

# ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ВИЛУЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ЕЛЕКТРОДІ, МОДИФІКОВАНОМУ ЕКОНОМІЧНИМ ТА ЕКОБЕЗПЕЧНИМ КОПОЛІМЕРОМ ТОКСИНІВ ОТРУЙНИХ ГРИБІВ

Ткач В.В.<sup>1,2</sup>, Кушинір М.В.<sup>1</sup>, Феррау да Пайва Мартіні Ж.І.<sup>2</sup>, Гарсія Ж.Р.<sup>3</sup>, Іванушко Я.Г.<sup>4</sup>, Агафонова О.В.<sup>4</sup>, Де Олівейра С.С.<sup>5</sup>, Ягодинець П.І.<sup>1</sup>, Поченчук Г.М.<sup>1</sup>, Каракоюн Н.<sup>6</sup>, Акинай Ю.<sup>6</sup>, Листван В.В.<sup>7</sup>, Дитинченко І.М.<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Україна

<sup>2</sup>Факультет інженерії університету Порту, Португалія

<sup>3</sup>Штатний університет м. Понта-Гросса, Парана, Бразилія

<sup>4</sup>Буковинський державний медичний університет, Україна

<sup>5</sup>Федеральний університет штату Мату-Гроссу-ду-Сул, Бразилія

<sup>6</sup>Університет “Юзунджу Йил”, Ван, Туреччина

<sup>7</sup>Житомирський державний університет ім. І. Франка, Україна

Термін “важкі метали” в широкий вжиток ввів у 1817 році німецький хімік Леопольд Гмелін, і цей термін став настільки популярним, що на його честь навіть назвали стиль рок-музики – “важкий металевий рок”, а фанатів цього стилю музики назвали “металістами”.

Всього є близько сорока визначення терміну “важкі метали”, що відображають різні думки щодо того, які саме метали слід віднести до когорти “важких”, однак в сучасній науці важкими прийнято називати метали починаючи із Ванадію (23V). Хоча деякі з цих елементів відносяться до мікро- та ультрамікроелементів (Ферум, Цинк, Кобальт, Манган), більшість із них є надзвичайно (еко)токсичними – характерні приклади – Хром, Кадмій, Меркурій, Плюмбум. Катіони важких металів, особливо перехідних елементів вважаються сильними забрудниками і їх вилучення з природних та стічних вод – надзвичайно важливе завдання.

Що ж до елементів, важчих за Бісмут, вони взагалі не утворюють стійких нуклідів і є радіоактивними. Вони є особливо токсичними, оскільки є джерелом  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -випромінювання.

У даній роботі розглядається можливість електрохімічного вилучення йонів двох споріднених металів (наприклад  $Zn^{2+}$  і  $Cd^{2+}$ ) на економічному та екобезпечному кополімері, мономерама якого є токсини отруйних грибів *P. Involutus*, *C. Orellani* і *A. Xanthodermus*. Більшість із них є фенольними сполуками (або спорідненими до них) і утворюють комплекси із важкими металами:

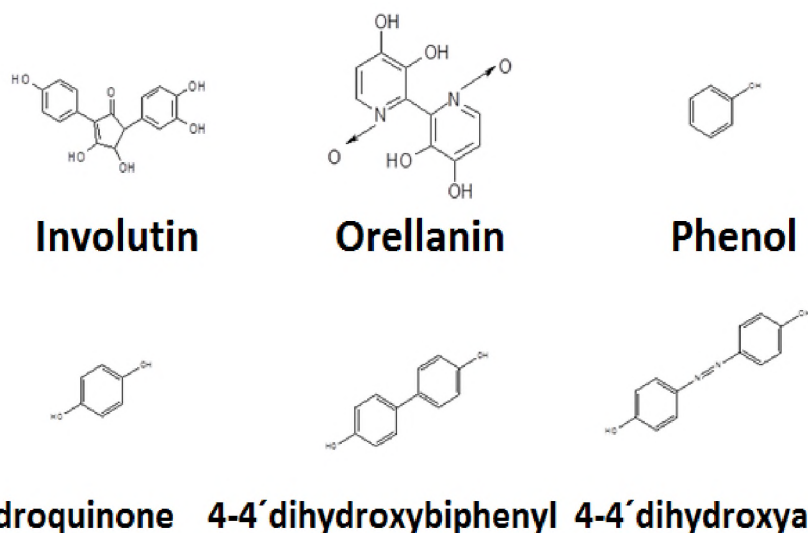


Рис. 1 Фенольні токсини, що потенційно використовуються як мономери

В такому разі поведінка системи описується системою рівнянь (1):

$$\begin{cases} \frac{dc}{dt} = \frac{2}{\delta} \left( \frac{\Delta}{\delta} (c_0 - c) - r_1 \right) \\ \frac{dz}{dt} = \frac{2}{\delta} \left( \frac{D}{\delta} (z_0 - z) - r_2 \right) \\ \frac{dp}{dt} = \frac{1}{P} (r_1 + r_2 - r_0 - r_0) \end{cases} \quad (1)$$

Аналіз поведінки системи підтверджує ефективність системи для вилучення йонів важких металів із природних та стічних вод.

### ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ НІКОТИНУ ТА НІКОТИРИНУ У РОТОВІЙ ПОРОЖНИНІ НА СЕНСОРНОМУ ЕЛЕКТРОДІ, МОДИФІКОВАНОМУ НАНОЧАСТИНКАМИ КУПРУМ (II) СУЛЬФІДУ

*Ткач В.В.<sup>1,2</sup>, Кушнір М.В.<sup>1</sup>, Феррау да Пайва Мартіни Ж.І.<sup>2</sup>, Гарсія Ж.Р.<sup>3</sup>, Іванушко Я.Г.<sup>4</sup>, Агафонова О.В.<sup>4</sup>, Ягодинець П.І.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Україна

<sup>2</sup>Факультет інженерії університету Порту, Португалія

<sup>3</sup>Штатний університет м. Понта-Гросса, Парана, Бразилія

<sup>4</sup>Буковинський державний медичний університет, Україна

Тютюнопаління – одна із шкідливих звичок, з якими асоціюються козаки та чумаки. Оскільки постійні походи призводять до підвищення стресу, необхідний сильний заспокійливий засіб, і тютюнопаління надає його. Це алкалоїд тютюну (*Nicotiana tabacum*) нікотин (Рис. 1).

Нікотин є біциклічним алкалоїдом піридинового ряду, головним чином відповідальним за наркотичний ефект тютюну та появу в організмі шкідливої звички до тютюнопаління. Назва “нікотин” походить від французького лікаря та дипломата Жана Ніко (Nicot), який, будучи послом Франції у Португалії у 1560 році порекомендував тютюнову витяжку як засіб від мігрені для французької королеви Катерини Медічі. Синтетично у лабораторії отримали у 1904 році.



Рис. 1 Нікотин та нікотирина

Що ж до нікотину (Рис. 1) – то це ще один компонент тютюнового диму, структура якого схожа на нікотину, але повністю ароматична, з огляду на присутність пірольного ядра. Відтак, нікотин, маючи нижчий потенціал окиснення бере на себе основний “удар” ензимів організму і, таким чином, сповільнює метаболізм трішки інертнішого нікотину. Обидва компоненти тютюну негативно впливають на стан організму загалом та ротової порожнини зокрема, підвищуючи ризик захворювань зубів та ясен. Відтак, визначення концентрації нікотину та норнікотину в ротовій порожнині – дійсно актуальне завдання, і електрохімічні сенсори – один із ефективних способів його реалізації.

У даній роботі розглядається теоретична можливість визначення нікотину та нікотину у ротовій порожнині електрохімічним сенсором, модифікованим наночастинками Купрум (II) сульфідом. У нормі рН ротової порожнини слабколужний. Що ж до нікотину та нікотину, то вони (особливо перший) проявляють виражені основні властивості. Це сприятливе середовище для окиснення Купрум (II) сульфідом з *in situ* утворенням Купрум (III) сульфогідроксиду (1):



Надалі окиснення може відбуватися за паралельними сценаріями, а для нікотину можливий і полімеризаційний сценарій з утворенням полінікотину, а фактично кополімеру піридину і 1-метилпіролу.

У слабколужному середовищі ротової порожнини переважатимуть утворення N-оксиду та електрополімеризація, що піде для нікотину за електрофільним механізмом. Мономерні ланки сполучатимуться у положеннях 2 пірольного кільця та 3 піридинового, через що полімер може бути частково некопланарний і зі зниженою провідністю.

Цей дефект, однак може бути скомпенсованим допуванням. Відтак полінікотин сам може застосовуватися в якості чутливого модифікатора електрода для електрохімічних сенсорів.

Поведінку системи опишемо наступною математичною моделлю, вираженою системою трьох балансових рівнянь (2):

$$\begin{cases} \frac{dn}{dt} = \frac{2}{\delta} \left( \frac{\Delta}{\delta} (n_0 - n) - r_{O1} \right) \\ \frac{dn^*}{dt} = \frac{2}{\delta} \left( \frac{\Delta}{\delta} (n_{*0} - n^*) - r_{O2} - r_p \right) \\ \frac{dc}{dt} = \frac{1}{C} (r_{O1} + r_{O2} + r_p - r_1) \end{cases} \quad (2)$$

Аналіз якої доводить ефективність сенсора та легку інтерпретацію аналітичного сигналу у процесі визначення нікотину та нікотину у ротовій порожнині, оскільки у лужному середовищі обидва із аналітів менш йонізовані, ніж у кислому. Що ж до осциляторної поведінки, то вона, хоч і можлива, проявляється тільки за значень параметрів, віддалених від межі визначення.