DOI: 10.26693/jmbs08.01.273
УДК 574.5+631.42
*Нечитайло Л. Я., Данилів С. І.,*
*Шкурашківська С. В., Курас Л. Д.*

# ДИНАМІКА ЗМІН ВМІСТУ СПОЛУК КАДМІЮ ТА НІТРАТ-ІОНІВ В ЕКОСИСТЕМІ ПРИКАРПАТТЯ

**Івано-Франківський національний медичний університет,**
**Івано-Франківськ, Україна**

*Мета роботи* − формування алгоритму постійного контролю вмісту кадмію та нітрат-іонів як важливої складової екологічного моніторингу в екосистемі Прикарпаття.

*Матеріали та методи.* Об'єктом досліджень слугували ґрунти та питна вода рівнинної, передгірської та гірської зон регіону. Вміст кадмію визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі С-115 ПК. Концентрацію нітрат-іонів у питній воді визначали потенціометрично з використанням іонселективного електроду.

*Результати.* Прикарпаття − це унікальний регіон України з багатими природними ресурсами, різноманітним рослинним і тваринним світом. Одночасно на території області розміщено понад 500 промислових підприємств (більше 4 % від загальної площі) хімічної, енергетичної, нафтогазовидобувної, деревообробної та інших галузей. Ці об'єкти справляють значне техногенне навантаження на усі компоненти природного середовища. Екологічна ситуація Прикарпатського регіону також тісно пов'язана із станом ґрунтів та водних ресурсів. У зв'язку із цим доцільними є дослідження й контроль рівня сполуки кадмію та нітратів у об'єктах довкілля регіону. Дослідження ґрунтів Прикарпатського регіону засвідчило зростання токсичного елементу кадмію, вміст якого в 1,3–1,5 рази перевищував фонові показники. Визначено, що у питній воді рівнинної зони рівень нітрат-іонів перевищує граничнодопустиму концентрацію (ГДК) в 1,5–2 рази, показник фізіологічної повноцінності води (ФПВ) в 160–606 разів; в передгірській та гірській зонах вміст нітратів не перевищує ГДК, однак в 35–253 рази вище, ніж показник фізіологічної повноцінності води. Проаналізовано основні етапи надходження та накопичення кадмію у організм рослин.

*Висновки.* Результати проведених нами досліджень дозволили встановити суттєві відмінності вмісту кадмію та нітрат-іонів у ґрунтах та питній воді різних географічних зон Прикарпаття. Зокрема, значна кількість населення, яка проживає в рівнинній та передгірській зоні споживає воду з підвищеним вмістом нітрат-іонів і кадмію, що зумовлює зростання спільної дії даних токсикантів на живі організми. Запропоновано проведення постійного контролю рівня токсикантів в екосистемі, як важливої складової екологічного моніторингу. Для очищення ґрунту від забруднення кадмієм рекомендовано використання культивованих рослин.

**Ключові слова**: вода, ґрунт, рослини, нітрати, кадмій, мікроелементи, фітотоксичність.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Стаття є частиною НДР і фрагментом міжкафедральних науково-дослідних робіт «Вивчення стану стоматологічного здоров'я населення західного регіону України та розробка пропозицій щодо його збереження і покращення», № державної реєстрації 0107U004631 (2301050 – прикладні дослідження та розробки); і «Розробка методів діагностики, лікування та профілактики стоматологічних захворювань у населення, що проживає в екологічно несприятливих умовах», № державної реєстрації 0111U003681 (КПКВК 2301020).

**Вступ.** Захист навколишнього середовища від техногенного забруднення є одним із найважливіших завдань сучасності. Розвиток промисловості і транспорту, будівельної індустрії, сільськогосподарського виробництва супроводжується забрудненням навколишнього середовища різноманітними хімічними речовинами. Особливо небезпечним є забруднення довкілля важкими металами та нітратами [1]. Проникаючи в поверхневі і ґрунтові води, накопичуючись у рослинах, вони мігрують у ланцюгах живлення і впливають на організм людини і тварин.

Забруднення біосфери сполуками важких металів, у тому числі кадмієм, обумовлена перш за все їх стійкістю в навколишньому середовищі, розчинністю в атмосферних опадах, здатністю до сорбції ґрунтами, акумуляції рослинами, донними

відкладеннями, що сприяє їх поступовому накопиченню в довкіллі [2]. Ґрунти являються головним депонуючим середовищем, куди кадмій може надходити з атмосферними опадами та водою. Стан ґрунтів слід розглядати як інтегральний показник процесу забруднення навколишнього середовища [3]. Крім того, забруднення ґрунтів є джерелом забруднення поверхневих і ґрунтових вод та рослин. Важкі метали з ґрунту більшою мірою потрапляють у рослину через кореневу систему та листя, і, як наслідок, можуть затримувати ріст і розвиток рослин, пригнічувати важливі процеси метаболізму, що в подальшому знижує продуктивність і якість сільськогосподарської продукції [4, 5]. Наявність у питній воді кадмію, навіть у незначній кількості, вимагає особливої уваги, оскільки для цього мінералу властива висока токсичність і кумулятивність, канцерогенні і мутагенні якості [6 − 8]. Тому для біоценозів небезпека важких металів полягає не тільки в їх високій токсичності, а й у здатності акумулюватися у живих організмах і мігрувати харчовими шляхами [9, 10].

Не менш актуальною залишається проблема нітратного забруднення водних ресурсів. Забруднення сільськогосподарських угідь нітратами та важкими металами, відбувається через неправильне поводження з відходами тваринницьких ферм та неконтрольоване застосування мінеральних та органічних добрив [11]. Наростання рівня забруднення джерел водопостачання призводить до того, що значна кількість населення споживає воду з підвищеним рівнем нітратів. Надходження до організму людини нітратів пов'язано з водно-нітратною метгемоглобінемією, а також впливом на роботу нервової та серцево-судинної систем, розвиток ембріонів і спричинення розвитку злоякісних пухлин [12, 13]. Відповідно до вимог глобальної системи моніторингу стану довкілля (ГСМОС/GEMS) нітрит- і нітрат-йони, важкі метали, зокрема сполуки кадмію, входять до програм обов'язкових спостережень за складом питної води. Екологічна ситуація Прикарпатського регіону тісно пов'язана із станом ґрунтів та водних ресурсів. У зв'язку із цим доцільними є дослідження й контроль рівня сполук кадмію та нітратів у об'єктах довкілля регіону. Ця проблема є актуальною внаслідок того, що дані сполуки характеризуються вираженою токсичністю і біохімічною активністю, що дозволяє відносити їх до еко- та біоцидних токсикантів.

**Мета роботи** − формування алгоритму постійного контролю вмісту кадмію та нітрат-іонів як важливої складової екологічного моніторингу в екосистемі Прикарпаття.

**Матеріали та методи дослідження.** При виборі територій для дослідження, керувалися зональними відмінностями районів, оскільки Прикарпаття знаходиться в межах трьох основних природно-кліматичних зонах: гірській, передгірській та рівнинній, які відрізняються за геологічними, геоморфологічними, геохімічними, кліматичними умовами. Вибір ділянок дослідження ґрунтів і водних об'єктів здійснювали з урахуванням висот місцевості, сезонних змін, особливостей джерел водопостачання та відносним віддаленням від об'єктів джерел забруднення територій. Об'єктом досліджень слугували ґрунти та питна вода рівнинної, передгірської та гірської зон регіону. Відбір проб ґрунтів та взірців води здійснювали одноразово у весняно-осінній період. Методологія відбору проб ґрунту та води, підготовка їх до аналізу, транспортування і зберігання здійснювали у відповідності з ДСТУ [14, 15]. Дослідження проб на вміст кадмію проводилося за ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрометрії [16]. Концентрацію нітрат-іонів у питній воді визначали потенціометрично з використанням іонселективного електроду, згідно до стандартизованих вимог [17].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Дослідження вмісту кадмію в ґрунтах Прикарпатського регіону дозволило встановити, що його рівень в ґрунтах рівнинної зони та гірської суттєво зростає восени та навесні і становить відповідно: 0,18-0,16 мг/кг та 0,15 мг/кг. У ґрунтах передгірської зони вміст кадмію був на рівні 0,03–0,07 мг/кг, тенденція до зростання рівня цього токсиканта спостерігалась навесні та влітку (**табл. 1**). Для оцінки ступеня забруднення ґрунтів кадмієм порівнювали фактичні концентрації елементу в досліджуваних зразках із гранично допустимою концентрацією (ГДК) [18 − 20] та фоновим показником [21, 22].

Аналіз отриманих даних вказує на те, що в ґрунтах Прикарпатського регіону рівень кадмію не перевищував ГДК. Однак, слід звернути увагу на зростання кадмію вище рівня фонового показника в 1,1–1,4 рази восени та навесні в рівнинній та гірській зонах.

Визначення рівня кадмію в питній воді Прикарпаття дозволило встановити, що його вміст перевищує ГДК у районах рівнинної зони в 1,6–2,6 рази протягом всіх періодів спостереження (**рис. 1**). Аналіз вмісту кадмію у питній воді джерел передгірської зони показав суттєве зростання цього мікроелементу в 1,3–1,9 разів вище ГДК, у воді джерел гірської зони даний показник не перевищував гранично допустимих значень [15, 23].

Таким чином, у питній воді рівнинної та передгірської зони відбувається Прикарпаття інтенсивне підвищення вмісту кадмію у кількостях, які значно перевищують гранично допустимий показник, що створює реальну загрозу існуванню живих організмів.

**Таблиця 1** − Динаміка змін кадмію та нітрат-іонів у ґрунті та питній воді джерел Прикарпаття

| Район / пора року | Грунт | Вода | |
|---|---|---|---|
| | $Cd^{+2}$ (мг/кг) | $Cd^{+2}$ ( мкг/л ) | $NO_3^-$ (мг/л) |
| *Рівнинна зона* | | | |
| Літо | 0,048±0,010 * | 2,625±0,091 * | 71,700 ±6,731* # |
| Осінь | 0186±0,046 * | 1,603±0,392 * | 91,542±7,079 |
| Весна | 0,042±0,006 * | 2,337±0,608 * | 24,414±3,746* # |
| *Передгірська зона* | | | |
| Літо | 0,071±0,019 * | 1,499±0,224 * | 35,700±3.386* # |
| Осінь | 0,037±0,006 * | 1,340±0,376 | 38,600±7,365 * |
| Весна | 0,051±0,019 * | 1,916±0,596 * | 33,800±3,100* # |
| *Гірська зона* | | | |
| Літо | 0,062±0,012 * | 0,958±0,432 | 19,082±0,717* # |
| Осінь | 0,167±0,025 * | 0,730±0,097 * | 12,082±1,818 * |
| Весна | 0,157±0,005 * | 1,004±0,018 | 5,214±0,157* # |
| ГДК | 0,7 | 1 | 45 |
| Фоновий вміст | 0,136 | − | − |
| ПФПВ | − | − | 0,15 |

***Примітки:*** * – p<0,001 – відносно граничнодопустимої концентрації; # – p<0,001 – відносно показника фізіологічної повноцінності води

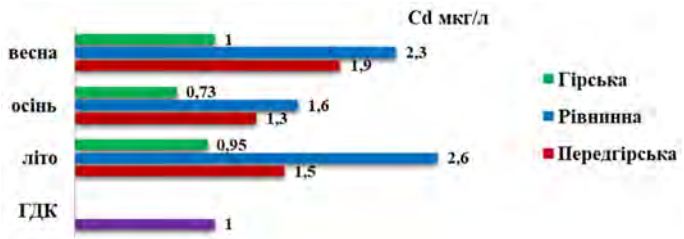


**Рис. 1.** Динаміка сезонних змін вмісту кадмію у питній воді Прикарпатського регіону

Паралельно з визначенням рівня кадмію в досліджуваних об'єктах, у питній воді проводились дослідження концентрації нітрат-іонів. Проведені нами дослідження концентрації нітрат-іонів вказують на його істотне зростання з перевищенням ГДК в 1,5–2 рази в рівнинній зоні регіону. Поряд з цим, слід акцентувати увагу на зростанні рівня нітратів вище показника фізіологічної повноцінності води (ПФПВ) у рівнинній зоні в 160–606 разів, передгірській в 220–253 рази та гірській – 34–127 разів, оскільки саме підвищення відносно показника ФПВ має істотний вплив на живі організми [24].

Результати проведених досліджень дозволили встановити суттєві відмінності щодо вмісту кадмію та нітрат-іонів у ґрунтах та питній воді різних географічних зон Прикарпаття. Зокрема, значна кількість населення, яка проживає в рівнинній та передгірській зоні споживає воду з підвищеним вмістом нітрат-іонів і кадмію, що зумовлює зростання спільної дії даних токсикантів на живі організми.

З літератури відомо, що навіть незначне забруднення ґрунту кадмієм може становити серйозний ризик для здоров'я людини через шлях впливу «ґрунт–вода–рослина–тварина–людина» [25]. Кадмій не є необхідним для рослин, однак, високий рівень його може завдати великої шкоди зростанню та розвитку рослин. Пригнічення росту та проростання насіння, хлороз, скручування листків, карликовість, затримка змін фенологічних фаз та зниження біологічної продукції, що врешті-решт навіть призводить до загибелі рослин [26]. На молекулярному рівні фітотоксичність кадмію проявляється у гальмуванні фотосинтезу, порушенні транспірації та фіксації вуглекислого газу, а також у зміні проникності клітинних мембран [27].

Важкі метали надходять в рослину переважно через кореневу систему з ґрунту, в меншій мірі − через листя [28]. Вміст важких металів у різних частинах рослин зменшується в такому порядку: корені→листки→стебла →суцвіття→насіння. В цілому, більшість рослин накопичують важкі метали в основному у кореневій системі [29]. Переважне накопичення металів у коренях пояснюється тим, що при проникненні в цитоплазму клітини відбувається інактивація і депонування значних кількостей важких металів завдяки утворенню малорухомих сполук з органічними речовинами (**рис. 2**).

Певною мірою рослини за допомогою фізіологічних бар'єрів можуть обмежувати пересування токсичних елементів з кореневої системи у надземну. Оскільки, рослини здатні

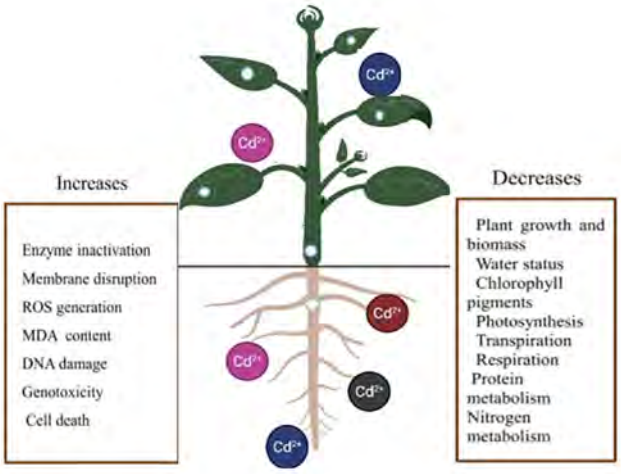


**Рис. 2.** Шляхи надходження та дія іонів кадмію в організмі рослин

у великих кількостях накопичувати важкі метали, тому можуть бути використані для біологічного очищення грунту та води [30]. Показник ефективності переходу окремих важких металів у тканини рослин значно коливається залежно від їх виду [31].

**Висновки.** На основі наведених результатів можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано літературні дані, щодо основних шляхів надходження та накопичення іонів важких металів, зокрема кадмію. З'ясовано, що кадмій накопичується в основному у кореневій системі рослин та частково у надземній частині. Описано їх негативний вплив на рослинний організм.
2. Досліджено, що в ґрунтах рівнинної, передгірської та гірської зон Прикарпаття рівень кадмію не перевищував граничнодопустиму концентрацію. Водночас, виявлено істотне підвищення кадмію вище рівня фонового показника в 1,1−1,4 рази в рівнинній та гірській зонах.
3. Встановлено, що у питній воді рівнинної та передгірської зон рівень токсичного елементу кадмію в 1,3–2,6 разів перевищує граничнодопустиму концентрацію. У воді джерел гірської зони концентрація цього елемента не перевищує граничнодопустимого показника.
4. Визначено, що у питній воді рівнинної зони рівень нітрат-іонів перевищує граничнодопустиму концентрацію (ГДК) в 1,5–2 рази, показник фізіологічної повноцінності води (ФПВ) в 160–606 разів; в передгірській та гірській зонах вміст нітратів не перевищує ГДК, однак в 35–253 рази вище, ніж показник фізіологічної повноцінності води.
5. Рекомендовано проведення постійного контролю вмісту токсикантів в екосистемі, як важливої складової екологічного моніторингу; та як альтернативу хімічним методам очистки ґрунту від важких металів використання культивованих рослин.

**Перспективи подальших досліджень.** Дана проблема потребує подальших досліджень пов'язаних із визначення рівня даних токсикантів в об'єктах довкілля.

## References


1. Shevchuk VD, Mudrak GV, Franchuk MO. Ekologichna otsinka intensyvnosti zabrudnennya gruntiv vazhkymy metalamy [Ecological assessment of the intensity of soil pollution by heavy metals]. *Agricultural sciences. Colloquium-Journal*. 2021;10(97):40-46. [Ukrainian]. doi: 10.24412/2520-6990-2021-1097-40-46
2. Gutsol GV. Otsinka intensivnosti zabrudnennya gruntiv vazhkimi metalami ta zakhodi shchodo pidvishchennya yikh yakosti [Assessment of the intensity of soil contamination by heavy metals and measures to improve their quality]. *Sci Heritage*. 2020;48:3-8. [Ukrainian]
3. Makarenko N, Plyatsuk L. Ekologichni naslidki zabrudnennya gruntiv kadmiyem [Environmental consequences of soil contamination with cadmium]. *Sustainable development - state and prospect. 3nd International scientific symposium; Ukraine, Lviv-Slavske; 2022 Jan 26-29*. 2022. p. 30-31. [Ukrainian]. doi: 10.51500/7826-15-5
4. Naumenko AS, Kostenko OV, Lisenko DV. Suchasniy stan zabrudnennya spolukami kadmiyu ta svintsyu na zemlyakh silskogospodarskogo priznachennya [The current state of contamination with cadmium and lead compounds on agricultural lands]. *Okhorona gruntiv.* 2020;10:164-168. [Ukrainian]. doi: 10.15421/2020_276
5. Slobodyan SO, Gutiy BV. Stan antioksidantnoyi sistemi organizmu shchuriv za umovi trivalogo kadmiyevogo i svintsevogo navantazhennya [The state of the antioxidant system of the rat body under conditions of long-term cadmium and lead exposure]. *Visnik Poltavskoyi derzhavnoyi agrarnoyi akademiyi*. 2020;1:196-201. [Ukrainian]. doi: 10.31210/visnyk2020.01.24
6. Khomenchuk VO, Senik YuI, Kurant VZ. Osoblivosti transportu tsinku i kadmiyu cherez membrani eritrotsitiv za diyi pidvishchenikh kontsentratsiy yikh ioniv u vodi [Peculiarities of zinc and cadmium transport through erythrocyte membranes under the influence of increased concentrations of their ions in water]. *Nauk Zap Ternop Nats Ped Un-Tu. Seriya Biol*. 2021;81(1-2):31-38. [Ukrainian]. doi: 10.25128/2078-2357.21.1-2.4
7. Chorna VI, Voroshylova NV, Syrovatko VA. Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production [Distribution of cadmium in soils of the Dnipropetrovsk region and its accumulation in crop production]. *Ukr J Ecolog*. 2018;8(1):910-917. [Ukrainian]. doi: 10.15421/2018_293
8. Zemlyaniy OA, Gerasimchuk PG, Zaytsev LO, Mionchinskiy DO, Kharchenko OI, Samoylenko II, Aleksyeyenko VV, Shemet SA. Mnozhinni efekti khronichnogo nizkodozovogo vplivu kadmiyu na pechinku, osteogenez ta gemopoez tvarin i lyudini [Multiple Effects of Chronic Low-Dose Cadmium Exposure on the Liver, Osteogenesis, and Hematopoiesis in Animals and Humans]. *Ukr Zh Med Biol Sportu.* 2021;6(5/33):364-400. [Ukrainian]. doi: 10.26693/jmbs06.05.394
9. Hill A, Gailer J. Linking molecular targets of Cd in the bloodstream to organ-based adverse health effects. *J Inorg Biochem*. 2020;216:111279. PMID: 33413916. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2020.111279
10. Đukić-Ćosić D, Baralić K, Javorac D, Djordjevic AB, Bulat Z. An overview of molecular mechanisms in cadmium toxicity. *Curr Opin Toxicol*. 2020;19:56-62. doi: 10.1016/j.cotox.2019.12.002
11. Valerko RA, Gerasymchuk LO, Zozulya VM. Otsinka ryzyku spozhyvannya pytnoyi vody z pidvyshchenym vmistom nitrativ na zdorov'ya naselennya Zhytomyrskoyi ob'yednanoyi terytorialnoyi gromady [Assessment

of the risk of consumption of drinking water with an increased content of nitrates on the health of the population of the Zhytomyr United Territorial Community]. *Ekologichni Nauky*. 2021;3(36):137-141. [Ukrainian]. doi: 10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22

12. Vergolyas MR. Otsinka toksychnosti nitrativ u vodi z vykorystannyam tsytomorfologichnykh pokaznykiv test-organizmiv [Assessment of nitrate toxicity in water using cytomorphological indicators of test organisms]. *Ekologichni Nauky*. 2020;3(30):129-132. [Ukrainian]. doi: 10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.22
13. Lototska OV, Danchyshyn MV. Zminy pokaznykiv bilkovogo obminu v organizmi shchuriv za umov spozhyvannya pytnoyi vody z vmistom nitrativ ta soley zhorstkosti [Changes in indicators of protein metabolism in the body of rats under conditions of consumption of drinking water containing nitrates and hardness salts]. *Medychna ta Klinichna Khimiya*. 2021;23(4):64-68. [Ukrainian]. doi 10.11603/mcch.2410-681X.2021.i4.12739
14. Solovey V, Polupan M. *DSTU 4287:2004 Yakist gruntu. Vidbyrannya prob* [Soil quality. Sampling of samples]. K: Derstandart Ukrayiny; 2005. 13 s. [Ukrainian]
15. DSanPiN 2.2.4-171-10 «Gigiyenichni vymogy do vody pytnoyi, pryznachenoyi dlya spozhyvannya lyudynoyu» [Hygienic rinses for drinking water intended for human consumption]. [Ukrainian]. Available from: http: //zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10
16. Lipka A, Lisenko M, Miroshnichenko M. *DSTU 4770.6:2007. Yakist gruntu. Viznachennya vmistu rukhomikh spoluk midi v buferniy amoniyno-atsetatniy vityazhtsi z rN 4,8 metodom atomno–absorbtsiynoyi* [Soil quality. Determination of the content of mobile copper compounds in the buffered ammonium acetate extract with pH 4.8 by the atomic absorption method]. K: Derzhstandart Ukrayiny; 2009. 18 s. [Ukrainian]
17. Roman Llu. Assessment of water quality of natural mineral springs of the Svalyava district of the Transcarpathian region. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriia Khimiia*. 2016;1(35):78−83. [Ukrainian]
18. Snitinskiy VV, Smal OV. Vmist vazhkikh metaliv u gruntakh nasadzhen riznogo funktsionalnogo znachennya zelenoyi zoni m. Lvova [The content of heavy metals in the soils of plantations of different functional importance in the green zone of the Lviv]. *Peredgirne ta Girske Zemlerobstvo i Tvarinnitstvo*. 2016;60:131-138. [Ukrainian]
19. Shevchuk VD., Mudrak GV., Franchuk MO. Ekologichna otsinka intensivnosti zabrudnennya gruntiv vazhkimi metalami [Ecological assessment of the intensity of soil pollution by heavy metals]. *Colloquium-Journal*. 2021;10(97):40-46. [Ukrainian]. doi: 10.24412/2520-6990-2021-1097-40-46
20. Kovalova SP, Mozharivska IA. Kontsentratsiya vazhkikh metaliv u grunti pri viroshchuvanni energetichnikh kultur na teritoriyi radioaktivnogo zabrudnennya [The concentration of heavy metals in the soil during the cultivation of energy crops in the territory of radioactive contamination]. *Naukovi Horizonty*. 2020;3(88):121-126. [Ukrainian]. doi: 10.33249/2663-2144-2020-88-3-121-126
21. Adamenko OM, Prykhodko MM. *Regionalna ekologiya i pryrodni resursy* [Regional ecology and natural resources]. Ivano-Frankivsk: Vydavnytstvo «Talya»; 2000. 278 s. [Ukrainian]
22. Penderetskyy OV. *Ekologiya Galytskogo rayonu* [Ecology of Halytsky district]. Monografiya. Za red OM Adamenka. Ivano-Frankivsk; 2004. 198 s. [Ukrainian]
23. Goncharuk V, Kushchevska N, Terletska G. Kontrol yakosti vody. Novi derzhavni standarty vyznachennya toksykologichnykh pokaznykiv [Water quality control. Novi derzhavni standarty vyznachennya toksykologichnykh pokaznykiv]. *Standartyzatsiya. Setryfikatsiya. Yakist*. 2012;5:63-70. [Ukrainian]
24. Nikitina SV, Vukolova SI, Sholoyko SM, Goliyad RO. Ponyattya pro fiziologichnu povnotsinnu vodu yak skladovu ekologichnoyi osvity vchyteliv khimiyi [The concept of physiological adequacy of water as a component of environmental education of a chemistry teacher]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny.* 2009;19(6):65-70. [Ukrainian]
25. Haider FU, Liqun C, Coulter JA, Cheema SA, Wu J, Zhang R, et al. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021;211:1118-1140. PMID: 33450535. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111887
26. Zhao H, Guan J, Liang Q, Zhang X, Hu H, Zhang J. Effects of cadmium stress on growth and physiological characteristics of sassafras seedlings. Nature portfolio. *Sci Rep*. 2021;11:9913-9924. doi: 1010.1038/s41598-021-89322-0
27. Nedjimi B. Phytoremediation: a sustainable environmental technology for heavy metals decontamination. *SN Appl Sci.* 2021;3:286-306. doi: 10.1007/s42452-021-04301-4
28. Anas M, Liao F, Verma KK, Sarwar MA, Mahmood A, Chen ZL, et al. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biol Res*. 2020;53:47-67. PMID: 33066819. PMCID: PMC7565752. doi: 10.1186/s40659-020-00312-4
29. Lebrazi S, Benbrahim KF. Rhizobium-Legume Symbioses: *Heavy Metal Effects and Principal Approaches for Bioremediation of Contaminated Soil*. In book: Legumes for Soil Health and Sustainable Management. 2018. p. 205-233. doi: 10.1007/978-981-13-0253-4_7
30. Liu W, Zhang X, Liang L, Chen C, Wei S, Zhou Q. *Phytochelatin and Oxidative Stress Under Heavy Metal Stress Tolerance in Plants (Chapter).* In: DK Gupta et al., Eds. Reactive Oxygen Species and Oxidative Damage in Plants Under Stress. 2015. p. 191-219. doi:1 0.1007/978-3-319-20421-58

31. Tognetti PM, Proberb SM, Báezc S, Chaneton EJ, Firn J, Risch AC, et al. Negative effects of nitrogen override positive effects of phosphorus on grassland legumes worldwide. *PNAS.* 2021;118(28):811-8. PMID: 34260386. PMCID: PMC8285913. doi:10.1073/pnas.2023718118

**UDC** 574.5+631.42

**Dynamics of Changes in the Content of Cadmium and Nitrate Ion Compounds in the Ecosystem of the Ciscarpathia**

***Nechytailo L. Ya., Danyliv S. I., Shkurashkivska S. V., Kuras L. D.***

**Abstract.** *The purpose of the study* was to form an algorithm for constant control of the content of cadmium and nitrate ions as an important component of environmental monitoring in the Ciscarpathia ecosystem.

*Materials and methods.* The soils and drinking water of the plain, foothill and mountainous areas of the region were the object of research. The cadmium content was determined by atomic absorption spectrophotometry on a C-115 PC spectrophotometer. The concentration of nitrate ions in drinking water was determined potentiometrically using an ion-selective electrode.

*Results and discussion.* The Ciscarpathia is a unique region of Ukraine with rich natural resources, diverse flora and fauna. At the same time, more than 500 industrial enterprises (more than 4% of the total area) of the chemical, energy, oil and gas, woodworking and other industries are located in the region. These enterprises cause a significant man-made load on all components of the natural environment. The ecological situation of the Ciscarpathian region is closely related to the state of soils and water resources. In this regard, it is appropriate to study and control the level of cadmium and nitrate compounds in the environment of the region. The study of the soils of the Carpathian region confirmed the growth of the cadmium toxic element, the content of which was by 1.3–1.5 times higher than the background indicators. It is determined that the level of nitrate ions in the drinking water of the plain zone exceeds the maximum permissible concentration by 1.5–2 times, and the physiological water completeness indicator – by 160–606 times; in the foothills and mountain zones the content of nitrates does not exceed the maximum permissible concentration, but it is by 35−253 times higher than the physiological water completeness indicator. The main stages of entry and accumulation of cadmium in the plant body have been analyzed.

*Conclusion.* The results of our research made it possible to establish significant differences in the content of cadmium and nitrate ions in the soils and drinking water of different geographical zones of the Carpathian region. In particular, a significant number of the population living in the plains and foothills consumes water with a high content of nitrate ions and cadmium, which leads to an increase in the combined effect of these toxicants on living organisms. It is proposed to carry out constant monitoring of the level of toxicants in the ecosystem as an important component of environmental monitoring. The use of cultivated plants is recommended for cleaning the soil from cadmium contamination.

**Keywords:** water, soil, plants, nitrates, cadmium, microelements, phytotoxicity.

**ORCID and contributionship:**
Larysa Nechytailo : 0000-0002-7330-3411 [A,B,D,E]
Svitlana Danyliv : 0000-0001-5307-2188 [A,D,E,F]
Svitlana Shkurashkivska : 0000-0001-8567-5805 [D,E,F]
Lilia Kuras : 0000-0003-4159-0388 [D,E,F]

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis,
C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article,
E – Critical review, F – Final approval of the article

**CORRESPONDING AUTHOR**
**Larysa Nechytailo**
Ivano-Frankivsk National Medical University,
Department of Biological and Medical Chemistry named after academician G.O. Babenko
2, Halytska Str., Ivano-Frankivsk 76000, Ukraine
phone: +380508859771, e-mail: larysa.nechytailo@gmail.com

*The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.*

Received 30.11.2022
Accepted 27.12.2022
*Recommended for publication by a meeting of the editorial board after review*