

УДК 004:591.5:612

О. М. Ключко, канд. біол. наук, доц.

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОЦІНОК ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ЗАБРУДНЕНЬ ПІД ЧАС МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ АЕРОПОРТІВ

Інститут аеронавігації НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Наведено теоретичне обґрунтування і можливість нового застосування деяких методів біофізики для якісної та кількісної оцінки техногенних вуглеводневих забруднень під час моніторингу екологічного стану довкілля аеропортів.

Ключові слова. Техногенне забруднення, моніторинг, довкілля, екологія, аеропорт, екобезпека.

Вступ. Останні досягнення науково-технічного прогресу постійно підказують все нові ідеї та шляхи створення новітніх технічних систем для підтримання екологічної безпеки оточуючого середовища навколо аеропортів та розробки для цього відповідних більш досконалих методів. Окрему проблему з точки зору екологічної безпеки довкола авіаційних об'єктів (АО) становлять забруднення хімічними речовинами, що потрапляють в оточуюче середовище внаслідок функціонування АО, авіаційних катастроф тощо. Дослідження показали, що в природі у довкіллі аеропортів та інших АО зареєстровано підвищений вміст сполук-забруднювачів, якісний спектр яких є надзвичайно широким і містить як неорганічні елементи та сполуки, так і органічні. Дослідженню різноманітних аспектів проблем таких забруднень присвячені численні роботи ряду авторів [1, 2, 3, 4] протягом останніх десятиріч. Проте, не дивлячись на вагомі успіхи у захисті та очищенні природного середовища навколо АО у результаті таких робіт, численні питання [1, 2, 4] ще залишаються без відповіді. Розглянуті в цій статті методики досліджень з галузі біофізики і описані результати вносять свій внесок у вирішення цих проблем, оскільки додають до традиційно застосовуваних методів досліджень техногенного забруднення новий інструментарій, що дозволяє на кілька порядків точніше та з кращою якістю реєструвати ефекти токсичної дії вуглеводнів на живі організми у зонах забруднення.

Постановка задачі. Задача даної роботи полягала у тому, щоб розробити теоретичне обґрунтування застосування деяких методів біофізики для якісної та кількісної оцінки техногенних вуглеводневих забруднень у довкіллі аеропортів, інших авіаційних об'єктів.

Основна частина. Обґрунтування необхідності дослідження проблем забруднення довкілля вуглеводневими забруднювачами. Розглянемо дані ряду джерел наукової літератури, в яких обґрунтована необхідність дослідження проблем забруднення довкілля вуглеводнями – фенолами, індолами та їх похідними [1, 2, 3, 4]. В цих роботах констатується, що в результаті функціонування аеропортів, інших авіаційних об'єктів відбувається забруднення атмосфери вуглеводнями широкого спектру хімічної будови, дослідження яких є дуже важливим внаслідок їх шкідливої та токсичної дії на живі організми. Проте на сьогоднішній дослідження механізмів дії таких сполук на організми, деталі фізіологічного впливу, моніторинг впливу їх на організми протягом тривалих відрізків часу є абсолютно недостатніми з ряду причин. Такими причинами виступають велика різноманітність подібних сполук у забруднюючих викидах, незадовільна їх хімічна ідентифікація, мінливість хімічної структури таких сполук у часі внаслідок продовження хімічних перетворень їх у навколишньому середовищі, інших.

Вуглеводні – основний компонент рідких і газоподібних палив. В оглянутих автором наукових працях щодо вуглеводнів та їх шкідливого та токсичного впливу на живі організми відзначається наступне. Авіаційні палива (бензин, гас) відрізняються між собою вмістом парафінових, нафтових та ароматичних вуглеводнів [1, 2, 4]. У стічних водах виробничих дільниць аеропортів та інших авіапідприємств містяться бензол, нафтопродукти, що спричиняють шкідливий вплив на організми обслуговуючого персоналу цих підприємств та населення у їх околі, особливо виділяють смугу, шириною 10 км що оточує АО як таку, що має підвищені ризики для здоров'я населення, що там проживає [1]. Вуглеводні є джерелами забруднень навколишнього природного середовища (НПС) канцерогенними речовинами, до

найбільш сильних із них відносяться поліциклічні вуглеводні, а також ароматичні аміни, які є продуктами викидів не лише авіаційної промисловості та функціонування авіаційних об'єктів, але і об'єктів хімічної та нафтохімічної промисловості [1]. Вуглеводні також містяться у паливах транспортних засобів, кількість яких все зростає у мегаполісах, а відповідно, і зростає ризик збільшення кількості пов'язаних захворювань серед населення міст України [1].

Забруднення нафтопродуктами стічних вод, є особливо характерним для аеропортів, проте молекулярні механізми дії цих вуглеводнів ще практично не досліджений [1]. В той же час відомо, що нафта і нафтопродукти, наносять водоймам особливу шкоду, фізіологічний токсичний вплив їх на живі організми широко відомий [1, 2, 4]. У своїх роботах автор досліджувала саме дію похідних таких вуглеводнів, що входять до складу вищеназваних забруднювачів. А саме – досліджено дію на організм ароматичних вуглеводнів, похідних фенолу та індолу у сполуках із вуглеводневими радикалами різної довжини та будови. Показано, що досліджені автором молекулярні механізми дії є загальними для широкого класу подібних сполук. Крім того, показана відмінність у властивостях дії токсичних речовин у залежності від довжини поліамінового радикалу.

Крім того, найбільш поширеними з продуктів переробки камяного вугілля є інден-кумарові смоли, що містять хімічні сполуки з подібною будовою молекул (рис. 1). Інден-кумарові смоли – це продукти полімеризації неграничних сполук ксилольної фракції ($T_{\text{кип}}=160^{\circ}\text{--}180^{\circ}\text{C}$): кумарону, індену, стиролу та їх гомологів (рис. 1). Ці смоли вико-ристовують для підвищення клейкості гумових сумішей. Немає принципової різниці між низькомолекулярними сполуками такого типу та їх високомолекулярними полімерами [3].

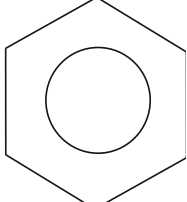
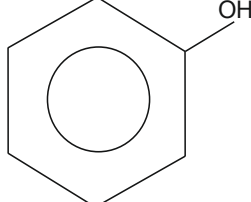
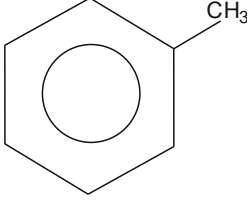
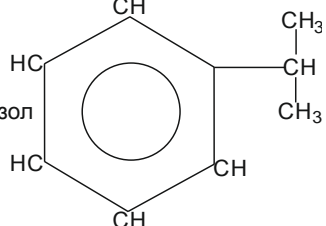
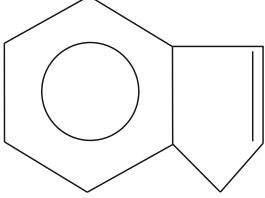
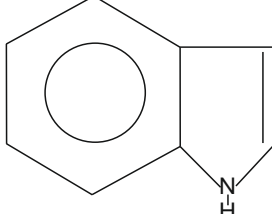
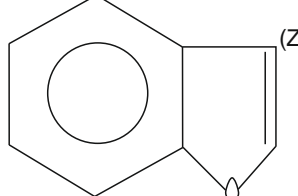
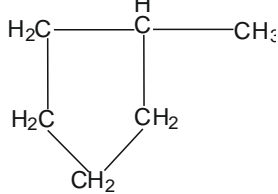
Хімічні формули досліджуваних речовин та їх екотоксичний ефект. У [3] та інших численних джерелах, підручниках з органічної хімії, наведені формули забруднювачів, про які йшла мова у попередньому підрозділі (рис. 1). Речовини, досліджувані в роботах автора, відносяться до рядів похідних вищеназваних забруднювачів (рис. 1, групи 2, 3, 4), а тому вивчення механізмів їх дії є актуальним з точки зору досліджень впливів техногенного забруднення від авіаційних об'єктів. Показано, що нафта є сумішшю близько 1000 індивідуальних речовин, у тому числі циклопарафінів (циклопентан та інші), ізопропілбензолу, та ще ряду хімічно ідентифікованих вуглеводнів [3]. Ряд із них присутні також у хімічних продуктах, що застосовуються в авіації, і їх пошкоджуючий вплив є результатом сумарної дії цих вуглеводнів.

Що стосується дослідження дії досліджених автором речовин з вираженим екотоксичним ефектом (рис. 1, групи 2, 3, 4), то необхідно зазначити наступне. Згідно роботи [1] феноли та їх похідні спричиняють на організм виражену токсичну дію. є небезпечними для здоров'я населення. Однак вплив фенолу та його похідних на живі організми вивчено ще недостатньо. Щодо дії фенолів, їх похідних на біоорганізми відомо найменше, у порівнянні з іншими забруднювачами довкілля, що робить виконану автором роботу особливо актуальною [1]. Необхідно зазначити, що більшість вуглеводнів мають виражену токсичну дію. В більш важких випадках ураження організму мають місце клінічні судоми, послаблення дихання, порушення з боку серцево-судинної системи [1].

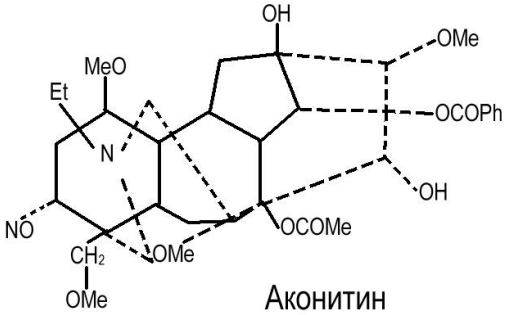
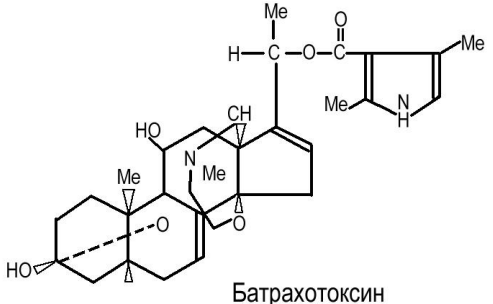
У роботах автора, опублікованих раніше з результатами досліджень дії вуглеводнів груп 3, 4 (рис. 1) на трансмембранні глутамат- та кайнатактивовані електричні струми гіпокампу щура [8, 9] наведено оригінальні експериментальні дані, що пояснюють цю симптоматику, яка раніше була описана на рівні організму. Новизна робіт автора полягає у тому, що було продемонстровано глибинні молекулярні механізми, закономірності впливів токсичних речовин, тобто ті мікромеханізми, що лежать в основі макроефектів на рівні організму. Таким чином, було підведено теоретичне підґрунтя для пояснення зареєстрованих іншими авторами ефектів дії вуглеводневих токсичних речовин на більш високому системному щабелі - рівні організму.

Хімічна будова деяких досліджених забруднювачів довкілля АО (група 1), шкідливих та токсичних органічних речовин (групи 2, 3, 4), похідних фенолу та індолу, сполучених з радикалами різної довжини та складності наведена на рис. 1 (пояснення в тексті)

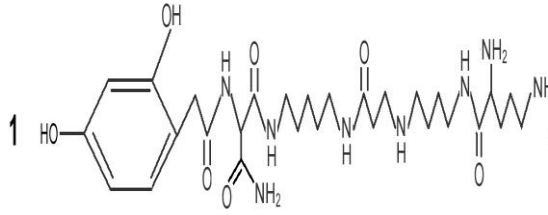
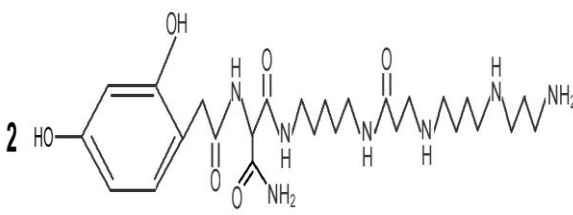
Група 1. Забруднювачі довкілля – бензол, фенол, індол та їх похідні, сполучені з радикалами найпростішої будови

<p>Бензол</p> 	<p>Фенол</p> 
<p>Толуол</p> 	<p>Ізопропілбензол</p> 
<p>Інден</p> 	<p>Індол</p> 
<p>Кумарон</p> 	<p>(циклопарафіни) циклопентан</p> 

Група 2. Речовини – похідні фенолу та індолу складнішої будови, дія яких на біофізичні властивості нейронів детально досліджена у ряді попередніх робіт [6, 7, інші].

 <p>Аконитин</p>	 <p>Батрахотоксин</p>
---	---

Група 3. Токсичні речовини – похідні фенолу з довгими розгалудженими поліаміновими радикалами, блокатори трансмембранних електричних хемокерованих струмів через рецептори глутамата (гКРК)

<p>1</p>  <p>JSTX-3</p>	<p>2</p>  <p>NSTX-3</p>
--	---

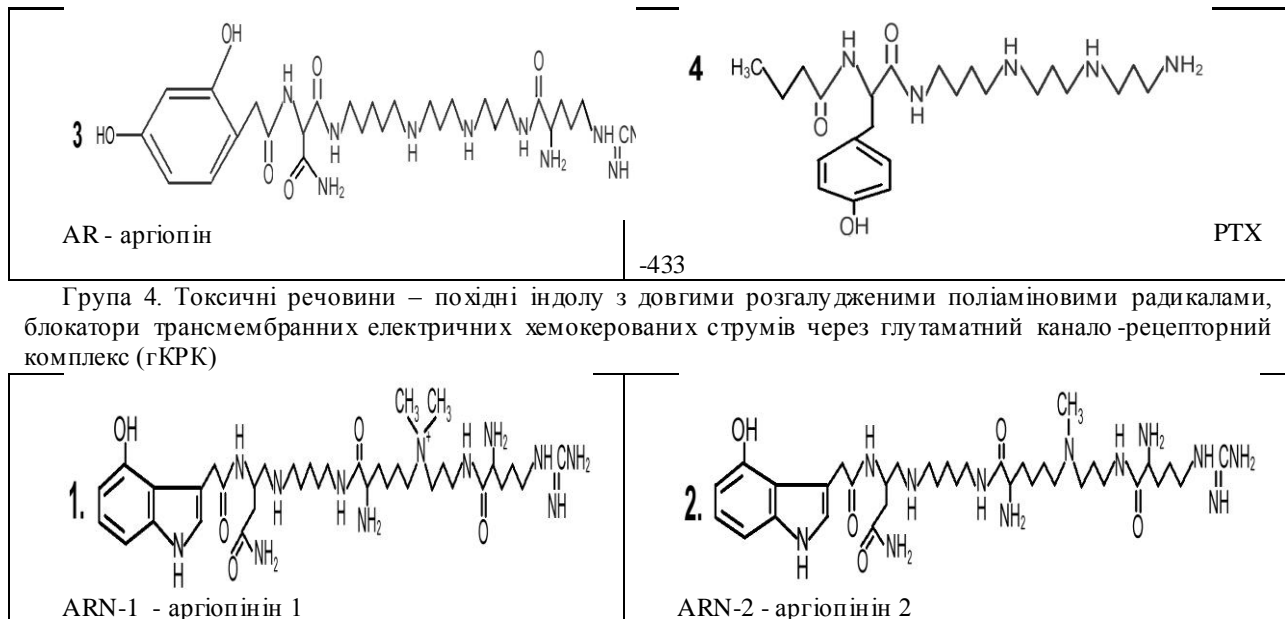


Рис. 1. Деякі речовини вуглеводневої природи, що досліджені (або можуть бути досліджені) експериментально щодо їх впливу на трансмембранні електричні струми (детальне пояснення в тексті).

Деякі методи біофізики, що можуть бути застосовані для аналітичного дослідження вуглеводневого забруднення у довкіллі АО. На сьогодні стало зрозумілим, що деякі із дослідницьких методів, що були традиційно розвинуті у галузі біофізики можна з успіхом застосовувати для досліджень пошкоджуючої та токсичної дії речовин-забруднювачів довкілля АО. Численні експериментальні та теоретичні аргументи на підтвердження цього можна знайти у роботах [5 – 9] та інших. У іншій нашій публікації на цю тему (Ключко О. М. «Застосування методів біофізики при розробці нової системи моніторингу екологічного стану довкілля аеропортів», друк.) мова вже йшла про можливість застосування таких методів, як внутрішньоклітинна перфузія, фіксація потенціалу та концентрації на мембрані нейрона, побіжно згадувався метод петч-кламп [5, 6]. В даній публікації ми детальніше зупинимося на описанні методу петч-кламп [7], що дозволяє виконати аналіз впливу речовин-забруднювачів екології довкілля на кілька порядків з більш високою точністю ніж натепер, що є сильною аргументацією за застосування цього методу для нашої мети – краще дослідити та зрозуміти механізми токсичного впливу органічних вуглеводнів-забруднювачів довкілля.

Метод петч-кламп (реєстрація струмів на мембранах нейронів в умовах гігаомних контактів) та деякі особливості проведення експерименту. Метод петч-кламп можна розглядати, як удосконалення методів, описаних у [6], він був розроблений для реєстрації струмів через одиночні канали мембран [7]. Цей метод став можливим при досягненні більш високого технологічного рівня при проведенні експериментів з вивчення клітинних мембран, оскільки потребує спеціальне скло для виготовлення піпеток (а не пластик, як раніше) і відповідно вдосконалену схему реєстрації. При виконанні експерименту створюється більш щільний, у порівнянні із попередньо описаними експериментами, гігаомний контакт між мембраною і склом пори піпетки, при цьому стає можливим реєстрація шумів такої схеми (рис. 2). З аналізу шумів також можна отримати корисну експериментальну інформацію [7].

Експеримент петч-кламп проводиться у двох модифікаціях. *Перша* – на дослідній піпетці з електродом знаходиться фрагмент мембрани. За умови утворення гігаомного контакту при відведенні від фрагменту мембрани реєструють елементарні струми через одиночні канали. Приклади записів вихідних електричних сигналів від фрагментів мембран наведені на рис. 3. *Друга модифікація* експерименту петч-кламп виконується при утворенні гігаомного контакту між кінцем скляної мікропіпетки з електродом та цілою клітиною. Петч-піпетки можна з успіхом використовувати і для реєстрації струмів від цілої клітини, особливо коли її розміри невеликі. Після створення гігаомного контакту мембранний фрагмент під піпеткою можна зруйнувати, прикладаючи до неї короткі імпульси негативного тиску [7]. Дуже часто така маніпуляція не порушує контакту піпетки з мембраною. Такий спосіб проникнення в клітину завдає їй набагато менше ушкоджень, ніж введення стандартного мікроелектроду.

Вхідний опір невеликих клітин є великим у порівнянні з ефективним опором кінчика піпетки, тому при роботі з ними електричні вимірювання можна проводити, реєструючи сигнал від ділянки мембрани набагато більшої площі, у порівнянні з фрагментом мембрани великих клітин. Цей метод Хемілл та ін. [7] назвали методом «реєстрації від цілої клітини» (whole-cell recording), підкресливши той факт, що на відміну від різних варіантів петч-кламп реєстрації він дозволяє здійснювати реєстрацію від мембрани цілої клітини, а не від маленького мембранного фрагмента. Порівняно з іншими методиками реєстрації від цілої клітини, в яких використовуються діалізні піпетки [6], він характеризується дуже високим опором контакту піпетка – клітина (>10 ГОм), тому точніше цей метод слід було б називати «реєстрація від цілої клітини в умовах щільного контакту»; інакше його називають коротше - «реєстрація від цілої клітини» (метод РЦК, рис. 2, 3).

Після утворення конфігурації РЦК піпетку трохи припіднімають, щоб ослабити натяг, що виник при утворенні високоомного контакту. Іноді така процедура припіднімання клітини дозволяє швидко змінити розчин в експериментальній камері без погіршення стабільності реєстрації. Таким чином на поверхню мембрани можна аплікувати експериментальні розчини різного складу з наступною реєстрацією змін її електричних характеристик. При внесенні у такі розчини речовин-забруднювачів техногенного походження можна зареєструвати їх вплив на трансмембранні електричні струми з великою точністю (до пікоампер амплітуди струмів). Така можливість перетворює метод петч-кламп на надзвичайно корисний високоточний метод реєстрації наявності забруднювача з визначеними властивостями впливу на трансмембранні електричні струми.

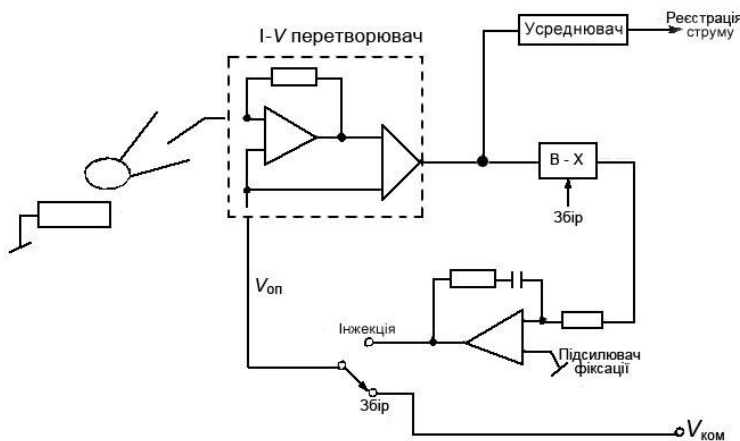


Рис. 2. Фіксація потенціалу за допомогою I-V перетворювача [7]

Реєстрацію струмів від цілої клітини можна виконувати принаймні протягом години без візуальних або електричних ознак руйнування мембрани. Якщо створені хороші умови для реєстрації сигналів від малої ділянки клітинної мембрани то електричний шум, специфічний для високоомного контакту між склом реєстраційної піпетки та мембранним фрагментом стає настільки незначним, що стає можливим зареєструвати переміщення навіть кількох

сотень елементарних електричних зарядів. Для цих експериментів необхідно створювати таку апаратуру, щоб її власні шуми не перевищували цієї природної межі.

Усреднююче коло згладжує перехідні процеси комутації для струму, що вимірюється. Коло «вибірка - зберігання» (В-Х) вимірює струм похибки, який протікає при фіксації на піпетці командного потенціалу

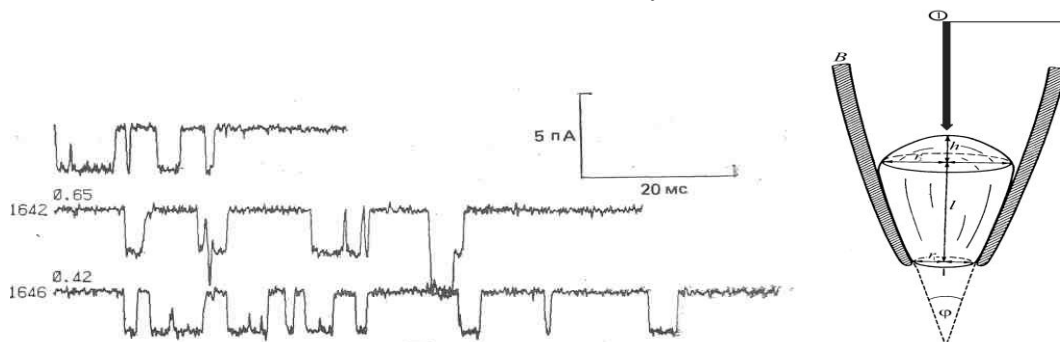


Рис. 3. Зліва: запис експериментально отриманих шумів трансмембранних електричних струмів. Справа: реєстраційний електрод – скляна піпетка з порою, на яку в експерименті вмщують нейрон або фрагмент його мембрани [7]

Висновки. Вирішення проблем екобезпеки в сучасну епоху інтенсивного розвитку авіації, коли відбуваються десятки тисяч рейсів щодня, за допомогою новітніх технологій (нанотехнологій, ІТ, інших), стає можливим і більш ефективним завдяки останнім досягненням науково-технічного прогресу в цих галузях і автор пропонує наведені шляхи такого вирішення. Основні досягнення робіт, виконаних автором для вирішення сформульованих проблем моніторингу стану екології довкілля аеропортів є наступними.

1. Розробка теоретичних основ застосування методів, розроблених раніше для галузі біофізики з метою їх використання для більш високоточної реєстрації наявності речовин-органічних забруднювачів у довкіллі аеропортів, інших АО.

2. Для моніторингу екологічного стану довкілля аеропортів у систему моніторингу автор пропонує ввести ряд структурних елементів та методик, розроблених на основі аналогів з галузі біофізики. Так, у якості підсистеми вимірювання параметрів кількості та якості забруднюючих речовин у довкіллі аеропортів запропоновано застосувати метод петч-кламп – метод для високоточної реєстрації впливу молекул речовин-забруднювачів на шуми електричних трансмембранних струмів.

3. В даній публікації автор детально коротко зупиняється на описанні методу петч-кламп, що дозволяє виконати аналіз впливу речовин-забруднювачів екології довкілля техногенного походження на кілька порядків з більш високою точністю ніж натеper (до пікоампер амплітуди трансмембранних електричних струмів) при внесенні цих речовин у експериментальні розчини за методом петч-кламп. Це є сильною аргументацією за застосування цього методу для досягнення мети – краще дослідити та зрозуміти механізми токсичного впливу органічних вуглеводнів-забруднювачів довкілля. Така можливість перетворює метод петч-кламп на надзвичайно корисний високоточний метод реєстрації наявності забруднювача з визначеними властивостями впливу на трансмембранні електричні струми.

4. Новизна робіт автора полягає у тому, що було продемонстровано глибинні молекулярні механізми, а також важливі закономірності впливів токсичних речовин, тобто ті мікромеханізми, що лежать в основі макроефектів на рівні організму. Було підведено теоретичне підґрунтя для пояснення зареєстрованих іншими авторами ефектів дії вуглеводневих токсичних речовин на більш високому системному шабелі – на рівні організму.

5. Результати, отримані автором, можуть бути застосовані для підвищення безпеки персоналу, що працює в аеропортах, авіаційних підприємствах, на підприємствах з видобутку або переробки камяного вугілля, паливно-енергетичного комплексу, тощо.

Список літератури

1. Франчук Г. М. / Екологія, авіація і космос. Франчук Г. М., Ісаєнко В. М. – К: НАУ, 2005- 456с.
2. Ісаєнко В. М. / Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Ісаєнко В. М., Лисиченко Г. В., Дудар Т. В., Франчук Г. М., Варламов Є. М. – К: «НАУ-друк», 2009. – 312 с.
3. Масленнікова Л. Д. / Фізико-хімія полімерів. Масленнікова Л. Д., Іванов С. В., Фабуляк Ф. Г., Грушак З. В. - К: «НАУ-друк», 2009. – 312 с.
4. Франчук Г. М. / Урбоекологія і техноекоекологія. Франчук Г. М., Запорожець О. А., Архіпова Г. І. – К: «НАУ-друк», 2011.- 496 с.
5. Ключко О. М. Інформаційно-комп'ютерні технології в біології та медицині (монографія) / О. М. Ключко. – К. : Вид-во НАУ. – 2008. – 252 с.
6. Костюк П. Г. Механизмы электрической возбудимости нервной клетки / П. Г. Костюк, О. А. Крышталь. – М.: Наука, 1981. – 204 с.
7. Сигворс Ф. Регистрация одиночных каналов / Сигворс Ф., Сакман Б., Неер Э. – М.: Мир, 1987. – 448 с
8. *Pharmacological properties of amino – acid receptors in isolated hippocampal neurons* / [Krishtal O., Kiskin N., Tsyndrenko A., Klyuchko E.] // "Walter de Gruyter" – Berlin (Germany), Receptors and ion channels. – 1987. – P. 127 – 137.
9. *Akaike N. Spider toxin blocks excitatory amino-acid responses in isolated hippocampal pyramidal neurons* / Akaike N., Kawai N., Kiskin N. I., Klyuchko E. M., Krishtal O.A., Tsyndrenko A. Ya. // *Neuroscience Letters*. – 1987. – V. 79. – P. 127 – 137.