

УДК 615.002.68:613.1

DOI: 10.15587/1729-4061.2017.109826

*Фармацевтичні відходи зі скла містять фармацевтичні речовини, які негативно впливають на навколишнє середовище та процес утилізації відходів. Для знешкодження таких речовин запропоновано запровадження способу електрохімічної деструкції. Додатково при цьому знезаражуються від бактерій *Escherichia coli* розчини фармацевтичних препаратів та підвищується екологічність утилізації відходів*

Ключові слова: фармацевтичні відходи зі скла, навколишнє середовище, деструкція фармацевтичних речовин

*Фармацевтические отходы из стекла содержат фармацевтические вещества, которые негативно влияют на окружающую среду и процесс утилизации отходов. Для обезвреживания таких веществ предложен способ электрохимической деструкции. Дополнительно при этом обеззараживаются от бактерии *Escherichia coli* растворы фармацевтических препаратов и увеличивается экологичность утилизации отходов*

Ключевые слова: фармацевтические отходы из стекла, окружающая среда, деструкция фармацевтических веществ

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ СПОСОБУ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВІДХОДІВ ЗІ СКЛА

Н. М. Самойленко

Кандидат технічних наук, професор*

E-mail: samoilenko@kpi.kharkov.ua

І. А. Єрмакович

Кандидат технічних наук, асистент

Кафедра інженерної екології міст

Харківський національний університет

міського господарства ім. О. М. Бекетова

вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002

E-mail: iryna.yermakovych@gmail.com

В. Б. Байрачний

Кандидат технічних наук, професор*

E-mail: bairachniyvb@gmail.com

А. О. Баранова

Аспірант*

E-mail: baranovaab47@gmail.com

*Кафедра хімічної техніки та промислової екології

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 21, м. Харків, Україна, 61002

1. Вступ

У теперішній час утворення та накопичення фармацевтичних відходів стає глобальною проблемою суспільства [1]. Цьому сприяє розвиток фармацевтичної галузі та ринку продажу лікарських засобів. За прогнозами до 2021 р. обсяги світового продажу лікарських засобів можуть досягнути 1,5 трлн дол. при середньорічному прирості 5,9 % [2].

У фармацевтичній промисловості скло широко використовується у якості тари. Згідно із Законодавством ЄС [3] та України [4], бій скляної тари підлягає утилізації і майже 100 % скла може бути використано повторно. При цьому застосування скляних відходів у виробничих процесах знижує енергетичні витрати та зменшує викиди парникових газів.

З екологічної точки зору забруднені фармацевтичні відходи зі скла (ФВС) розглядають як чинник, що негативно впливає на здоров'я людей, водні та наземні екосистеми. Передусім особливо шкідливою дією відзначаються фармацевтичні речовини (ФР), що у більшості випадків містяться у них. Забруднення довкілля такими фармацевтичними агентами стає міжнародною проблемою та потребує нагального її вирішення.

Зважаючи на зазначене, важливим науковим і практичним завданням є впровадження на стадії збирання та утилізації відходів способу, який сприяв би підвищенню екологічної безпеки поводження з ФВС шляхом руйнування фармацевтичних речовин.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Більша частина ФВС являє собою скляні ємності, у яких знаходиться фармацевтична речовина, що зазвичай легко потрапляє у навколишнє середовище. У водних об'єктах Європи міститься більш ніж 3000 хімічних речовин, які відносяться до лікарських засобів. Концентрації деяких ФР у природних водах Європи, а також США коливаються від $2,9 \cdot 10^{-6}$ г/л (Бисопролол) до $0,025 \cdot 10^{-6}$ г/л (Ципрофлоксацин) [5]. В останні роки розробка передових та складних аналітичних інструментів дозволила вченим рееструвати концентрації ФР у водах до рівня часток на млрд (ppb) та нижче [6].

Визначено, що фармацевтичні препарати, які включають багато терапевтичних груп, таких як антибіотики, анальгетики, протиракові, контрацептиви, антидепресанти проявляють для навколишнього сере-

довища виражений токсичний ефект [7]. В суміші, що одночасно містить декілька фармацевтичних речовин, може проходити взаємодія компонентів і токсичність загального впливу на організми збільшується.

Основною причиною попадання фармацевтичних забруднювачів у поверхневі води є відсутність ефективної біологічної очистки на міських спорудах. Це обумовлено двома факторами: низькою концентрацією фармацевтичних речовин у стічних водах та неможливістю адаптації мікробіоти мулу до нових препаратів, які з'являються на ринку лікарських засобів [8]. Зазначений факт вказує на доцільність попередження надходження фармацевтичних речовин у муніципальні стічні води, у тому числі при поводженні з фармацевтичними відходами зі скла.

Для очищення вод, забруднених фармацевтичними речовинами, пропонується використання озонування, сорбції, мембранного очищення та ін. [9–11]. Для підвищення ж безпеки питної води від хіноліну антибіотиків авторами [12] рекомендується застосування порошкового активованого вугілля.

Особливу занепокоєність у світі визиває надходження у навколишнє середовище диклофенаку, наявність якого відзначається в очищених стічних водах та поверхневих водах, а також питній воді. Його шкідлива дія виявлена для наземних і водних організмів. Зокрема, за останніми дослідницькими пропозиціями для очистки водних розчинів від нього пропонується застосовувати адсорбцію лушпинням какао [13].

Запропоновані способи очистки водних розчинів від фармацевтичних забруднювачів в основному направлені на очищення вод від окремої фармацевтичної речовини, а питання знешкодження суміші різних ФР в єдиному процесі можливо вважати недостатньо вирішеним.

Фармацевтичні препарати негативно впливають на ґрунтові організми та властивості ґрунту. Так, дослідження, що проводились з такими препаратами як карбамазепін, диклофенак, флуоксетин і орлістат, показують, що ФР включаються у харчові ланцюги дощових черв'яків і змінюють внутрішні хімічні реакції останніх [14].

Менш дослідженим є питання попередження надходження ФВС на полігони для поховання побутових відходів, яке нормативно допускається у деяких країнах. Добре відомо, що скляні відходи розкладаються дуже довго (500–1000 років). Ймовірно, що медичне скло може руйнуватися триваліше, ніж інші види скляних відходів, так як є стійким до впливу хімічних сполук. Разом з тим, дослідження показують, що склобій, який потрапляє на полігони, суттєво залує стоки. Такі відходи рекомендується зберігати під навісами, щоб попередити попадання на них атмосферних опадів [15]. Також скло гальмує процеси життєдіяльності мікроорганізмів поверхневих шарів ґрунту. Крім того, бите скло являє собою гострий предмет, який також характеризує небезпеку відходів скла.

У більшості країн для транспортування, знищення та утилізації відходів залучаються організації, які мають відповідну технічну базу та спеціальні ліцензії. Способи переробки та знезараження медичних відходів, що у своєму складі містять ФВС, у більшості випадків не поєднують недостатньо. Останні пов'язані з чинниками екологічного характеру (забруднення елементів довкілля, неефективне використання відходів як

вторинного матеріального ресурсу) [16–19]. Крім того, відзначаються технічні складнощі. Медичне скло, що попадає у печі спалювання, плавиться та перетворюється у шлак, який прилипає до внутрішніх стінок [20].

Аналіз літературних джерел показує, що проблема забруднення довкілля ФР розглядалась досить широко. В той час питання поводження з ФВС, що містять фармацевтичні речовини, залишаються мало дослідженими. До них, в першу чергу, необхідно віднести попередження недопустимого ризику для довкілля з боку ФВС на етапах збирання та утилізації відходів.

3. Мета та задачі дослідження

Ціллю даної роботи є запровадження способу електрохімічної деструкції фармацевтичних речовин, що містяться у ФВС, який дозволяє очистити відходи від розчинів і залишків лікарського засобу, підвищити ресурсну цінність відходів та екологічну безпеку технологій утилізації.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити доцільність проведення електрохімічної деструкції фармацевтичних речовин, що містяться у ФВС;
- провести аналітичні дослідження, які показують ефективність процесу деградації фармацевтичних речовин способом електрохімічної деструкції.

4. Матеріали та методи досліджень

Електрохімічні дослідження проводили у розчинах, що містили порошкоподібні фармацевтичні речовини: диклофенак, β -естрадіол, атенолол, фуросемід, цефуроксим фірми Sigma-Aldrich (Бельгія), хімічна чистота становить 99,9 %. У розчини для досліджень добавляли NaCl або Na_2SO_4 (марка MerckKGaA, Німеччина, хімічна чистота – 99,9 %). Електрохімічний процес проводили у відкритій циліндричній скляній комірці. У якості джерела струму використали лабораторний пристрій DC Power Supply модель GPS-3030D. Електроди: графітовий стержневий катод, платиновий анод та анод ОРТА. Ступінь деградації речовини у досліджуваних пробах контролювали за допомогою рідинної хроматографії з ультрафіолетовим детектором (PX-УФ) на приладі Shimadzu HPLC (Shimadzu Corp., Японія) та рідинної хроматографії з мас-спектрометром (PX-МС) типу LC-MS Waters QTOF Xevo G2, Waters Acquity UPLC (Waters Corporation, США)

5. Результати досліджень по запровадженню способу електрохімічної деструкції для екологічно безпечного поводження з фармацевтичними відходами зі скла

5.1. Теоретичне обґрунтування доцільності проведення деструкції фармацевтичних речовин, що містяться у ФВС

Фармацевтичні відходи (ФВ) за визначенням ВООЗ – це відходи, які містять медичні препарати (ліки, у яких закінчився термін придатності, або які

більше не потрібні, предмети, що забруднені фармацевтичними препаратами, або містять такі препарати). З іншого боку ФВ є складовими медичних відходів, що включають протерміновані, не використовувані та забруднені лікарські засоби (ЛЗ), які потребують належного поводження. Крім того, до ФВ входять відходи фармацевтичного виробництва, що у тому числі, також можуть містити ЛЗ. Зважаючи на зазначене, визначальною характеристикою ФВС є наявність у відходах ЛЗ (фармацевтичних речовин) або ж забрудненість такими скляної ємності.

Джерелами утворення та накопичення ФВС є об'єкти фармацевтичної галузі, медичних та лікувально-профілактичних установ, аптеки та аптечні мережі, ветеринарні установи, населення, науково-дослідні установи і лабораторії. Збір та утилізація відходів здійснюється суб'єктами господарської діяльності, які мають на це відповідну ліцензію.

Медичне скло є матеріалом, на виробництво якого витрачаються мінеральні ресурси (особливо чисті піски, каолін, вапняк та ін.), а відходи скла традиційно використовуються як вторинні матеріальні ресурси. Враховуючи зазначене, важливим є забезпечення умов для найбільш ефективних та екологічних технологій утилізації медичного скла. Переробка ФВС, які не забруднені фармацевтичними речовинами, попереджає надходження у довкілля шкідливих викидів та скидів та сприяє технологічній оптимізації ведення процесу.

Особливістю ФВС є те, що негативна дія відходів на довкілля має комбінований ефект. Узагальнена характеристика негативної дії відходів приведена на рис. 1.

Аналіз наведених характеристик показує, що ФР у найбільшій мірі загрожують здоров'ю та екологічній безпеці людини, а також прямо чи опосередковано негативно впливають на усі елементи довкілля. Самий несприятливий ефект відзначається при надходженні ФР у природні води. При цьому рідинні форми ЛЗ, що містяться у ФВС, виступають основними джерелами такого забруднення.

З урахуванням зазначеного, з екологічної точки зору спосіб очистки відходів від ФР повинен забезпечувати знешкодження рідинних ЛЗ до безпечних для довкілля мінеральних речовин.

Сучасні мембранні технології очищення такі, як нано- та ультрафільтрація, зворотний осмос не можуть бути широко рекомендовані для очищення ФВС від фармацевтичних речовин. Це, в першу чергу, пов'язується з обміненням відходів, що може мати місце при контакті з хворими. Електрохімічні просунуті окислювані процеси вважаються одними з найефективніших для видалення стійких органічних забруднювачів, а також фармацевтичних речовин [22]. До них відносяться анодне окислення, електро-Фентон і фотоелектро-Фентон процеси. При цьому анодне окислення є більш раціональним у порівнянні з іншими методами, так як не потребує додаткових хімічних реагентів, забезпечення катода киснем та додаткового обладнання.

Таким чином, для знешкодження вилучених з ФВС фармацевтичних речовин є доцільним використання електрохімічної деструкції (анодного окислення). Анодне окислення дозволяє мінералізувати органічні речовини, а значить, знизити негативну дію фармацевтичних речовин на довкілля.

5.2. Спосіб електрохімічної деструкції фармацевтичних речовин, що містяться у фармацевтичних відходах зі скла

Дослідження проводились з найбільш поширеними у лікувальній практиці препаратами: диклофенаком, бета-естрадіолом, фурасімідом, атенололом, цефуроксимом та їх сумішшю. Диклофенак та бета-естрадіол відносяться до пріоритетних фармацевтичних речовин, які входять до списку пріоритетних речовин, що використовуються при здійсненні моніторингу водних об'єктів в ЄС та рекомендовані для цього Європейською комісією з Водної Рамкової Директиви (№ 2000/60/ЄС).

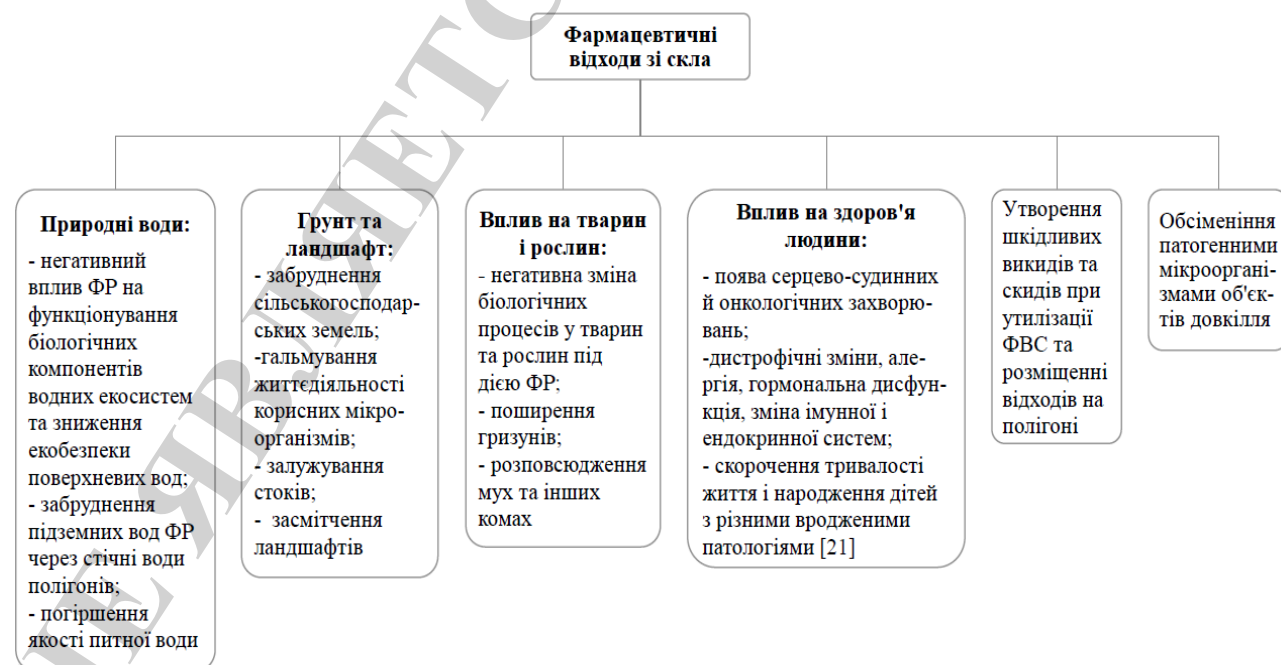


Рис. 1. Складові негативної дії ФВС на елементи довкілля та здоров'я людини

Концентрація ФР у розчинах обмежувалась значенням 0,375 мг/л. Показник рН усіх підготовлених розчинів складав 6,65–7,25. Температура розчину – 25 °С. Для зменшення споживання електричної енергії і збільшення електропровідності розчину, який містив фармацевтичну речовину або суміш фармацевтичних речовин, в нього додавали NaCl або Na₂SO₄ (300–1000 мг/л).

Процес проходив з використанням електродів: стрижневого графітового катода і дротяного платинового аноду (Pt), а також пластинчастого катода з високолегованої сталі і решітчастого аноду ОРТА (оксидно-рутенієво-титановий анод).

Визначено, що у розчині, який містив Na₂SO₄, деструкція фармацевтичних речовин протікала з меншою ефективністю, ніж у розчині, який містив 500 мг/л NaCl. Враховуючи цей факт, подальші дослідження проводились у цьому середовищі.

У табл. 1 наведені сумарні дані щодо режимів проведення деструкції фармацевтичних речовин способом анодного окислення. У всіх розчинах початкова концентрація кожної фармацевтичної речовини становила 3 мг/л. Процес анодного окислення у розчинах з різними фармацевтичними речовинами та у суміші речовин протікав при напрузі 31,5 В. При цьому сила струму була різною.

Таблиця 1

Параметри процесу деструкції ФР способом анодного окислення

Назва ФР	Сила струму (ОРТА/Pt), А	Напруга (ОРТА/Pt), В	Тривалість процесу (ОРТА), хв	Тривалість процесу (Pt), хв
Диклофенак (ДИКЛ)	0,54/0,39	31,5	6	≤60
Бета-естрадіол (Б-ЕСТ)	0,59/0,35	31,5	1	≤6
Фуросемід (ФУРД)	0,37/0,28	31,5	1	1
Атенолол (АТЕН)	0,59/0,28	31,5	1	1
Цефуроксим (ЦЕФК)	0,48/0,15	31,5	1	≤5
Суміш (на аноді ОРТА)	0,55	31,5	10	–

Встановлено, що деструкція ФР на платиновому аноді проходить повільніше, ніж на аноді ОРТА. Зважаючи на це, подальші дослідження проводились із застосуванням аноду ОРТА.

Одержані експериментальні дані по деструкції речовин з використанням аноду ОРТА приведені на рис. 2

Ступінь деградації кожної фармацевтичної речовини була проаналізована на аналітичному обладнанні РХ-УФ та РХ-МС, а суміш п'яти речовин досліджувалась тільки на обладнанні РХ-МС, яке дозволяє проводити найбільш ефективно розділення складних сумішей.

На рис. 3, 4 приведені дані хроматографічного аналізу по визначенню наявності у розчинах після проведення електрохімічної деструкції пріоритетних речовин, що використовуються при здійсненні моніторингу водних об'єктів в ЄС (диклофенаку та бета-естрадіолу).

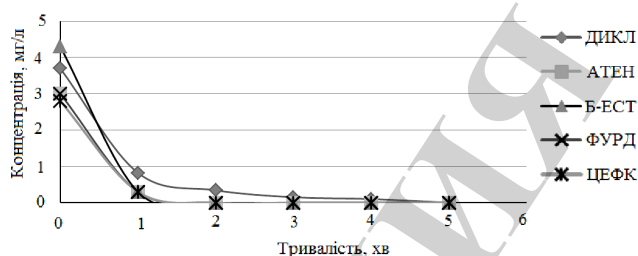


Рис. 2. Сумарний кінетичний процес деструкції ФР з використанням аноду ОРТА. Концентрація NaCl – 500 мг/л

На рис. 3 представлені хроматограми типу РХ-МС з УФ детектором препарату диклофенак. Довжина хвилі складала 254 нм. Тривалість визначення наявності препарату у пробі становила 6,77 хв.

При довжині хвилі 281 нм пік бета-естрадіолу на хроматограмі фіксувався на 5,4 хв (рис. 4).

Дані хроматографічного аналізу підтвердили розклад молекул диклофенаку та бета-естрадіолу у процесі анодної деструкції.

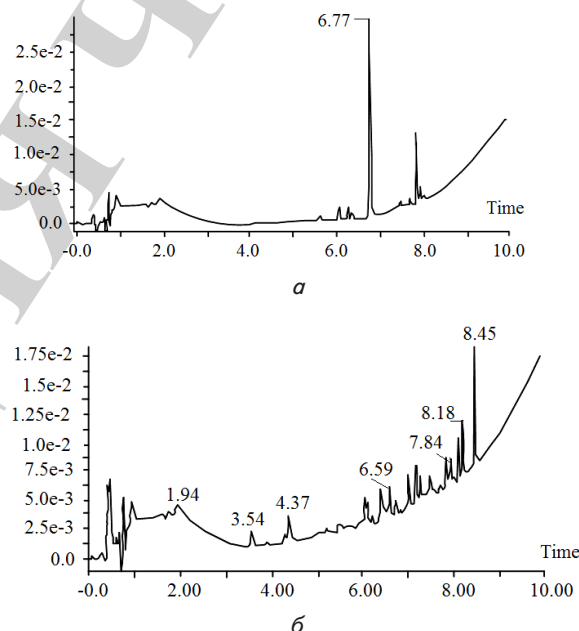


Рис. 3. Хроматограма типу РХ-МС з УФ детектором препарату диклофенак до (а) та після (б) проведення електрохімічної деструкції

На рис. 5 приведена хроматограма РХ-МС з УФ детектором суміші ФР до проведення електрохімічної деструкції. Сканування цієї суміші проводили при довжині хвилі 254 нм, яка характерна для визначення речовин з ароматичними функціональними групами. При цій довжині хвилі піки хроматограми даних речовин добре ідентифікувались, що підтверджує ароматичне походження ФР, які знаходились у суміші.

Тривалість детектування кожної фармацевтичної речовини складала (хв): атенолол – 0,78; цефуроксим – 4,02; фуросемід – 4,98; диклофенак – 6,76.

Деструкцію суміші цих пріоритетних ФР на аноді ОРТА здійснювали протягом 10 хв, після чого вона була проаналізована на обладнанні РХ-МС при довжині хвилі 254 нм.

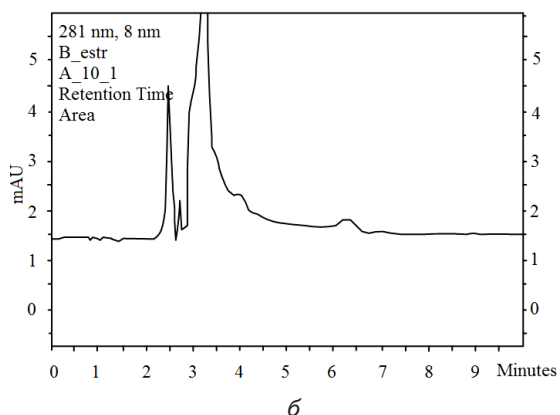
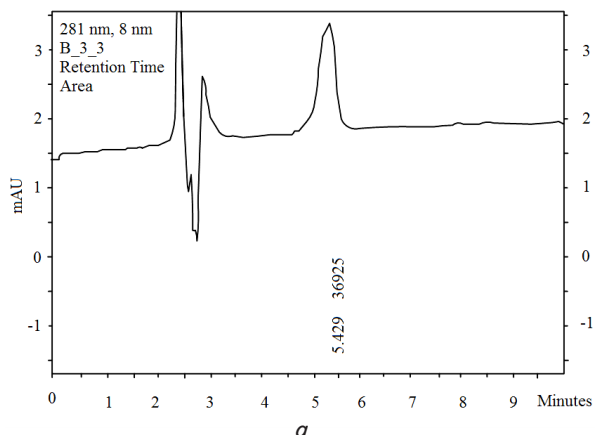


Рис. 4. Хроматограма типу РХ-УФ бета-естрадіолу до (а) та після (б) проведення деструкції

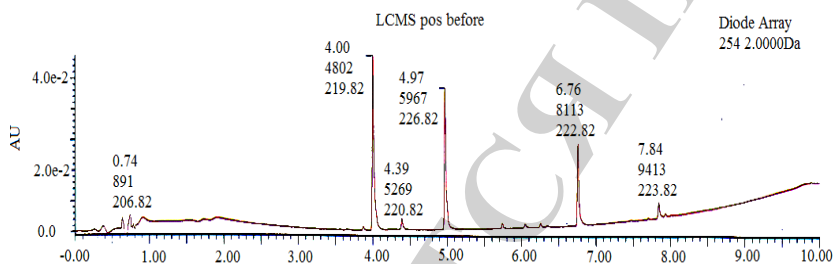


Рис. 5. Хроматограми типу РХ-МС з УФ детектором суміші до проведення деструкції

На рис. 6 представлений результат сканування суміші речовин після проведення електрохімічного окислення. Отримані дані показують, що всі п'ять фармацевтичних речовин після проведення деструкції не визначалися.

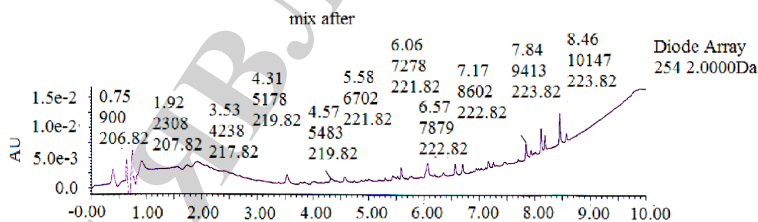


Рис. 6. Хроматограми типу РХ-МС з УФ детектором суміші після проведення деструкції

Таким чином, аналіз суміші п'яти фармацевтичних речовин, проведений на РХ-МС обладнанні, показав,

що всі фармацевтичні молекули повністю зруйнувались в процесі електрохімічної деструкції.

6. Обговорення результатів щодо імплементації способу електрохімічної деструкції фармацевтичних речовин, що містяться у ФВС

Негативний вплив ФВС на довкілля має комплексний характер і проявляється у забрудненні елементів навколишнього середовища фармацевтичними речовинами, склом та патогенною мікрофлорою. Самим масштабним та небезпечним є надходження ФР у водні об'єкти, що створює загрозу здоров'ю людини, негативно впливає на біологічні компоненти поверхневих водних екосистем і підземні води. При цьому особливу небезпеку чинять стійкі до біологічної деградації фармацевтичні речовини такі як диклофенак, бета-естрадіол та ін.

Підвищення екологічної безпеки поводження з ФВС можливе шляхом запровадження способу електрохімічної деструкції ФР (ЕДФР) на об'єктах поводження з відходами. Дослідження, проведені з використанням анодного окислення, показали повне руйнування стійких до біологічної деградації молекул диклофенаку та бета-естрадіолу у розчинах цих речовин. Причому для диклофенаку процес проходив більш ефективно (менша тривалість, вищий ступінь руйнування) у порівнянні з анодним окисленням, яке здійснювалось з використанням іншого аноду та електролітів [23].

Результати досліджень показують можливість повної мінералізації суміші речовин, що включає диклофенак, бета-естрадіол, фурасімід, атенолол, цефуроксим. Відсутність літературних даних щодо руйнування молекул ФР в умовах суміші не дозволяє провести порівняльний аналіз. Разом з тим, можливо зазначити, що параметри ведення анодного окислення ФР у суміші суттєво не відрізнялися відносно параметрів деструкції окремих ФР. Цей факт дозволяє припустити, що подібна закономірність може мати місце при деструкції інших сумішей ФР, що представляють різні фармакологічні групи.

Додатковим ефектом, який має місце при електрохімічній деструкції, є повне пригнічення розвитку біотестової культури патогенного ряду *Escherichia coli* [24].

Імплементація способу ЕДФР у практику поводження з ФВС у медичних закладах (наприклад, в умовах окремого лікувального закладу у комплексі з автономною установкою по утилізації медичних відходів), аптечних мережах та аптеках, а також у суб'єктів господарської діяльності по збору і утилізації відходів дозволить суттєво зменшити забруднення довкілля фармацевтичними речовинами.

Крім зазначеного, важливі результати можуть бути одержані і у сфері утилізації ФВС. Ці результати пов'язані з вилученням ФР з відходу і одержанням «чистого» вторинного матеріального ресурсу та включають:

– сприяння розробці і запровадженню технології утилізації медичного скла, що відзначається найбільшою природною ресурсною цінністю;

– попередження надходження ФР у продукти переробки та утилізації відходів;

– поліпшення технологічних умов проведення процесу утилізації ФВС;

– унеможливлення утворення у ході утилізації відходів викидів і скидів, які забруднені фармацевтичними речовинами або похідними таких речовин. Проведені дослідження є підґрунтям для подальших досліджень, що стосуються удосконалення поводження з ФВС. Зокрема це стосується питань менеджменту фармацевтичних відходів на об'єктах поводження з відходами; створення екологічно безпечних технологій утилізації ФВС, які мають найбільший ресурсозберігаючий ефект.

7. Висновки

1. Встановлено, що найбільший ризик для навколишнього середовища створює надходження у елементи до-

вілля фармацевтичних речовин, що містяться у ФВС. При цьому особливо поширеним та небезпечним є забруднення такими речовинами природних водних об'єктів. Зважаючи на це, пріоритетним напрямком підвищення екологічної безпеки поводження з ФВС є попередження надходження ФР від джерел утворення відходів.

2. Визначено, що підвищення екологічно безпечно поводження з ФВС може бути забезпечено імплементацією способу ЕДФР на стадії збирання та утилізації відходів. Експериментально доведено, що повна деструкція диклофенаку, бета-екстрадіолу, фурасіміду, атенололу, цефуроксиму та суміші цих речовин проходить у розчині з хлоридом натрію (500 мг/л) з використанням аноду ОРТА. Визначені оптимальні режими і умови проведення процесу анодного окислення для кожної із цих п'яти ФР та їх суміші.

3. Визначено, що процес електрохімічної деструкції ФР може супроводжуватись знезараженням розчинів фармацевтичних препаратів від бактерії *Escherichia coli*. Запровадження способу ЕДФР сприяє підвищенню якості ФВС як вторинного матеріального ресурсу та удосконаленню технологічних процесів утилізації фармацевтичних відходів.

Література

- Singleton, J. A. The global public health issue of pharmaceutical waste: what role for pharmacists? [Text] / J. A. Singleton, L. M. Nissen, N. Barter, M. McIntosh // Journal of Global Responsibility. – 2014. – Vol. 5, Issue 1. – P. 126–137. doi: 10.1108/jgr-03-2014-0009
- І знову напередодні змін. Що чекає на фармринок України у 2017 р.? [Електронний ресурс]. – XII Щорічного аналітичного форуму «Фармапогляд-2017» – Аптека. – 2017. – № 5 (1076). – Режим доступу: <http://www.apteka.ua/article/400906>
- Директива ЄС 94/62 від 20.12.1994 р. про пакування і пакувальні відходи [Текст] // Офіційний Журнал ЄС. – 1994. – № L365. – С. 0010–0023.
- Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР [Електронний ресурс]. – Kodeksy.com.ua. – Режим доступу: http://kodeksy.com.ua/pro_vidhodi.htm
- Самойленко, Н. Н. Влияние фармацевтических препаратов и их производных на окружающую среду [Текст] / Н. Н. Самойленко, И. А. Ермакович // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2014. – № 2. – С. 78–87.
- Chander, V. Pharmaceutical compounds in drinking water [Text] / V. Chander, B. Sharma, V. Negi, R. S. Aswal, P. Singh, R. Singh, R. Dobhal // Journal of Xenobiotics. – 2016. – Vol. 6, Issue 1. doi: 10.4081/xeno.2016.5774
- Vasquez, M. I. Environmental side effects of pharmaceutical cocktails: What we know and what we should know [Text] / M. I. Vasquez, A. Lambrianides, M. Schneider, K. Kümmerer, D. Fatta-Kassinos // Journal of Hazardous Materials. – 2014. – Vol. 279. – P. 169–189. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.06.069
- Ruhoy, I. S. Beyond the medicine cabinet: An analysis of where and why medications accumulate [Text] / I. S. Ruhoy, C. G. Daughton // Environment International. – 2008. – Vol. 34, Issue 8. – P. 1157–1169. doi: 10.1016/j.envint.2008.05.002
- He, Z. Pharmaceuticals pollution of aquaculture and its management in China [Text] / Z. He, X. Cheng, G. Z. Kyzas, J. Fu // Journal of Molecular Liquids. – 2016. – Vol. 223. – P. 781–789. doi: 10.1016/j.molliq.2016.09.005
- Saleh, A. Hollow fiber liquid phase microextraction as a preconcentration and clean-up step after pressurized hot water extraction for the determination of non-steroidal anti-inflammatory drugs in sewage sludge [Text] / A. Saleh, E. Larsson, Y. Yamini, J. Å. Jönsson // Journal of Chromatography A. – 2011. – Vol. 1218, Issue 10. – P. 1331–1339. doi: 10.1016/j.chroma.2011.01.011
- Sagristà, E. Determination of non-steroidal anti-inflammatory drugs in sewage sludge by direct hollow fiber supported liquid membrane extraction and liquid chromatography–mass spectrometry [Text] / E. Sagristà, E. Larsson, M. Ezoddin, M. Hidalgo, V. Salvadó, J. Å. Jönsson // Journal of Chromatography A. – 2010. – Vol. 1218, Issue 40. – P. 6153–6158. doi: 10.1016/j.chroma.2010.08.005
- Fu, H. Activated carbon adsorption of quinolone antibiotics in water: Performance, mechanism, and modeling [Text] / H. Fu, X. Li, J. Wang, P. Lin, C. Chen, X. Zhang, I. H. (Mel) Suffet // Journal of Environmental Sciences. – 2017. – Vol. 56. – P. 145–152. doi: 10.1016/j.jes.2016.09.010
- De Luna, M. D. G. Removal of sodium diclofenac from aqueous solution by adsorbents derived from cocoa pod husks [Text] / M. D. G. de Luna, Murniati, W. Budianta, K. Katrina P. Rivera, R. O. Arazo // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2017. – Vol. 5, Issue 2. – P. 1465–1474. doi: 10.1016/j.jece.2017.02.018
- Carter, L. J. Effects of soil properties on the uptake of pharmaceuticals into earthworms [Text] / L. J. Carter, J. J. Ryan, A. B. A. Boxall // Environmental Pollution. – 2016. – Vol. 213. – P. 922–931. doi: 10.1016/j.envpol.2016.03.044

15. Гуревич, П. А. Химическая коррозия стеклобоя и отходов стеклянной тары как фактор негативного влияния на окружающую среду [Текст] / П. А. Гуревич, С. М. Шавалеева, А. Н. Глебов, Л. Н. Баянова // Вестн. КТУ. – 2013. – Т. 16, № 11. – С. 60.
16. Yousefi, Z. Quantitative and qualitative characteristics of hospital waste in the city of Behshahr-2016 [Text] / Z. Yousefi, M. A. Rostami // Environmental Health Engineering and Management. – 2017. – Vol. 4, Issue 1. – P. 59–64. doi: 10.15171/chem.2017.09
17. Кобрин, В. Н. Разработка методов утилизации медико-биологических отходов [Текст] / В. Н. Кобрин, В. Ш. Ерембетов, И. Е. Хоменко // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. – 2012. – Вип. 34. – С. 134–139.
18. Можухина, Н. А. Санитарно-эпидемиологическая оценка обеззараживания медицинских отходов в стерилизаторе с интегрированным измельчителем «CELITRON» [Текст] / Н. А. Можухина, В. А. Никонов, Г. Б. Еремин, Е. А. Долгая // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2015. – Т. 10, № 1. – С. 395–396.
19. Назначение и принцип работы оборудования для утилизации медицинских отходов «БАЛТНЕР» [Электронный ресурс]. – Ekomedika. – 2017. – Режим доступа: <http://www.ekomedika.ru/e/19-ustanovka-dlya-utilizatsii-meditsinskih-othod>
20. Jiang, X. G. Fusibility of medical glass in hospital waste incineration: Effect of glass components [Text] / X. G. Jiang, C. G. An, C. Y. Li, Z. W. Fei, Y. Q. Jin, J. H. Yan // Thermochimica Acta. – 2009. – Vol. 491, Issue 1-2. – P. 39–43. doi: 10.1016/j.tca.2009.02.018
21. Національна стратегія управління відходами для України попередній проект додаток 6 Специфічні види відходів: відходи електричного та електронного обладнання [Електронний ресурс]. – К.: Consortium Resources and Waste Advisory Group Limited, UK and COWI A/S, Denmark, 2016. – Режим доступа: <http://compi.com.ua/nacionalena-strategiya-upravlinnya-vidhodami-dlya-ukrayini-pop.html?page=13>
22. Feng, L. Removal of residual anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals from aqueous systems by electrochemical advanced oxidation processes. A review [Text] / L. Feng, E. D. van Hullebusch, M. A. Rodrigo, G. Esposito, M. A. Oturan // Chemical Engineering Journal. – 2013. – Vol. 228. – P. 944–964. doi: 10.1016/j.cej.2013.05.061
23. Zhao, X. Electro-oxidation of diclofenac at boron doped diamond: Kinetics and mechanism [Text] / X. Zhao, Y. Hou, H. Liu, Z. Qiang, J. Qu // Electrochimica Acta. – 2009. – Vol. 54, Issue 17. – P. 4172–4179. doi: 10.1016/j.electacta.2009.02.059
24. Самойленко, Н. Н. Использование электрохимической деструкции для обезвреживания сточных вод лечебных учреждений [Текст] / Н. Н. Самойленко, И. А. Ермакович // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 4, № 10 (70). – С. 18–21. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26138