

УДК 911.9:504.5+613.262+613.295

**К. Б. УТКІНА**, канд. геогр. наук, **І. В. БОДАК**

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022 Україна

e-mail: [kateutkina@gmail.com](mailto:kateutkina@gmail.com), [innabodak@mail.ru](mailto:innabodak@mail.ru)

## **ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСЛОКАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ІЗ ФРУКТОВОЇ СИРОВИНИ У ПРОДУКЦІЮ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ (НА ПРИКЛАДІ ЯБЛУК)**

Виявлено особливості транслокації важких металів (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd) як домінуючих поллютантів техногенного походження із фруктової сировини (яблука) до продуктів її переробки – фруктових соків та компотів. Територія дослідження охоплює урбогеосистеми в межах Полтавської, Харківської та Донецької областей. Досліджено яблука сортів Джонатан, Білий налив, Мельба, Шафран літній та Старкінг. Встановлено, що вміст Zn та Cu у яблуках та продуктах їх переробки знаходиться у межах ГДК, Cd у яблуках у 2-12,6 разів перевищує ГДК, у соках-фреш – у 2,3–7 разів, у яблучному соку після термічної обробки – у 1,3-5,3 рази, а в компоті – у 2 рази. Згідно зі сумарним показником забруднення, найбільш забрудненою важкими металами є фруктова сировина, далі слідує сік-фреш, а потім – сік після термічної обробки та компот. Термічна обробка позитивно впливає на зменшення концентрацій важких металів у соку порівняно з вихідною фруктовою сировиною.

**Ключові слова:** фруктова сировина та продукти її переробки, яблука, соки, термічна обробка, важкі метали, транслокація, екологічна безпека

**Utkina K. B., Bodak I. V., V. N. Karazin Kharkiv National University**

## **PECULIARITIES OF HEAVY METALS TRANSLOCATION FROM FRUITS INTO PRODUCTS PRODUCED FROM THEM (ON THE EXAMPLE OF APPLES)**

The article is devoted to identification of peculiarities of heavy metals translocation as dominant anthropogenic pollutants from raw fruit (apples) to treated products - fruit juices and compotes. The area of study covered urban geosystems within the following regions: Poltava, Kharkiv and Donetsk Oblasts. The following apple sorts were studied: Jonathan, White Transparent, Melba, Saffron summer and Starking. On the basis of the research it was found that the content of Zn and Cu in apples and their products is within the MAC. It was identified that Cd concentration in apples is in 2-12,6 times higher than MAC; data for juices: fresh juice – Cd concentration is 2,3-7 MAC and in apple juice after thermal treatment - 1,3 5.3 MAC, in compote – 2 MAC. According to the total pollution index ( $Y C_{dg}$ ), raw fruit is the most contaminated with heavy metals ( $Y C_{dg} = 2,3-13,4$ ), followed by fresh juice ( $Y C_{dg} = 2,5-7,5$ ), juice after thermal treatment ( $Y C_{dg} = 1,5-5,7$ ) and compote ( $Y C_{dg} = 2.0-2.2$ ). Approximately 53% of the total metal content was found in apple peel, while the remaining 47% - in the flesh of apples. After the thermal treatment, almost all metal concentrations decreases: Cd content is reduced by an average of 50% ( $C_{tr} = 0.51$ ;  $C_{tr}$  – transition coefficient) and other metals - by 25-35% ( $C_{tr} = 0,65-0,75$ ). Heavy metal translocation from apple into compote is considerably lower. Thus, the content of Cd and Zn decreased on average by 70%, and Fe, Mn and Cu - 51-62%. Thermal treatment has a positive effect on reducing the concentrations of heavy metals in juice comparing to the original raw fruit.

**Keywords:** fruit as a raw material and processed products, apple, juice, thermal treatment, heavy metals, translocation, ecological safety

**Уткина Е. Б., Бодак И. В., Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина**

## **ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЛОКАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ФРУКТОВОГО СЫРЬЯ В ПРОДУКЦИЮ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ (НА ПРИМЕРЕ ЯБЛОК)**

Определены особенности транслокации тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd) в качестве доминирующих поллютантов техногенного происхождения из фруктового сырья (яблока) в продукты его переработки - фруктовые соки и компоты методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Территория исследования охватывала урбогеосистемы в пределах Полтавской, Харьковской и Донецкой областей. Исследованы яблоки сортов Джонатан, Белый налив, Мельба, Шафран летний и Старкинг. На основе проведенных исследований установлено, что содержание Zn и Cu в яблоках и продуктах их переработки находится в пределах ПДК, концентрация Cd в яблоках в 2-12,6 раз превышает ПДК, в соках-фреш - в 2,3-7 раз, в яблочном соке после термической обработки - в 1,3 5,3 раза, а в компоте - в 2 раза. Согласно суммарному показателю загрязнения, наиболее загрязненными тяжелыми металлами является фруктовое сырье, далее следует сок-фреш, а затем - сок после термической обробки и компот. Термическая обработка положительно влияет на уменьшение концентраций тяжелых металлов в соке по сравнению с исходным фруктовым сырьем.

**Ключевые слова:** фруктовое сырье и продукты его переработки, яблоки, соки, термическая обработка, тяжелые металлы, транслокация, экологическая безопасность

### Вступ

Практично кожна людина щодня вживає фрукти, а також продукцію їх переробки, до якої відносяться компоти, соки-фреш прямого віджиму та соки, які піддавалися термічній обробці, варення, джеми тощо. Ці складові нашого щоденного раціону є важливим джерелом надходження до організму людини мікроелементів та вітамінів, оскільки містять унікальний склад біологічно активних речовин та мінеральних сполук, що мають антиоксидантну дію. За рекомендаціями ВОЗ слід збільшити вживання фруктів та овочів, оскільки це може допомогти попередити виникнення серйозних захворювань (наприклад, серцево-судинних, діабету тощо); по оцінкам ВОЗ низький рівень споживання фруктів та овочів є причиною приблизно 19 % випадків шлунково-кишкового раку, 13 % випадків ішемічної хвороби та 11 % випадків інсульту у світі [9]. У доповіді ВОЗ/ФАО містяться рекомендації щодо вживання, як мінімум 400 г фруктів та овочів на день [9].

Звісно, при цьому необхідно слідкувати за якісним складом фруктів та продуктів їх переробки, які живає людина. Саме тому на державному рівні затверджені норми щодо вмісту хімічних сполук, важких металів тощо, як от, наприклад, Сан-Пін 42-123-4089-86 [8]. Тож продукція, яка реалізується виробниками, проходить контроль на державному рівні. А от якість фруктів,

які вирощуються на присадибних ділянках, та продукції їх переробки, які виробляють мешканці у себе вдома жодним чином не перевіряється; а це може негативно впливати на здоров'я людини. При контролі якості фруктів особливу увагу слід приділяти вмісту важких металів, оскільки вони мають властивість накопичуватися у організмі людини. Протягом останніх 20 років вітчизняні та закордонні науковці приділяти увагу цій проблемі, при цьому спектр питань, які охоплюються, дуже широкий: визначення фоновому вмісту важких металів, визначення ризику вмісту важких металів на здоров'я людини, залежність вмісту важких металів у фруктах/овочах від ландшафтних умов, взаємозв'язок між вмістом важких металів у фруктах та властивостями ґрунту, залежність вмісту важких металів у фруктах від виду добрив, які використовуються, вплив антропогенних чинників на вміст важких металів у фруктах/овочах, транслокація важких металів із фруктів до продукції її переробки, тощо [3; 4; 5; 6; 7; 10; 11; 12; 13].

Метою досліджень є виявлення особливостей транслокації важких металів, як домінуючих поллютантів техногенного походження, із фруктової сировини (яблук) до продуктів її переробки – фруктових соків та компотів.

### Методи дослідження

Дослідження реалізовано на тест-майданчиках, приурочених до територій урбогеосистем з різним ступенем антропогенного навантаження. Територія дослідження охоплювала урбогеосистеми в межах Полтавської (сmt Лохвиця), Харківської (м. Харків, сmt Золочів) та Донецької (м. Новогродівка, с. Орлівка) областей.

В межах тестових ділянок здійснено відбір зразків яблук як домінуючої садової культури даних садових агрофітоценозів. У фокусі даного дослідження були яблука сортів Джонатан, Білий налив, Мельба, Шафран літній та Старкінг. Відбір зразків фруктової продукції проводився відповідно до вимог ДСТУ ISO 874-2002. Підготовка зразків фруктової сировини та продуктів її

переробки до лабораторного аналізу проводилась згідно з ГОСТ 26929-94.

Відібрані плоди яблук були використані як фруктова сировина для виробництва соку-фреш прямого віджиму, яблучного соку, який піддавався термічній обробці протягом 10 хвилин, а також яблучного компоту. Далі зразки плодів яблук та продуктів їх переробки аналізувалися на вміст 5 важких металів (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd) методом атомно-абсорбційної спектроскопії згідно з ГОСТ 30178-96 та ГОСТ 26929-94.

Аналіз отриманих результатів проводився за допомогою побудови акумулютивних рядів за І. М. Волошиним (1998), а також розрахунку коефіцієнта небезпечності елемента ( $K_{нб}$ ) та сумарного показника не-

безпеності забруднення ( $\sum K_{\text{нб}}$ ) за В.М. Гуцуляком (2002) [2]. Коефіцієнт небезпечності хімічного елемента ( $K_{\text{нб}}$ ) визначався як відношення фактичної концентрації хімічного елемента у фруктовій сировині та продуктах її переробки до його гранично допустимого значення (ГДК) (згідно з СанПіН 42-123-4089-86 [8]). Оскільки нормативні значення ГДК виступають основним критерієм гігієнічної оцінки небезпечності забруднення  $\epsilon$ , то коефіцієнт  $K_{\text{нб}}$  дозволяє оцінити екологічну безпеку яблук та

продуктів їх переробки. Сумарний показник небезпечності забруднення визначався шляхом підсумовування показників  $K_{\text{нб}}$ .

Для простеження особливостей транслокації важких металів у ланцюгу «фруктова сировина – сік-фреш – сік після термічної обробки» або «фруктова сировина – компот» були розраховані коефіцієнти переходу хімічного елемента ( $K_{\text{пр}}$ ) за О. В. Гаєвою (2012) [1] як відношення концентрації металу у кінцевому продукті до вмісту даного металу у вихідній сировині.

### Результати дослідження

За результатами проведених досліджень встановлено, що вміст Zn та Cu у яблуках та продуктах їх переробки знаходиться у межах ГДК ( $K_{\text{нб}}=0,08-0,40$  та  $K_{\text{нб}}=0,12-0,56$  відповідно). Однак було виявлено забруднення Cd. Так, виходячи з результатів розрахунку коефіцієнта небезпечності забруднення ( $K_{\text{нб}}$ ), концентрації Cd у яблуках у 2-12,6 разів перевищують ГДК відповідно до СанПіН 42-123-4089-86 [8], у соках-фреш – у 2,3-7 разів, у яблучному соку після термічної обробки – у 1,3-5,3 рази, а в компоті – у 2 рази. Згідно зі сумарним показником забруднення ( $\sum K_{\text{нб}}$ ), найбільш забрудненою важкими металами є фруктова сировина ( $\sum K_{\text{нб}}=2,3-13,4$ ), далі слідує сік-фреш ( $\sum K_{\text{нб}}=2,5-7,5$ ), а потім – сік після термічної обробки ( $\sum K_{\text{нб}}=1,5-5,7$ ) та компот ( $\sum K_{\text{нб}}=2,0-2,2$ ).

На вміст важких металів у фруктовій сировині поміж інших факторів впливають сортові особливості рослин та умови вирощування. Так, із 5 досліджуваних сортів яблук найменш чітко виражені металоаккумулятивні особливості виявлені для яблук сорту Білий налив ( $\sum K_{\text{нб}}=2,3-3,2$ ), а найбільш – для яблук сорту Джонатан ( $\sum K_{\text{нб}}=4,9-13,4$ ). Сорт Білий налив яблук характеризується найменшим періодом дозрівання плодів, тоді як Джонатан – це пізньозимовий сорт. Якщо розглядати умови вирощування, то, наприклад, для того ж сорту Джонатан виявлені тенденції до накопичення вищого вмісту важких металів у яблуках, відібраних у межах міських урбогеосистем (м. Харків, м. Новгородівка), тоді як яблука, вирощені у межах сільських ур-

богеосистем (с. Орлівка) містили у 1,1-2 рази нижчі сумарні концентрації важких металів.

Щодо особливостей розподілу вмісту важких металів у плодах яблук слід зазначити, що приблизно 53% із загального вмісту металів міститься у яблучній шкірці, тоді як решта 47% – у м'якоті яблук. Так, для яблук, вирощених в межах м. Харків, показники сумарного вмісту металів у шкірці складали 21,78-35,59 мг/кг та 18,43-33,26 мг/кг – у м'якоті яблук.

Для визначення особливостей транслокації важких металів із сировини до соків у процесі переробки у ході досліджень розраховано коефіцієнти переходу за О. В. Гаєвою [1] (рис.). Як видно з рис. 1, із м'якоті до соку-фреш переходить в середньому 70-90% важких металів, із соку-фреш до соку після термічної обробки – 70-87%. Загалом із фруктової сировини до соку після термічної обробки переходить 50-75% важких металів, а із яблук до компоту – 29-50%.

Якщо порівняти вміст хімічних елементів у сировині та термічно обробленому соку після кінцевої стадії переробки, то можна зробити висновок, що концентрація практично всіх металів знижується. Зокрема, вміст Cd зменшується у середньому на 50% ( $K_{\text{пр}}=0,51$ ), а інших металів – на 25-35% ( $K_{\text{пр}}=0,65-0,75$ ). Перехід важких металів із яблук до компоту значно нижчий. Так, вміст Cd та Zn зменшується в середньому на 70%, а Fe, Mn та Cu – 51-62%.

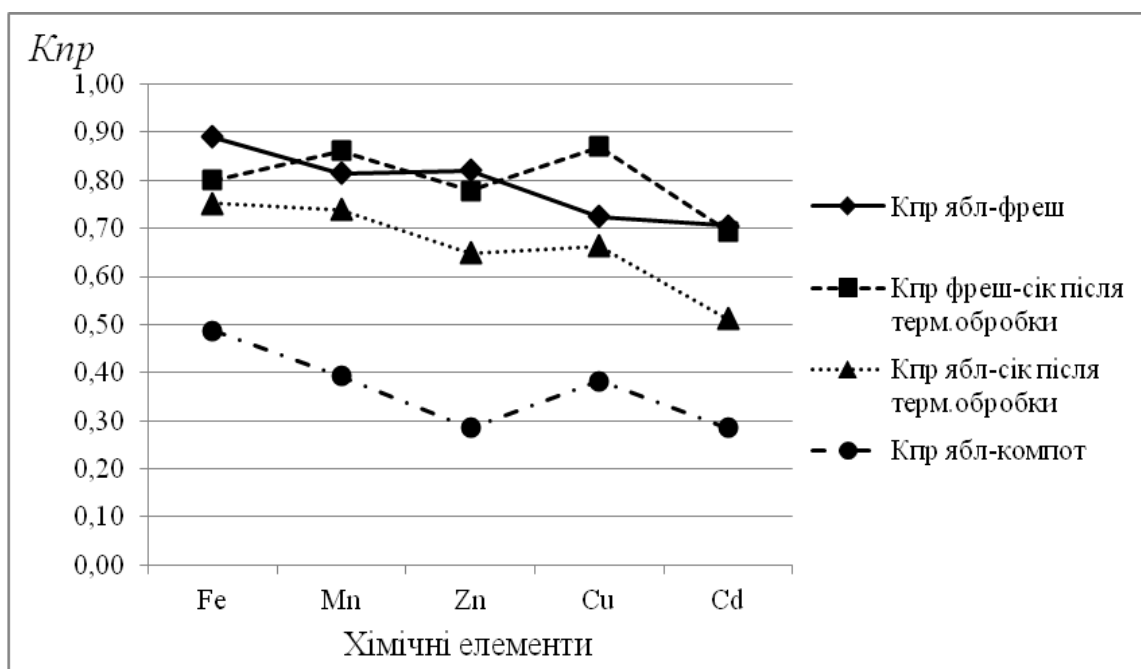


Рис. – Середні значення коефіцієнтів переходу важких металів із фруктової сировини до продукції її переробки

### Висновки

Таким чином, в цілому можна зробити наступні висновки:

1. Вміст Zn та Cu у яблуках та продуктах їх переробки знаходиться у межах ГДК ( $K_{нб}=0,08-0,40$  та  $K_{нб}=0,12-0,56$  відповідно). Концентрації Cd у яблуках у 2-12,6 разів перевищують ГДК, у соках-фреш – у 2,3-7 разів, у яблучному соку після термічної обробки – у 1,3-5,3 рази, а в компоті – у 2 рази.

2. Згідно зі сумарним показником забруднення ( $\sum K_{нб}$ ), найбільш забрудненою важкими металами є фруктова сировина ( $\sum K_{нб}=2,3-13,4$ ), далі слідує сік-фреш ( $\sum K_{нб}=2,5-7,5$ ), а потім – сік після термічної обробки ( $\sum K_{нб}=1,5-5,7$ ) та компот ( $\sum K_{нб}=2,0-2,2$ ).

3. Приблизно 53% із загального вмісту металів міститься у яблучній шкірці, тоді як решта 47% - у м'якоті яблук.

4. Після термічної обробки концентрація практично всіх металів знижується. Зокрема, вміст Cd зменшується у середньому на 50% ( $K_{np}=0,51$ ), а інших металів – на 25-35% ( $K_{np}=0,65-0,75$ ). Перехід важких металів із яблук до компоту значно нижчий. Так, вміст Cd та Zn зменшується в середньому на 70%, а Fe, Mn та Cu – 51-62%.

5. Термічна обробка позитивно впливає на зменшення концентрацій важких металів у соку порівняно з вихідною фруктовою сировиною. Однак, через надзвичайно високий вміст Cd термічна обробка не дозволяє знизити вміст Cd у соку до безпечного для здоров'я рівня.

### Література

1. Гаевая Е. В. Эколого-токсикологическая оценка сельскохозяйственной продукции юга Тюменской области: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук: спец. 03.02.08 – экология / Е. В. Гаевая; [Тюм. гос. с.-х. акад.]. – Тюмень, 2012. – 16 с.: ил., табл.

2. Гуцуляк В. М. Ландшафтна екологія: геохімічний аспект: навч. посібник / В. М. Гуцуляк. – Чернівці: Рута, 2002. – 272 с.

3. Куцак Р. С. Проблема контролю якості і безпеки свіжих овочів і фруктів в умовах продовольчих ринків м. Дніпропетровськ [Електронний ресурс] / Р. С. Куцак, Л. В. Кунаєва // Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК. – Т. 2, № 1. – 2014. – Режим доступу: [http://biosafety-center.com/naukovi\\_vydanny/pdf/2\\_21.pdf](http://biosafety-center.com/naukovi_vydanny/pdf/2_21.pdf).

4. Мотылева С. М. Полиэлементный состав плодов некоторых сортов яблоны селекции ГНУ ВНИИСПК / С. М. Мотылева // Аграрный вестник Урала. – Екатеринбург : ИРА УТК. – 2010. – № 9–10 (75–76). – С. 31–33.

5. Некос А. Н. Еколого-геохімічні аспекти формування забруднення рослинної продукції в різних ландшафтних умовах // А. Н. Некос, І. В. Бодак // Геополитика и экогеодинамика регионов. – Симферополь, 2014. – Т. 10. – Вып. 2. – P. 354–360.

6. Некос А. Н. Проблеми дослідження якості рослинної продукції – теорія і практика трофогеографії / А. Н. Некос // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. – Сер. Екологія. – Харків : Вид-во ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2008. – № 801 – С. 7–14.

7. Некос А. Н. Регіональна зумовленість трофогеографічних закономірностей рослинної продукції широкого вжитку (закономірності екологічної якості рослинних продуктів) / А. Н. Некос // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – 2009. – № 849. – С. 16–27.

8. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах: СанПиН 42-123-4089-86. – [Действует с 1986-03-31]. – К.: Главный государственный санитарный врач СССР, 1986. – 180 с.

9. Стимулирование потребления фруктов и овощей во всем мире [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. – Режим доступа : <http://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/ru>

10. Bednarek W. Contents of Heavy Metals as a Criterion for Apple Quality Assessment and Soil Properties / W. Bednarek, P. Tkaczyk, S. Dresler // Polish Journal of Soil Science. – 2007. – Vol. XL/I. – P. 47–56.

11. Campeanu G. Chemical Composition of the Fruits of Several Apple Cultivars Growth as Biological Crop / G. Campeanu, G. Neata, G. Darjanschi. – Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 37 (2). – 2009. – P. 161–164.

12. The Multielement Analysis of the Apple Peel Using ICP-OES Method / B. T. Stojanovic, S. S. Mitij, M. N. Mitij et al. // Advanced Technologies. – 2014. – No. 3(2). – P. 96–104

13. Wang Q. Heavy Metals in Apple Orchard Soils and Fruits and Their Health Risks in Liaodong Peninsula, Northeast China [Electronic recourse] / Q. Wang, J. Liu, Sh. Cheng // Environmental Monitoring and Assessment. – January, 2015. – 187:4178. – Way of access : <http://link.springer.com/article/10.1007/s10661-014-4178-7#page-2>

Надійшла до редколегії 23.10.2015