

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-79>

УДК 664.951:658.562.012.7

## СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВМІСТУ ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У РИБІ ТА МОРЕПРОДУКТАХ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ТА ДСТУ

## STANDARDIZATION OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS CONTENT IN FISH AND SEAFOOD PRODUCTS: COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERNATIONAL STANDARDS AND DSTU

**Лихолат Олена Анатоліївна**

доктор біологічних наук, професор,  
Університет митної справи та фінансів  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3722-8602>

**Вишнікіна Олена Вікторівна**

кандидат хімічних наук, доцент,  
Університет митної справи та фінансів  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3747-2904>

**Сабіров Олександр Володимирович**

кандидат технічних наук,  
Університет митної справи та фінансів  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9436-0477>

**Lykholat Olena, Vyshnikina Olena, Sabirov Oleksandr**  
University of Customs and Finance

У статті розглянута проблема забезпечення населення України якісною та безпечною рибною продукцією. Проведений порівняльний аналіз вимог щодо вмісту важких металів в Регламенті Комісії ЄС, Державних стандартах КНР та національних стандартах України. Встановлені відмінності вимог максимально допустимих рівнів основних забруднювачів, а саме ртуті та миш'яку, у рибі та морепродуктах, а також об'єктах, які підлягають обов'язковому контролю на їх вміст у зазначених технічних регламентах. Зроблений висновок щодо необхідності якнайшвидшої імплементації міжнародних вимог з безпеки харчової продукції в державні стандарти України, редагування стандартів, зважаючи на ризики для здоров'я споживачів контамінації сумішами потенційно токсичних елементів; посилення контролю за дотриманням технічних регламентів при використанні риби та морепродуктів, в тому числі, в закладах ресторанного господарства.

**Ключові слова:** менеджмент безпеки харчової продукції, Регламент Комісії ЄС, державні стандарти України, рибна продукція, важкі метали.

The problem of providing the Ukrainian population with quality and safe fishery products is considered. A comparative analysis of the requirements for the content of heavy metals in the EU Commission Regulation and national standards of Ukraine was carried out. Differences in the requirements of the maximum permissible levels of the main pollutants, namely mercury and arsenic, in fish and seafood, as well as objects that are subject to mandatory control for their content in the specified technical regulations, have been established. The results show a comparison of the national standards of Ukraine with the requirements for fish products in the EU and China made it possible to note that the permissible mercury content in fishery products in DSTU does not exceed the regulations in these countries. At the same time, for arsenic, permissible concentrations in DSTU exceed European and Chinese concentrations by 10 times, which is unacceptable. Such a situation is extremely negative, exposing the domestic consumer to the danger of receiving low-quality and dangerous food products from domestic producers, and, the possibility of importing into the country fish products that are considered dangerous according to foreign standards, but which do not violate national standards. The consumption of fish and seafood does not pose a serious health problem in

the case of a normal consumption rate. However, frequent consumption of fish products can have negative health consequences due to the content of potentially toxic elements, in particular, heavy metals. These recommendations are especially important for pregnant women, children and the elderly, usually advised to stick to a diet and eat fish, as salmon, tuna, several times a week. The conclusion is made about the need for speedy implementation of international food safety requirements in Ukraine's national standard; editing the standards, taking into account the risks to consumers' health with potentially toxic elements mixtures contamination; strengthening control over compliance with technical regulations when using fish and seafood, including in restaurants.

**Keywords:** food safety management, EU Commission Regulation, national standards for Ukraine, fishery products, heavy metals.

**Постановка проблеми.** Безпека продуктів харчування – актуальна проблема, бо зачіпає не лише тільки здоров'я людини, а й впливає на всю економіку держави. Якість продуктів харчування впливає на рівень життя, соціальну енергійність людини, впливає і на демографічний сенс його існування. В наслідок цього, щоб гарантувати високу якість життя людини в державі, зростання економіки, потрібно приділяти більше уваги екологічній безпеці продуктів харчування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Морепродукти стали невід'ємною частиною як і повсякденного, так і здорового харчування, бо риба – джерело поживних речовин і вітамінів А, В, Д, Е, які нормалізують обмін речовин і виводять токсини. Крім того, саме риба є джерелом корисних ненасичених жирів і якісних білків, які добре засвоюються. Тому, у наш час стрімкого розвитку промисловості і забруднення середовища як звичного явища, контроль вмісту потенційно токсичних елементів рибі та морепродуктах набув значної важливості.

Одними з найбільш шкідливих для біосфери Землі забруднень, що мають найрізноманітніші шкідливі наслідки, як для здоров'я людей, так і для життєдіяльності живих організмів, є забруднення важкими металами. В наукових дослідженнях проблема забруднення водних джерел важкими металами розглянута у працях багатьох вчених, зокрема, А. Дворецького, О. Лихолат, Y. Fakhri, Q. Petitjean, V. Thai та інших [1–5]. Небезпека зміни фонового вмісту металів пояснюється тим, що індивідуальна потреба в даних елементах дуже мала, а надходження із зовнішнього середовища їх надлишкових кількостей призводить до різних токсичних ефектів і порушення життєдіяльності: надходження важких металів стають згубними для здоров'я популяції. Деякі з токсичних ефектів важких металів включають: порушення функції нирок (Pb, Cd, Hg), печінки (Pb і Cd), легень (Pb і Sr), зниження когнітивної функції (Pb, Hg), порушення репродуктивної здатності (Cd, Pb),

гіпертензію (Cd), неврологічні зміни (Hg, Pb), тератогенні ефекти (Hg) і рак (Cd) [1; 2; 6].

На жаль, антропогенний вплив значно збільшує природну кількість важких металів у навколишньому середовищі, включаючи морську екосистему. Отже, морські організми (риби, молюски, ракоподібні) можуть накопичувати ці метали до потенційно токсичних концентрацій. Часто риба та інші морепродукти є одним із основних джерел впливу металів на загальне населення. Харчові продукти, які містять токсичні метали понад дозволений рівень, вважаються шкідливими для здоров'я людини та заборонені для торгівлі багатьма національними та міжнародними правилами [7–11].

Безпека рибних продуктів харчування стала предметом серйозних обговорень. Стрімке зростання виробництва і розширення асортименту продукції призвели до того, що споживачеві необхідна гарантія безпеки і високої якості на всіх етапах виробництва морепродуктів та їх реалізації. Вирішити цю проблему покликані системи менеджменту харчової безпеки. Їх впровадження допомагає компаніям сконцентруватися на тих ризиках, які впливають на безпеку продуктів харчування та харчову гігієну.

ISO 22000: 2005 – Міжнародний стандарт, розроблений Міжнародною Організацією по стандартизації (ISO), метою якого є визначення вимог до управління безпекою харчових продуктів для всіх учасників харчового ланцюга [12]. ISO 22000 містить у собі принципи аналізу ризиків і критичних контрольних точок (НАССР) і націлений на гармонізацію вимог на основі менеджменту харчової безпеки для будь-якої компанії, що входить в ланцюжок поставок харчових продуктів.

Після входження України у Світову організацію торгівлі (СОТ) та підписання договору щодо Асоціації, а натепер прийняття кандидатом в члени ЄС Україна взяла на себе обов'язки імplementувати Регламенти з безпеки харчових продуктів, зокрема, Регламент Комісії (ЄС) від 19 грудня 2006 року

№ 1881/2006, який визначає Максимально допустимі рівні окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах [7].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Україна імпортує великі об'єми риби та морепродуктів з Європи, Китаю, східноазіатських країн, що може призводити до ввезення в країну рибної продукції, яка за стандартами безпеки не відповідає міжнародним Регламентам з безпеки харчових продуктів, але юридично не порушує вітчизняні стандарти або національні стандарти країн, які є основними торговими агентами України в цьому секторі.

**Постановка завдання.** Тому метою представленої роботи став аналіз Державних стандартів України, Китаю та Регламенту Комісії (ЄС) щодо допустимого вмісту важких металів, а саме ртуті (метил ртуті) та миш'яку в рибній продукції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до Національних стандартів України [13–20] допустимий рівень ртуті у рибній продукції не повинен перевищувати для морської риби 0,4 мг/кг, для прісноводної нехижої риби – 0,5, для прісноводної хижої риби – 0,6 мг/кг, креветок – 0,2 мг/кг.

Для миш'яку максимальні концентрації становлять для морської риби 5,0 мг/кг, для прісноводної риби – 1,0 мг/кг, креветок – 2,0 мг/кг.

Відповідно Державних стандартів КНР [21; 22]: GB 2761-2017, GB 2762-20171 щодо максимального допустимих рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах у КНР допустимий вміст для ртуті не повинен перевищувати для риби та ракоподібних – 0,5 мг/кг сирової маси, свіжих та заморожених тваринних продуктів водного промислу (крім риби, ракоподібних і двостулкових молюсків), випотрошених – 1,0, двостулкових молюсків – 1,5, продукції з продуктів водного промислу (крім продукції з медуз) – 1,0, продукції з медуз – 2,0, водних організмів і продуктів з них (крім м'яса хижих риб і продуктів з них) – 0,5, м'яси хижих риб і продуктів з них – 1,0 мг/кг сирової маси.

Допустимі рівні миш'яку становлять для водних організмів та продуктів з них (крім риби і продуктів з неї) – 0,5 мг/кг сирової маси, риби і продуктів з неї – 0,1 мг/кг сирової маси.

Максимально допустимі рівні окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах, які містяться в Регламенті Комісії (ЄС) від 19 грудня 2006 року № 1881/2006[7], становлять для ртуті у риби продуктах і філе (м'язовому м'яси) риби, ракоподібних –

0,50 мг/кг сирової маси, м'яси хижих риб і продуктів з них – 1,0 мг/кг сирової маси. Якщо риба призначена для споживання цілком, максимально допустимий рівень (МДР) застосовується до цільної риби.

МДР – це єдине число для певного забруднювача, яке можна використовувати лише для того, щоб визначити, чи можна законно продавати продукт. Однак дотримання цих значень не гарантує безпеки харчових продуктів у разі більш частого споживання. Важливо також підкреслити, що дотримання законодавчих обмежень (МДР) і безпечність харчових продуктів, загалом, вважається відповідальністю оператора ринку харчових продуктів (тобто виробника) згідно із законом. Завдяки цій концепції офіційний контроль харчових продуктів значно зменшився, а кількість проб харчових продуктів, які регулярно перевіряються, є досить малою. З іншої сторони, незалежні (академічні) дослідження часто виявляють рівні забруднювачів, що перевищують допустимі ліміти у випадково відібраних зразках з ринку [23].

Ртуть (Hg) у рибі та водних продуктах є потенційною загрозою для здоров'я людини та міжнародної торгівлі, і вказівки міжнародних консультативних органів створено для оцінки Hg у цих харчових продуктах [24; 25]. Рандомізовані дослідження водних об'єктів показали, що рівні Hg у рибі та інших їстівних водних видах здебільшого нижчі за опубліковані межі безпеки, за винятком деяких риб найвищого трофічного рівня (риба-меч, тунець, марлін) [26]. Аналіз видів риб (виловлених в річці Дунай) і рибних продуктів, імпортованих з Європи, Азії та Америки показав, що концентрації Hg були в межах 0,01–1,47 мг/кг<sup>-1</sup>; найбільше значення було зафіксовано у хижої риби – акули [23].

Більшість дієтичних рекомендацій щодо харчових продуктів рекомендують вагітним жінкам споживати більше риби та морепродуктів, щоб забезпечити достатнє споживання омега-жирних кислот та йоду, які відіграють добре встановлену роль у розвитку центральної нервової системи плоду, надаються спеціальні поради про тип риби, який слід обмежити через відносно високий вміст метилртуті та її нейротоксичну дію на плід. Крім того, риба, яку слід обмежити або уникати під час вагітності, зазвичай включає свіжого тунця, тоді як різні національні рекомендації для вагітних жінок вказують скумбрію як безпечну рибу, яку можна їсти вільно (наприклад, у Швеції, Норвегії, Данії), або як рибу, яку слід обмежити (наприклад, США, Великобританія,

Франція, Італія). Тому важливим є систематичний аналітичний контроль контамінантів у продуктах харчування [27; 28].

Загально визнано, що індекс безпеки  $IN > 1,0$  вказує на можливий негативний вплив на здоров'я. Індекс безпеки (ІН), розрахований на основі середньої концентрації металу в різних видах і одній порції риби на тиждень був близький до 1 для стейка з тунця і скумбрії, тому ці два види слід споживати в помірних кількостях. Це особливо слід рекомендувати вагітним жінкам, дітям та людям похилого віку, оскільки основний внесок у загальний ІН був зумовлений вмістом Hg в обох цих видах [6; 29; 30].

Арсенум (миш'як), що міститься в питній воді та харчових продуктах, спричиняє негативну дію при тривалому надходженні до організму, може призводити до розвитку новоутворень і уражень шкірового покриву тіла. Також встановлений його зв'язок із серцево-судинними захворюваннями і діабетом. Вплив миш'яку *in utero* і в ранньому дитинстві негативно позначається на розумовому розвитку дітей.

Аналіз допустимих рівнів вмісту ртуті та миш'яку в рибній продукції за стандартами у ЄС та Китаї показав їх співпадіння щодо рибопродуктів й філе (м'язового м'яса) та ракоподібних, а також м'яса хижих риб і продуктів з них.

В той же час, Стандартами ЄС передбачені максимально допустимі рівні лише для неорганічного миш'яку, а у КНР вимірюється також вміст миш'яку в цілому. До того ж, Державні стандарти КНР окремо зазначають максимально допустимі рівні зазначених важких металів не лише у рибі, рибопродуктах та ракоподібних, а й у молюсках, продукції з продуктів водного промислу та продукції з медуз.

Порівняння національних стандартів України з вимогами до рибної продукції в ЄС та Китаї дозволило зазначити, що допустимий вміст ртуті у продукції рибного промислу в ДСТУ не перевищує регламентів в цих країнах. В той же час для миш'яку допустимі концентрації в ДСТУ перевищують європейські та китайські в 10 разів, що є неприйнятним. Подібна ситуація є вкрай негативною, по-перше, наражаючи вітчизняного споживача на небез-

пеку отримання неякісних та небезпечних харчових продуктів від вітчизняних виробників, по-друге, можливість ввезення в країну рибної продукції, що вважається небезпечною згідно закордонних стандартів, але такої, що не порушує національні стандарти.

Антропогенні скиди стічних вод у навколишнє середовище рідко складаються з окремих забруднюючих речовин; отже, водне середовище багате різноманітними хімічними сумішами. Таким чином, в останні десятиліття виникла необхідність у вдосконаленні оцінки хімічних сумішей та їх ризиків для навколишнього середовища [31]. Zn, Cu, Ni, Cr, Pb і Cd є найпоширенішими металевими забруднювачами, що потрапляють у європейські води, тоді як Pb, Ni і Cd вказані як пріоритетні метали через їхню високу токсичність. Порядок ранжування потенційно токсичних елементів у філе іспанської скумбрії, філе форелі (райдужної та коричневої), філе сріблястого помфрета такий:  $Fe > Zn > Cu >$  загальний  $Cr > Mn > Ni > Pb > As >$  метил  $Hg > Cd$ . Неканцерогенний ризик був прийнятним для дорослих споживачів у всіх країнах ( $HI > 1$  значення) [31; 32]. Тканини всеїдних *R.utilus* під впливом сумішей металів накопичували більшу кількість Cr, Cu, Ni та Zn, тоді як тканини м'ясоїдних *S. salar* і *P. fluviatilis* вищі кількості Cd і Pb [33].

Результати показують, що споживання риби та морепродуктів не становить серйозної проблеми для здоров'я у випадку звичайної норми споживання. Однак часте споживання рибних продуктів може мати негативні наслідки для здоров'я через вміст потенційно токсичних елементів, зокрема, важких металів.

**Висновки з даного дослідження.** Таким чином, зважаючи на актуальність забезпечення споживачів в Україні якісною та безпечною рибною продукцією, вкрай необхідним є:

- приведення національних стандартів до вимог, впроваджених у світову практику;
- редагувати стандарти, зважаючи на ризики для здоров'я споживачів контамінації сумішами потенційно токсичних елементів;
- посилити контроль за дотриманням технічних регламентів при використанні риби та морепродуктів, в тому числі, в закладах ресторанного господарства.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Дворецкий А.И., Ананьева Т.В., Лихолат Е.А. Биологические эффекты комбинированного воздействия низкодозового облучения и ионов тяжелых металлов. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2000. Т. 40. № 4. С. 401–415.

2. Лихолат, О.А. Вільно радикальні процеси за пневмопатії, спричиненої низькими концентраціями солей стронцію. *Довкілля та здоров'я*. 2001. № 4. С. 37–39.
3. Fakhri, Y., Nematollahi, A., Abdi-Moghadam, Z., Daraei, H., Ghasemi, S. M., Thai, V. N. (2021) Concentration of Potentially Harmful Elements (PHEs) in Trout Fillet (Rainbow and Brown) Fish: a Global Systematic Review and Meta-analysis and Health Risk Assessment *Biol Trace Elem Res.*, 199(8), pp. 3089–3101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02419-x>.
4. Petitjean, Q., Jean, S., Gandar, A., Côte, J., Laffaille, P., Jacquin, L. (2019) *Stress responses in fish: From molecular to evolutionary processes*. *Sci Total Environ.*, 20;684, pp. 371–380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.357>.
5. Thai, V.N., Dehbandi, R., Fakhri, Y., Sarafraz, M., Nematollahi, A., Dehghani, S. S., et al. (2021) Potentially Toxic Elements (PTEs) in the Fillet of Narrow-Barred Spanish Mackerel (*Scomberomorus commerson*): a Global Systematic Review, Meta-analysis and Risk Assessment *Biol Trace Elem Res.*, 199(9), pp. 3497–3509. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02476-2>.
6. Djedjibegovic, J., Marjanovic, A., Tahirovic, D., Caklovica, K., Turalic, A., Lugusic, A., ... Caklovica, F. (2020) Heavy metals in commercial fish and seafood products and risk assessment in adult population in Bosnia and Herzegovina. *Sci Rep.*, 6;10(1):13238. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70205-9>.
7. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 establishing maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 364/5* (2006).
8. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 629/2008 of July 2, 2008 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 establishing maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 173/6* (2008).
9. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 420/2011 of April 29, 2011 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 establishing maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 111/3* (2011).
10. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 488/2014 of May 12, 2014 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 regarding maximum levels of cadmium in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 138/75* (2014).
11. Commission Regulation (EC) 2015/1005 of June 25, 2015 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 regarding maximum levels of lead content in certain foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 161/9* (2015).
12. ISO 22000:2005(E), first edition, 2005-09-01. Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain.
13. ДСТУ 2284:2010 Риба жива. Загальні технічні вимоги.
14. ДСТУ 4378:2005 Риба океанічного промислу заморожена. Технічні умови.
15. ДСТУ 4379:2005 Філе рибне заморожене. Технічні умови.
16. ДСТУ 4381:2005 Кальмар заморожений. Технічні умови.
17. ДСТУ 4440:2005 Креветки морожені. Технічні умови.
18. ДСТУ 4868:2007 Риба заморожена. Технічні умови.
19. ДСТУ 6093:2009 Риба хрящова заморожена. Технічні умови.
20. ДСТУ ГОСТ 30314:2009 Філе морського гребінця заморожене. Технічні умови.
21. Державний стандарт КНР GB 2761-2017.
22. Державний стандарт КНР GB 2762-2017.
23. Milenkovic, B., Stajic, J., Stojic, N., Pucarevic, M., Strbac, S. (2019) Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood products. *Chemosphere*, 229, pp. 324–331.
24. EFSA (European Food Safety Authority). Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food (2012), *EFSA Journal*, 10(12), pp. 1–141.
25. EFSA (European Food Safety Authority). Mercury in food – EFSA updates advice on risks for public health. *News Story 20*, 2012. URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/121220>.
26. Jinadasa, B K, Fowler, S.W. (2019) Critical review of mercury contamination in Sri Lankan fish and aquatic products. *Mar Pollut Bull.*, 149:110526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110526>.
27. Kimáková, T., Kuzmová, L., Nevolná, Z., Bencko, V. (2018) Fish and fish products as risk factors of mercury exposure. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. Vol. 25, № 3, pp. 488–493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110526>.
28. Andráš, P., Dadová, J., Romančík, R., Borošová, D., Midula, P., Dirner, V. (2021). Mercury in fish tissues in the area of Malachov Hg-ore deposit (Slovakia). *Environ Geochem Health.*, 43(9), pp. 3675–3681. DOI: <https://doi.org/10.26444/aaem/84934>.

29. Sauliūtė, G., Markuckas, A., Stankevičiūtė, M. (2020) Response patterns of biomarkers in omnivorous and carnivorous fish species exposed to multicomponent metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) mixture. Part III. *Ecotoxicology*, 29(3), pp. 258–274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02170-y>.
30. Utomo, S.W., Rahmadina, F., Wispriyono, B., Kusnoputranto, H., Asyary, A. (2021) Metal Contents of Lake Fish in Area Close to Disposal of Industrial Waste.. *J Environ Public Health.*, 21;2021,6675374. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6675374>.
31. Bopp, S., Barouki, R., Brack, W., Costa, D. S., Dorne, J.-L. C M., Drakvik, P. E, ... Bergman, A. (2018) Current EU research activities on combined exposure to multiple chemicals. *Environ Int.*, 120, pp. 544–562. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.037>.
32. Alipour, M., Sarafraz, M., Chavoshi, H., Bay, A., Nematollahi, A., Sadani, M., ... Khaneghah, A. M. (2021) The concentration and probabilistic risk assessment of potentially toxic elements in fillets of silver pomfret (*Pampus argenteus*): A global systematic review and meta-analysis. *J Environ Sci (China)*, 100, pp. 167–180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.014>.
33. Sauliūtė G., Markuckas A., Stankevičiūtė M. (2020) Response patterns of biomarkers in omnivorous and carnivorous fish species exposed to multicomponent metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) mixture. *Part III Ecotoxicology*, 29(3), pp. 258–274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02170-y>.

## REFERENCES:

1. Dvoretzkiy A.I., Ananyeva T.V., Lykholat O.A. (2000) Biologicheskiye efekty kombinirovannogo vozdeystviya nizkodozovogo oblucheniya i ionov tyazhelykh metallov. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. T. 40. № 4. P. 401–415. (in Russian)
2. Lykholat O.A. (2001) Vilno radykalni protsesy za pnevmopatiyi, sprychynenoyi nyzkymy kontsentratsiyamy soley strontsiyu. *Dovkillya ta zdorovya*. № 4. P. 37–39. (in Ukrainian)
3. Fakhri, Y., Nematollahi, A., Abdi-Moghadam, Z., Daraei, H., Ghasemi, S. M., Thai, V. N. (2021) Concentration of Potentially Harmful Elements (PHEs) in Trout Fillet (Rainbow and Brown) Fish: a Global Systematic Review and Meta-analysis and Health Risk Assessment *Biol Trace Elem Res.*, 199(8), pp. 3089–3101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02419-x>.
4. Petitjean, Q., Jean, S., Gandar, A., Côte, J., Laffaille, P., Jacquin, L. (2019) *Stress responses in fish: From molecular to evolutionary processes*. *Sci Total Environ.*, 20;684, pp. 371–380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.357>.
5. Thai, V.N., Dehbandi, R., Fakhri, Y., Sarafraz, M., Nematollahi, A., Dehghani, S. S., et al. (2021) Potentially Toxic Elements (PTEs) in the Fillet of Narrow-Barred Spanish Mackerel (*Scomberomorus commerson*): a Global Systematic Review, Meta-analysis and Risk Assessment *Biol Trace Elem Res.*, 199(9), pp. 3497–3509. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02476-2>.
6. Djedjibegovic, J., Marjanovic, A., Tahirovic, D., Caklovica, K., Turalic, A., Lugusic, A., ... Caklovica, F. (2020). Heavy metals in commercial fish and seafood products and risk assessment in adult population in Bosnia and Herzegovina. *Sci Rep.*, 6;10(1):13238. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70205-9>.
7. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 establishing maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 364/5* (2006).
8. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 629/2008 of July 2, 2008 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 establishing maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 173/6* (2008).
9. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 420/2011 of April 29, 2011 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 establishing maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 111/3* (2011).
10. European Commission. Commission Regulation (EC) No. 488/2014 of May 12, 2014 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 regarding maximum levels of cadmium in foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 138/75* (2014).
11. Commission Regulation (EC) 2015/1005 of June 25, 2015 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 regarding maximum levels of lead content in certain foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 161/9* (2015).
12. ISO 22000:2005(E), first edition, 2005-09-01. Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain.
13. DSTU 2284:2010 Ryba zhyva. Zahal'ni tekhnichni vymohy. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=89335](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89335).

14. DSTU 4378:2005 Ryba okeanichnoho promyslu zamorozhena. Tekhnichni umovy. Available at: [https://dnaop.com/html/33957/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_4378\\_2005](https://dnaop.com/html/33957/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_4378_2005).
15. DSTU 4379:2005 File rybne zamorozhene. Tekhnichni umovy. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=72081](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72081).
16. DSTU 4381:2005 Kal'mar zamorozhenyy. Tekhnichni umovy. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=77054](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77054).
17. DSTU 4440:2005 Krevetky morozheni. Tekhnichni umovy. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=84323](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=84323).
18. DSTU 4868:2007 Ryba zamorozhena. Tekhnichni umovy. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=73484](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=73484).
19. DSTU 6093:2009 Ryba khryashchova zamorozhena. Tekhnichni umovy. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=72091](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72091).
20. DSTU HOST 30314:2009 File mors'koho hrebintsya zamorozhene. Tekhnichni umovy. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=89393](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89393).
21. Derzhavnyy standart KNR GB 2761–2017. Available at: [https://svsps.gov.ru/svsps-docs/ru/importExport/china/files/china\\_std\\_GB2761-2017\\_mikotoxin\\_ru.pdf](https://svsps.gov.ru/svsps-docs/ru/importExport/china/files/china_std_GB2761-2017_mikotoxin_ru.pdf)
22. Derzhavnyy standart KNR GB 2762–2017. Available at: [https://svsps.gov.ru/svsps-docs/ru/importExport/china/files/china\\_std\\_GB2762-2017\\_mikotoxin\\_ru.pdf](https://svsps.gov.ru/svsps-docs/ru/importExport/china/files/china_std_GB2762-2017_mikotoxin_ru.pdf).
23. Milenkovic, B., Stajic, J., Stojic, N., Pucarevic, M., Strbac, S. (2019) Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood products. *Chemosphere*, 229, pp. 324–331.
24. EFSA (European Food Safety Authority). Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food (2012), *EFSA Journal*, 10(12), pp. 1–141.
25. EFSA (European Food Safety Authority). Mercury in food – EFSA updates advice on risks for public health. News Story 20, 2012. <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/121220>.
26. Jinadasa, B K, Fowler, S.W. (2019) Critical review of mercury contamination in Sri Lankan fish and aquatic products *Mar Pollut Bull.*, 149:110526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110526>.
27. Kimáková, T., Kuzmová, L., Nevolná, Z., Bencko, V. (2018) Fish and fish products as risk factors of mercury exposure. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. Vol. 25. № 3, pp. 488–493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110526>
28. Andráš, P., Dadová, J., Romančík, R., Borošová, D., Midula, P., Dirner, V. (2021). Mercury in fish tissues in the area of Malachov Hg-ore deposit (Slovakia). *Environ Geochem Health.*, 43(9), pp. 3675–3681. DOI: <https://doi.org/10.26444/aaem/84934>.
29. Sauliutė, G., Markuckas, A., Stankevičiūtė, M. (2020) Response patterns of biomarkers in omnivorous and carnivorous fish species exposed to multicomponent metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) mixture. *Part III. Ecotoxicology*, 29(3), pp. 258–274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02170-y>.
30. Utomo, S.W., Rahmadina, F., Wispriyono, B., Kusnoputranto, H., Asyary, A. (2021) Metal Contents of Lake Fish in Area Close to Disposal of Industrial Waste. *J Environ Public Health.*, 21;2021,6675374. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6675374>.
31. Bopp, S., Barouki, R., Brack, W., Costa, D. S., Dorne, J.-L. C M., Drakvik, P. E, ... Bergman, A. (2018) Current EU research activities on combined exposure to multiple chemicals. *Environ Int.*, 120, pp. 544–562. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.037>.
32. Alipour, M., Sarafraz, M., Chavoshi, H., Bay, A., Nematollahi, A., Sadani, M., ... Khaneghah, A. M. (2021) The concentration and probabilistic risk assessment of potentially toxic elements in fillets of silver pomfret (*Pampus argenteus*): A global systematic review and meta-analysis. *J Environ Sci (China)*, 100, pp. 167–180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.014>.
33. Sauliutė G., Markuckas A., Stankevičiūtė M. (2020) Response patterns of biomarkers in omnivorous and carnivorous fish species exposed to multicomponent metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) mixture. *Part III Ecotoxicology*, 29(3), pp. 258–274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02170-y>.