поступления [12].

Для оценки риска развития неканцерогенных эффектов со стороны критических органов и систем рассчитывали индексы опасности (HI) — сумма коэффициентов опасности для веществ с одинаковым механизмом действия (формула 3).

$$HI = \sum HQ_i, \tag{3}$$

где HI — индекс опасности;

HQ_i — коэффициенты опасности для химических веществ, оказывающих действие на одинаковые критические органы и системы.

Если HQ и HI не превышали 1,0, то данный уровень риска рассматривался как допустимый.

Рекомендуемое суточное безопасное поступление (Recommended food daily intake limit, RFDIL) дикорастущих ягод и грибов с учётом содержания в них тяжёлых металлов рассчитывали в соответствии с методом, представленным А.А. Дударевым и соавт. [17], по формуле 4:

$$RFDIL = \frac{TDI \times BW}{C}, \tag{4}$$

где RFDIL — рекомендуемое суточное безопасное поступление, кг/день на человека;

TDI — допустимая суточная доза, мг/кг, разработанная объединённым экспертным комитетом ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам [18, 19];

BW — средняя масса тела респондентов (68 кг);

C — концентрация загрязняющего вещества, мг/кг.

Проверку распределения количественных данных проводили с применением статистического критерия Колмогорова–Смирнова. В связи с тем, что распределение данных статистически значимо отличалось от нормального, для их описания использовали медиану (Me), 95% доверительный интервал для медианы (95% ДИ), 90-й процентиль (P_{90}). Категориальные переменные описывали в виде процентных соотношений. Критический

уровень статистической значимости принимали равным 0,05. Для статистического анализа данных использовали программное обеспечение STATA, версия 17.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст респондентов составил 37 лет (P_{25-75} : 24–50 лет). Среди опрошенных преобладали женщины (77%). По роду деятельности наибольшее число респондентов являлись специалистами (40%), учащимися вузов и колледжей (20%) и пенсионерами (12%). Средняя масса тела анкетлируемых взрослых составила 68 кг (P_{25-75} : 58–80 кг).

В результате анкетирования выявлено, что 96% респондентов употребляют лесные ягоды и 83% — лесные грибы. Большинство опрошенных собирают ягоды и грибы самостоятельно на территории Архангельской области (82 и 70% соответственно).

Треть респондентов потребляют от одного до пяти видов ягод и грибов, около 45% — от шести до десяти видов ягод и грибов. Среди ягод респонденты отдали предпочтение по употреблению бруснике, клюкве и чернике, среди грибов — белым грибам, подберёзовикам и подосиновикам.

Выявлено, что на частоту потребления грибов и ягод влияет сезон года. В условиях климата Архангельской области, как и на других арктических территориях, население больше потребляет грибы и ягоды в тёплый сезон года, что обусловлено сезонностью произрастания дикоросов.

Установлено, что в тёплый период года 8,8% опрошенных употребляют ягоды ежедневно, а в холодный период — только 2,7% респондентов. В летне-осенний сезон

большинство опрошенных потребляют ягоды с частотой 2–3 раза в неделю (27,6%), грибы — от 1 раза в неделю до 1 раза в месяц (32,4%). В зимне-весенний сезон большая часть респондентов потребляет ягоды и грибы 1 раз в месяц (35,3 и 55,3% соответственно).

Респонденты, потребляющие лесные ягоды, за неделю в среднем употребляют 180 г свежих или замороженных ягод, 133 г ягод с морсом (соком, компотом), 38 г мочёных ягод, 33 г варенья из ягод и 13 г ягод в начинке для пирогов. Респонденты, потребляющие лесные грибы, за неделю в среднем употребляют по 50 г грибов с супом или отварных/жареных грибов, 25 г солёных грибов, 15 г маринованных грибов и 20 г икры из грибов. На уровне P_{90} потребление ягод в 2–8 раз, а грибов в 6–12 раз выше по сравнению со средним потреблением на уровне Ме (табл. 2).

Сравнительная характеристика рассчитанных доз по четырём сценариям выявила, что количество потребляемых грибов и ягод имеет существенное значение в дозовой нагрузке контаминатами. Однако вклад ягод в суммарную дозовую нагрузку всеми металлами для первого сценария выше, чем для грибов, и составил 53–70%. Для второго и третьего сценариев установлен наибольший вклад ягод в дозовую нагрузку As (60–63%), Pb (60%) и Cd (51–56%), для четвёртого сценария — только As (53%). Вклад грибов в суммарную дозу Hg выше, чем ягод, для второго, третьего и четвёртого сценариев (53–65%), Pb — для второго и четвёртого сценариев (51 и 58% соответственно), Cd — для четвёртого сценария (51%).

Значения HQ для всех тяжёлых металлов и по всем сценариям воздействия не превышали 1,0, что соответствует допустимому уровню риска. Для первого и третьего

Таблица 2. Количество ягод, грибов и блюд из них, употребляемых взрослым населением Архангельской области за неделю, граммов на 1 человека

Table 2. Amount of berries, mushrooms, and dishes made from them consumed by the adult population of the Arkhangelsk region per week, grams per person

Вид продукта Product	Медиана Median	P_{90} 90th percentile	95% ДИ для медианы 95% CI for the median
Ягоды свежие Fresh berries	180	900	60–180
Ягоды замороженные Frozen berries	180	440	60–180
Варенье из ягод/ягоды, дроблённые с сахаром Berry jam/berries crushed with sugar	33	100	17–33
Мочёные ягоды Pickled berries	38	300	25–97
Начинка из ягод Berry filling in pies	13	100	13–17
Сок, морс, компот из ягод Berry juice, mors, compote	133	667	133–200
Суп из грибов Mushroom soup	50	417	41–83
Отварные/жареные грибы Boiled/fried mushrooms	50	300	25–90
Солёные грибы Salted mushrooms	25	300	25–75
Маринованные грибы Pickled mushrooms	15	180	15–25
Икра грибная Mushroom caviar	20	148	10–25

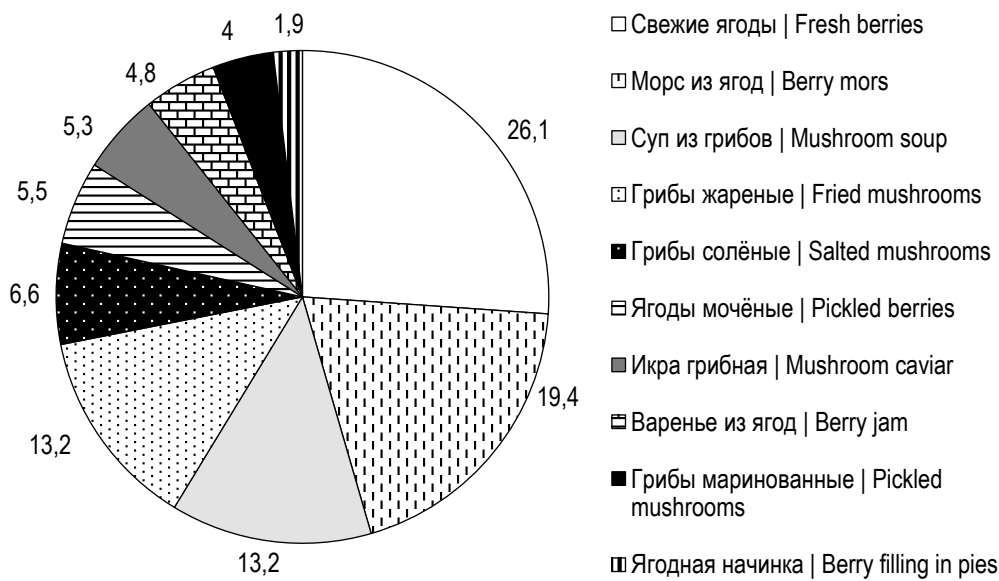


Рис. 1. Вклад лесных грибов и ягод и блюд из них в суммарную дозу тяжёлых металлов, %.
Fig. 1. Contribution of wild mushrooms, berries, and dishes made from them to the total intake of heavy metals, %.

сценариев воздействия значения HQ расположились в следующем убывающем порядке: Cd → Pb → As → Hg. Для второго и четвёртого сценариев воздействия порядок расположения уровней HQ следующий: As → Pb → Cd → Hg. Это свидетельствует о том, что при среднем уровне загрязнения грибов и ягод тяжёлыми металлами наибольшую опасность для здоровья представляет Cd, а при верхней границе экспозиции на уровне P₉₀ — As (табл. 3).

Анализ вклада отдельных блюд из ягод и грибов в суммарную дозу (рис. 1) тяжёлых металлов, независимо

от сценария воздействия, показал, что употребление свежих ягод и морса вносит вклад 26,1 и 19,4% соответственно. Вклад супа из грибов и жареных грибов в дозовую нагрузку тяжёлыми металлами составил по 13,2%. Вклад солёных и маринованных грибов, икры грибной был 6,6, 4,8 и 5,3% соответственно. Доля вклада ягодной начинки, варенья и мочёных ягод незначительна и составляет 1,9, 4,8 и 5,5% соответственно.

Значения HI для критических органов и систем при воздействии тяжёлых металлов, обладающих односторонним действием, для первого, второго и третьего

Таблица 3. Дозы (мкг/кг/нед.) и коэффициенты опасности (ед.) тяжёлых металлов, поступающих в организм при потреблении грибов и ягод

Table 3. Doses (µg/kg/week) and hazard coefficients (units) of heavy metals entering the body through the consumption of mushrooms and berries.

Металлы Metals	Сценарий 1 Scenario 1	Сценарий 2 Scenario 2	Сценарий 3 Scenario 3	Сценарий 4 Scenario 4
Дозы, мкг/кг/неделя Doses, µg/kg/week				
Ртуть Mercury	0,07	0,18	0,48	1,34
Мышьяк Arsenic	0,26	2,13	1,82	15,23
Свинец Lead	0,58	1,79	4,04	13,24
Кадмий Cadmium	0,22	0,44	1,60	3,19
Коэффициент опасности (HQ), ед. Hazard Quotient (HQ), units				
Ртуть Mercury	0,01	0,04	0,10	0,27
Мышьяк Arsenic	0,02	0,14	0,12	1,02
Свинец Lead	0,02	0,07	0,16	0,53
Кадмий Cadmium	0,03	0,06	0,23	0,46

Примечание. HQ ≤1,0 соответствует допустимому (приемлемому) риску, при HQ >1 вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению HQ.
Note. HQ ≤1.0 corresponds to the acceptable risk, when HQ >1, the the probability of occurrence of harmful effects in humans increases proportionally to the increase in HQ.

Таблица 4. Индексы опасности для критических органов и систем при потреблении грибов и ягод, загрязнённых тяжёлыми металлами

Table 4. Hazard index for critical organs and systems associated with the consumption of mushrooms and berries contaminated with heavy metals

Критические органы и системы Organs and systems	Сценарий 1 Scenario 1	Сценарий 2 Scenario 2	Сценарий 3 Scenario 3	Сценарий 4 Scenario 4
Эндокринная система Endocrine system	0,09	0,31	0,61	2,27
Органы кровообращения Circulatory organs	0,07	0,28	0,51	2,00
Органы пищеварения Digestive organs	0,07	0,28	0,51	2,00
Почки Kidneys	0,07	0,17	0,49	1,25
Система крови Blood system	0,05	0,13	0,39	0,99
Нервная система Nervous system	0,05	0,25	0,38	1,81
Иммунная система Immune system	0,05	0,25	0,38	1,81

Примечание. HI ≤1,0 соответствует минимальному риску; HI=1,1–3,0 соответствует допустимому (приемлемому) риску.
Note. HI ≤1.0 corresponds to minimal risk; HI=1.1–3.0 corresponds to permissible (acceptable) risk.

сценариев воздействия не превышали 1,0, что соответствует допустимому риску (табл. 4). Для четвёртого сценария значения HI, превышающие 1,0, установлены для эндокринной системы (2,27), органов кровообращения (2,00) и пищеварения (2,00), почек (1,25), нервной и иммунной систем (по 1,81). Основной вклад в HI для первого, второго и третьего сценариев воздействия вносят ягоды (50–64%), для четвёртого сценария — грибы (51–57%). Таким образом, при высоком потреблении грибов и высоком уровне их загрязнения тяжёлыми металлами формируется повышенный риск развития общетоксических эффектов со стороны эндокринной системы, органов кровообращения и пищеварения, почек и иммунной системы.

Принимая во внимание фактические уровни загрязнения грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области, рассчитали допустимое безопасное для здоровья населения их потребление (табл. 5).

Установлено, что при среднем уровне загрязнения лесные грибы и ягоды можно употреблять без ограничений. При высоком уровне загрязнения грибов и ягод тяжёлыми металлами (P_{90}) не рекомендуется употреблять более чем 400 г лесных грибов и 650 г лесных ягод в день.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании выполнена оценка опасности развития общетоксических эффектов для здоровья населения Архангельской области при воздействии тяжёлых металлов, содержащихся в дикорастущих грибах и ягодах. Значения HQ для всех тяжёлых металлов и по всем сценариям воздействия не превышали 1,0, что соответствует допустимому уровню риска. Установлен повышенный риск развития общетоксических эффектов со стороны критических органов и систем только

Таблица 5. Допустимые безопасные уровни потребления грибов и ягод (г/день) в зависимости от концентрации в них тяжёлых металлов

Table 5. Upper limits of recommended daily intake of mushrooms and berries (grams per day) by concentration of heavy metals.

Металлы Metals	Лесные грибы Forest mushrooms		Лесные ягоды Forest berries	
	Медиана Median	P_{90} 90th percentile	Медиана Median	P_{90} 90th percentile
Ртуть Mercury	Без ограничений No limits	880	Без ограничений No limits	Без ограничений No limits
Мышьяк Arsenic	Без ограничений No limits	400	Без ограничений No limits	650
Свинец Lead	Без ограничений No limits	630	Без ограничений No limits	Без ограничений No limits
Кадмий Cadmium	Без ограничений No limits	820	Без ограничений No limits	Без ограничений No limits
Все металлы All metals	Без ограничений No limits	400	Без ограничений No limits	650

при высоком потреблении дикорастущих грибов и ягод и верхней границе экспозиции тяжёлыми металлами, при этом основной вклад в HI для этого сценария воздействия принадлежит грибам.

Уровни риска зависят от количества потребляемых дикоросов и содержания в них металлов. Как показало настоящее исследование, потребление свежих ягод населением Архангельской области составляет 180 г в неделю, что сопоставимо с потреблением лесных ягод населением в Финляндии (158 г в неделю) [20]. Потребление дикорастущих (отварных/жареных) грибов в Архангельской области составило 50 г в неделю, что в 2 раза меньше по сравнению с количеством потребляемых лесных грибов населением в Мурманской области (96 г в неделю) [21].

Содержание Hg, Cd, Pb в дикорастущих грибах южных стран по сравнению с нашим исследованием на 20–40% ниже. Средние концентрации As в дикоросах Архангельской области ниже на 16 и 38%, чем в дикорастущих грибах, исследованных в Китае (0,040 мг/кг) и Бангладеш (0,047 мг/кг) [22, 23].

Сравнительная характеристика вклада тяжёлых металлов в дозовую нагрузку при потреблении дикоросов Архангельской области выявила, что при стандартном сценарии основной вклад в дозу вносит Pb (51%), при наихудшем сценарии — As (46%). Исследование, выполненное в Печенгском районе Мурманской области, показало основной вклад грибов в поступление Pb (35%) и Cd (91%) с пищевым рационом [21]. В Польше грибы являются значимым источником Hg и Cd, вклад этих металлов в дозовую нагрузку составляет 43 и 28% соответственно [24].

Как и в нашем исследовании, так и в работах других авторов [22, 23, 25, 26], рассчитанные HI для взрослого населения на уровне среднего потребления дикоросов не превышали 1,0. В исследовании, выполненном в Польше [24], установлен повышенный риск развития заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем при регулярном потреблении взрослым населением дикорастущих грибов. В Румынии значения HI для детского населения при потреблении дикоросов, загрязнённых тяжёлыми металлами, составили 3,3–6,5 в возрастных группах 1–3 года и 6–10 лет, что соответствует повышенному уровню риска [27].

В Чукотском автономном округе установлено низкое содержание тяжёлых металлов в грибах, произрастающих на территории региона. Проанализированные пробы дикорастущих ягод содержали Cd в концентрациях, превышающих гигиенический норматив [28]. Установлено, что грибы, собранные в прибрежной зоне Берингова пролива, могут употребляться без ограничений, а потребление ягод не должно превышать 300 г/день [17]. В нашем исследовании допустимое безопасное потребление дикоросов, содержащих тяжёлые металлы на уровне верхней границы экспозиции (P_{90}), выше и составило для грибов — 400 г/день, для ягод — 650 г/день.

Одним из ограничений настоящего исследования является преобладание женщин среди опрошенных (77%), что может повлиять при экстраполяции результатов исследования на популяцию, так как различие в частоте и количестве употребления дикорастущих грибов и ягод между мужчинами и женщинами могут быть существенными. Кроме того, исследование было проведено в ограниченный промежуток времени — с мая по октябрь 2021 г. Респонденты могли испытывать сложности при указании частоты употребления дикоросов в зимне-весенний сезон года, что могло отразиться на частоте их употребления в холодный период года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среднее потребление дикорастущих грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области, при среднем уровне их загрязнения тяжёлыми металлами является безопасным для здоровья населения. При высоком уровне потребления грибов и ягод и высоком уровне загрязнения дикоросов тяжёлыми металлами существует повышенный риск развития общетоксических эффектов для эндокринной системы, органов кровообращения и пищеварения, почек, иммунной системы. При высоком уровне загрязнения грибов и ягод тяжёлыми металлами (P_{90}) не рекомендуется употреблять более 400 г лесных грибов и 650 г лесных ягод в день. Существующая система исследований содержания загрязнителей в продовольственном сырье и продуктах питания в рамках надзорных мероприятий и производственного контроля не включает дикоросы. В этой связи целесообразно организовать мониторинг, который позволит систематически исследовать уровни химических веществ, включая тяжёлые металлы, в дикорастущих грибах и ягодах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Д.А. Степовая — получение, анализ и интерпретация данных, разработка первого варианта статьи; Т.Н. Унгуряну — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, анализ и интерпретацию данных, написание текста, редактирование. 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).

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Authors contribution. D.A. Stepovaia obtained, analyzed, interpreted the data and wrote the first draft of the article; T.N. Unguryany made

a significant contribution to the concept and design of the study, obtained, analyzed, interpreted the data, wrote, and edited the text. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria. Both authors made a significant contribution to the

development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

Funding source. No external funding

Competing interests. The authors declare no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова А.Ю. Анализ риска — стратегическое направление обеспечения безопасности пищевых продуктов // Анализ риска здоровью. 2018. № 4. С. 4–12. EDN: YUGRWH doi: 10.21668/health.risk/2018.4.01
2. AMAP, 2015. AMAP Assessment 2015: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, 2015.
3. Безель В.С., Мухачёва С.В., Трубина М.Р., Воробейчик Е.Л. Химическое загрязнение среды: накопление тяжёлых металлов дикорастущими ягодами и грибами, оценка риска их потребления населением среднего Урала // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2012. № 3. С. 39–47. EDN: THABUH
4. Кацнельсон Б.А., Мажаева 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. EDN: OPFCPD
5. Zhang J., Barańkiewicz D., Hanć A., et al. Contents and health risk assessment of elements in three edible ectomycorrhizal fungi (boletaceae) from polymetallic soils in Yunnan province, SW China // Biol Trace Elem Res. 2020. Vol. 195, N 1. P. 250–259. doi: 10.1007/s12011-019-01843-y
6. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. Heavy metal toxicity and the environment // Exp Suppl. 2012. Vol. 101. P. 133–164. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
7. Bakhireva L.N., Rowland A.S., Young B.N., et al. Sources of potential lead exposure among pregnant women in New Mexico // Matern Child Health J. 2013. Vol. 17, N 1. P. 172–179. doi: 10.1007/s10995-012-0963-5
8. Ермагамбетова А.П., Кабдрахманова Г.Б., Козбагаров К.Е., и др. О влиянии ксенобиотиков на нервную систему (обзор) // Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей. 2011. № 3. С. 22–24. EDN: VYTSOD
9. Kumar S., Sharma A. Cadmium toxicity: effects on human reproduction and fertility // Rev Environ Health. 2019. Vol. 34, N 4. P. 327–338. doi: 10.1515/reveh-2019-0016
10. Heidari S., Mostafaei S., Razazian N., et al. The effect of lead exposure on IQ test scores in children under 12 years: a systematic review and meta-analysis of case-control studies // Syst Rev. 2022. Vol. 11, N 1. P. 106. doi: 10.1186/s13643-022-01963-y
11. Кузнецова Е.Г., Шияев Р.Р., Громова О.А., Фадеева О.Ю. Токсичные микроэлементы и их роль в развитии нефропатий у детей // Нефрология. 2007. Т. 11, № 2. С. 31–38. EDN: JUEQOV doi: 10.24884/1561-6274-2007-11-2-31-38
12. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания (Р 2.1.10.3968-23). М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2023.
13. Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население. Методические указания (МУ 2.3.7-2519-09). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010.
14. Унгурану Т.Н., Степовая Д.А., Беляевская И.А., и др. Оценка химической и радиологической безопасности дикорастущих грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 17–27. EDN: GHBMFA doi: 10.17816/humeco110972
15. Калинина Е.А., Бойкова Т.Е., Белозерова Т.И., и др. Контроль содержания тяжёлых металлов (Ni, Cu, Cr, Pb, Fe) в грибах Архангельской области. В кн.: Инженерные технологии: химия, биология, медицина и информационные технологии в промышленности: сборник научных статей международной научной конференции. Волгоград, 2020. С. 50–53. EDN: YFSBID
16. Зимовец А.А. Некоторые особенности распределения тяжёлых металлов в почвах Севера Европейской территории России (на примере почв Архангельской области) // Антропогенная трансформация природной среды. 2010. № 1. С. 303–309. EDN: WKXDQZ
17. Dudarev A.A., Yamin-Pasternak S., Pasternak I., Chupakhin V.S. Traditional diet and environmental contaminants in Coastal Chukotka IV: recommended intake criteria // Int J Environ Res Public Health. 2019. Vol. 16, N 5. P. 696. doi: 10.3390/ijerph16050696
18. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives // WHO technical report series. N 959.
19. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives // WHO technical report series. N 960.
20. Pöykiö R., Mäenpää A., Perämäki P., et al. Heavy metals (Cr, Zn, Ni, V, Pb, Cd) in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.) and assessment of human exposure in two industrial areas in the Kemi-Tornio region, Northern Finland // Arch Environ Contam Toxicol. 2005. Vol. 48, N 3. P. 338–343. doi: 10.1007/s00244-004-0074-4
21. Дударев А.А., Душкина Е.В., Сладкова Ю.Н., и др. Оценка риска здоровью населения при экспозиции к металлам, содержащимся в местных продуктах питания и питьевой воде в Печенгском районе Мурманской области // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 11. С. 25–32. EDN: UXVBYZ
22. Liu S., Fu Y., Shi M., et al. Pollution level and risk assessment of lead, cadmium, mercury, and arsenic in edible mushrooms from Jilin Province, China // Journal of Food Science. 2021. Vol. 86, N 8. P. 3374–3383. doi: 10.1111/1750-3841.15849
23. Rashid M.H., Rahman M.M., Correll R., Naidu R. Arsenic and other elemental concentrations in mushrooms from Bangladesh:

- health risks // *Int J Environ Res Public Health*. 2018. Vol. 15, N 5. P. 919. doi: 10.3390/ijerph15050919
24. 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
 25. Širić I., Kumar P., Eid E.M., et al. Occurrence and health risk assessment of cadmium accumulation in three tricholoma mushroom species collected from wild habitats of Central and Coastal Croatia // *J Fungi (Basel)*. 2022. Vol. 8, N 7. P. 685. doi: 10.3390/jof8070685
 26. Fu Z., Liu G., Wang L. Assessment of potential human health risk of trace element in wild edible mushroom species collected from Yunnan Province, China // *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020. Vol. 27, N 23. P. 29218–29227. doi: 10.1007/s11356-020-09242-w
 27. Zsigmond A.R., Varga K., Harangi S., et al. Elemental profile of edible mushrooms from a forest near a major Romanian city // *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*. 2015. Vol. 7. P. 98–107. doi: 10.1515/ausae-2015-0009
 28. Dudarev A.A., Chupakhin V.S., Vlasov S.V., Yamin-Pasternak S. Traditional diet and environmental contaminants in coastal Chukotka III: metals // *Int J Environ Res Public Health*. 2019. Vol. 16, N 5. P. 699. doi: 10.3390/ijerph16050699

REFERENCES

1. Popova AYu. Risk analysis as a strategic sphere in providing food products safety. *Health Risk Analysis*. 2018;(4):4–12. EDN: YUGRWH doi: 10.21668/health.risk/2018.4.01
2. AMAP, 2015. AMAP Assessment 2015: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo; 2015.
3. 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 i geokhimicheskoi ekologii*. 2012;(3):39–47. (In Russ.) EDN: THABUH
4. Katsnelson BA, Mazhayeva TV, Privalova LI, et al. 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.) EDN: OPFCPD
5. Zhang J, Barańkiewicz D, Hanć A, et al. Contents and health risk assessment of elements in three edible ectomycorrhizal fungi (boletaceae) from polymetallic soils in Yunnan province, SW China. *Biol Trace Elem Res*. 2020;195(1):250–259. doi: 10.1007/s12011-019-01843-y
6. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. *Exp Suppl*. 2012;101:133–164. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
7. Bakhireva LN, Rowland AS, Young BN, et al. Sources of potential lead exposure among pregnant women in New Mexico. *Matern Child Health J*. 2013;17(1):172–179. doi: 10.1007/s10995-012-0963-5
8. Ermagambetova AP, Kabdrakhmanova GB, Kozbagarov KE, et al. Influence of xenobiotics on nervous system (review). *Herald of Almaty State Institute of Advanced Medical Education*. 2011;3:22–24. EDN: VYTSOD
9. Kumar S, Sharma A. Cadmium toxicity: effects on human reproduction and fertility. *Rev Environ Health*. 2019;34(4):327–338. doi: 10.1515/reveh-2019-0016
10. Heidari S, Mostafaei S, Razazian N, et al. The effect of lead exposure on IQ test scores in children under 12 years: a systematic review and meta-analysis of case-control studies. *Syst Rev*. 2022;11(1):106. doi: 10.1186/s13643-022-01963-y
11. Kuznetsova EG, Shilyaev RR, Gromova OA, Fadeeva OYu. Toxic microelements and their role in the development of nephropathies in children. *Nephrology*. 2007;11(2):31–38. EDN: JUEQOV doi: 10.24884/1561-6274-2007-11-2-31-38
12. Guidelines for assessing the risk to public health from exposure to chemicals that pollute the environment (R 2.1.10.3968-23). Moscow: Federal'nyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii; 2023. (In Russ.)
13. Determination of exposure and assessment of the risk of exposure to chemical contaminants of food products on the population. Methodological guidelines. Moscow: Federal'nyi tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora; 2010. (In Russ.)
14. Unguryanu TN, Stepovaia DA, Belyaevskaya IA, et al. 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. EDN: GHBMFA doi: 10.17816/humeco11097
15. Kalinina EA, Boykova TE, Belozerovala TI, et al. Control of the content of heavy metals (Ni, Cu, Cr, Pb, Fe) in mushrooms of the Arkhangelsk region. In: *Engineering technologies: chemistry, biology, medicine and information technologies in industry: collection of scientific articles of the international scientific conference*. Volgograd; 2020. P. 50–53. (In Russ.) EDN: YFSBID
16. Zimovec AA. Some features of heavy metals distribution in soils of the North European territory of Russia (on example Arkhangelsk area's soils). *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2010;1:303–309. EDN: WKXDQZ
17. Dudarev AA, Yamin-Pasternak S, Pasternak I, Chupakhin VS. Traditional diet and environmental contaminants in Coastal Chukotka IV: recommended intake criteria. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(5):696. doi: 10.3390/ijerph16050696
18. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives // WHO technical report series. N 959.
19. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives // WHO technical report series. N 960.
20. Pöykiö R, Mäenpää A, Perämäki P, et al. Heavy metals (Cr, Zn, Ni, V, Pb, Cd) in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.) and assessment of human exposure in two industrial areas in the Kemi-Tornio region, Northern Finland. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2005;48(3):338–343. doi: 10.1007/s00244-004-0074-4
21. Dudarev AA, Dushkina EV, Sladkova YuN, et al. Evaluating health risk caused by exposure to metals in local foods and drinkable water in Pechenga district of Murmansk region. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2015;11:25–32. EDN: UXVBYZ

22. Liu S, Fu Y, Shi M, et al. Pollution level and risk assessment of lead, cadmium, mercury, and arsenic in edible mushrooms from Jilin Province, China. *Journal of Food Science*. 2021;86(8):3374–3383. doi: 10.1111/1750-3841.15849
23. Rashid MH, Rahman MM, Correll R, Naidu R. Arsenic and other elemental concentrations in mushrooms from Bangladesh: health risks. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(5):919. doi: 10.3390/ijerph15050919
24. 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
25. Širić I, Kumar P, Eid EM, et al. Occurrence and health risk assessment of cadmium accumulation in three tricholoma mushroom species collected from wild habitats of Central and Coastal Croatia. *J Fungi (Basel)*. 2022;8(7):685. doi: 10.3390/jof8070685
26. Fu Z, Liu G, Wang L. Assessment of potential human health risk of trace element in wild edible mushroom species collected from Yunnan Province, China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020;27(23):29218–29227. doi: 10.1007/s11356-020-09242-w
27. Zsigmond AR, Varga K, Harangi S, et al. Elemental profile of edible mushrooms from a forest near a major Romanian city. *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*. 2015;7:98–107. doi: 10.1515/ausae-2015-0009
28. Dudarev AA, Chupakhin VS, Vlasov SV, Yamin-Pasternak S. Traditional diet and environmental contaminants in coastal Chukotka III: metals. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(5):699. doi: 10.3390/ijerph16050699

ОБ АВТОРАХ

*Степовая Дарья Алексеевна;

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

ORCID: 0000-0003-1512-9838;

eLibrary SPIN: 8759-1012;

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

Унгуряну Татьяна Николаевна, д-р мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0001-8936-7324;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

e-mail: unguryanu_tn@mail.ru

AUTHORS' INFO

*Daria A. Stepovaia;

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

ORCID: 0000-0003-1512-9838;

eLibrary SPIN: 8759-1012;

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

Tatiana N. Unguryanu, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;

ORCID: 0000-0001-8936-7324;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

E-mail: unguryanu_tn@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author