

Шифр: Метилмеркурій

**«Теоретичні передумови використання УФ-ламп
для вилучення ртуті та метилмеркурію з води водосховищ»**

ЗМІСТ

Анотація	3
Вступ	5
1. Загальні відомості про Меркурій і практичне використання його сполук та ртуті	7
2. Джерела надходження ртуті та сполук Меркурію до навколишнього середовища України	10
3. Біогеохімічний цикл ртуті та сполук Меркурію	17
4. Вплив ртуті та метилмеркурію на організм людини	21
5. Шляхи вилучення сполук Меркурію з об'єктів навколишнього Середовища	24
6. Спосіб використання УФ-ламп для вилучення ртуті та метилмеркурію з природних водних об'єктів	27
Висновки	30
Список літератури	31

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. Проблема забруднення навколишнього середовища ртуттю та її сполуками не нова. Отруйні властивості парів ртуті були відомі досить давно. А токсині властивості метилмеркурію привернули увагу всього людства з 50-х років минулого століття подіями в затоці Мінамата. Потім були події в Іраку з протруєним зерном та інші антропогенні екологічні катастрофи.

Проте до сьогоднішнього дня не існує ефективних технологій вилучення метилмеркурію з водного середовища, де він утворюється за участю мікроорганізмів, проникає крізь мембрани клітин в силу ліофільності, акумулюється і біомагніфікується. Разом з продуктами харчування, в основному це риба, молюски та ракоподібні, потрапляє до організму людини та чинить нейротоксичний вплив на дорослих та особливо дітей у пренатальний період їх розвитку.

Мета. Один з метаболітів у докільці, а саме метилмеркурій негативно впливає на когнітивні властивості дітей, матері яких під час вагітності вживали продукти, що містили цей нейротоксин. А тому метою даної роботи є пошук, поки що теоретичних, шляхів вилучення метилмеркурію з водного природного середовища, де рано чи пізно опиняється вся ртуть і привернення уваги науковців для практичної перевірки даної методики.

Завдання. Для досягнення мети були поставлені такі завдання: ознайомитися з фізико-хімічними властивостями ртуті та сполук Меркурію; вивчити галузі практичного використання ртуті та сполук Меркурію; встановити природні та антропогенні джерела надходження сполук Меркурію до навколишнього середовища на території України; ознайомитися з особливостями біогеохімічного колообігу Меркурію та особливостей його трансформації у водному середовищі; визначити токсичну дію метилмеркурію на живі організми і особливості його впливу на пренатальний період розвитку організму людини;

висвітлити основні методики вилучення сполук Меркурію з об'єктів довкілля та технологічних процесів; з'ясувати шляхи надходження Метилмеркурію до організму мешканців України; запропонувати технологію використання УФ-ламп для вилучення метилмеркурію з води водосховища.

Методи дослідження. В ході виконання роботи використовували структурно-генетичний аналіз і синтез наукової вітчизняної і зарубіжної літератури теоретичного і прикладного характеру, методи дедукції, порівняння та гіпотетичний підхід, який вимагає в подальшому емпіричного підтвердження.

Робота містить інформацію про загальну характеристику ртуті та сполук Меркурію, їх практичне використання, джерела природного та антропогенного надходження у навколишнє середовище; біогеохімічні шляхи їх перетворення у середовищі; токсичну дію на людину та живі організми; методи вилучення з водних об'єктів, які на сьогодні або вже використовуються, або активно тестуються. Пропонується спосіб розкладання метилмеркурію за допомогою УФ-ламп у воді, з подальшою утилізацією ртуті.

Вступ

Актуальність теми. Проблема забруднення навколишнього середовища ртуттю та її сполуками не нова. Отруйні властивості парів ртуті були відомі досить давно. А токсині властивості метилмеркурію привернули увагу всього людства з 50-х років минулого століття подіями в затоці Мінамата. Потім були події в Іраку з протруєним зерном та інші антропогенні екологічні катастрофи [60].

Проте до сьогоднішнього дня не існує ефективних технологій вилучення метилмеркурію з водного середовища, де він утворюється за участю мікроорганізмів, проникає крізь мембрани клітин в силу ліофільності, акумулюється і біомагніфікується [6, 23]. Разом з продуктами харчування, в основному це риба, молюски та ракоподібні, потрапляє до організму людини та чинить нейротоксичний вплив на дорослих та особливо дітей у пренатальний період їх розвитку [41].

Мета. Один з метаболітів у довкіллі, а саме метилмеркурій негативно впливає на когнітивні властивості дітей, матері яких під час вагітності вживали продукти, що містили цей нейротоксин. А тому метою даної роботи є пошук, поки що теоретичних, шляхів вилучення метилмеркурію з водного природного середовища, де рано чи пізно опиняється вся ртуть і привернення уваги науковців для перевірки даної методики.

Завдання. Для досягнення мети були поставлені такі завдання: ознайомитися з фізико-хімічними властивостями ртуті та сполук Меркурію; вивчити галузі практичного використання ртуті та сполук Меркурію; встановити природні та антропогенні джерела надходження сполук Меркурію до навколишнього середовища на території України; ознайомитися з особливостями біогеохімічного колообігу Меркурію та особливостей його трансформації у водному середовищі; визначити токсичну дію метилмеркурію на живі організми і особливості його впливу на пренатальний період розвитку організму людини;

висвітлити основні методики вилучення сполук Меркурію з об'єктів довкілля та технологічних процесів; з'ясувати шляхи надходження Метилмеркурію до організму мешканців України; запропонувати технологію використання УФ-ламп для вилучення метилмеркурію з води водосховища.

Методи дослідження. В ході виконання роботи використовували структурно-генетичний аналіз і синтез наукової вітчизняної і зарубіжної літератури теоретичного і прикладного характеру, методи дедукції, порівняння та гіпотетичний підхід, який вимагає в подальшому емпіричного підтвердження.

1. Загальні відомості про Меркурій і практичне використання його сполук та ртуті

Меркурій (Hg) - хімічний елемент порядковий номер 80, 6 періоду, другої групи побічної підгрупи. Символ елемента Hg походить від латинізованої назви Hydragerium грецького слова «вода-срібло», що походить від зовнішнього вигляду простої речовини ртуті, яку утворена атомами Меркурію. Елемент був названий в честь римського бога Меркурія, відомого своєю швидкістю та рухливістю. Він пов'язаний з планетою Меркурій, астрологічний символ планети також є одним із алхімічних символів металу.

Ртуть - єдиний елементарний метал, який знаходиться в рідкому стані за кімнатної температури. Це метал сріблясто-білого кольору, повільно тьмяніє на вологому повітрі, замерзає ($-38,87^{\circ}\text{C}$) в пластичну тверду речовину, таку як і олово або свинець. Температура кипіння становить $356,9^{\circ}\text{C}$.

Меркурій присутній в земній корі в середньому в кількості близько 0,08 грама на тону породи, відноситься до розсіяних елементів. Відомо 20 мінералів ртуті, але промислове значення мають кіновар HgS (86,2 %), метацинабарит HgS (86,2 %), ртуть самородна Hg, блякла руда - шватцит $(\text{Hg,Cu})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ (17%), лівінгстоніт HgSb_4S_7 (22%), кордероїт $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$

(82%) і каломель Hg_2Cl_2 (85 %), а також тиманіт (HgSe), колорадоїт (HgTe) і ін [60].

Виявлено також надзвичайно рідкісні природні сплави ртуті: мошелландсбергіт (з сріблом), потаро (з паладієм) і амальгама золота [15].

Сполуки Меркурію можуть мати ступені окиснення або +1 або +2, двохвалентні сполуки більш поширені та стійкіші.

Хімічні властивості Меркурію та здатність існувати у вільному стані пояснюється особливостями його електронної конфігурації, яка подібна до електронних оболонок інертних газів (див. табл.2).

Таблиця 2.

Порівняння електронної будови Меркурію та інертних газів

Хімічний елемент	Електронна конфігурація
Ксенон	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6$
Меркурій	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 4f^{14} 5d^{10} 6s^2$
Радон	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$

Електронна конфігурація змушує ртуть поводитися як благородний газ, наприклад ксенон. Атом Меркурію має всі спарені електрони, а тому хімічна активність металу досить низька. Як і благородні гази, Меркурій утворює відносно слабкі хімічні зв'язки з іншими елементами.

Завдяки своїм унікальним властивостям ртуть та сполуки Меркурію застосовуються в металургії, хімічній промисловості, гальванічних елементах, гальванотехніці, медицині, сільському господарстві та багатьох інших галузях (див. табл.3).

Таблиця 3.

Практичне використання ртуті та сполук Меркурію.

Характерна особливість	Галузь використання
Висока електропровідність та	1. Виготовлення герметичних перемикачів та реле. 2. Виготовлення ртутних катодів, каломельного

стійкість до корозії	електрода порівняння і ртутно-кадмієвих елементів Вестона. 3. Найзручніший та найчутливіший метод фізико-хімічного аналізу – полярографія.
Рівномірне розширення об'єму у всьому діапазоні температур і «не змочування» скла та інших матеріалів	1.Виготовлення високоточних максимальних термометрів, сплав з літієм – для виготовлення низько температурних термометрів. 2. Для дослідження пористої структури вугілля, силікагелів.
Висока густина і низький тиск пари	Виготовлення барометрів та манометрів, ртутних тонометрів.
Низька температура плавлення	Ртуть є робочим тілом для важко навантажених гідродинамічних підшипників
Погана теплопровідність та висока здатність до нейтронного та іонного захоплення	1.Захист від швидких протонів та охолоджуюча речовина в ядерних реакторах. 2. Виготовлення лінійних годинників для точної радіонавігації в реальному часі в глибокому космосі. 3. Каталізатор у хімічному виробництві.
Здатність розчиняти інші метали (утворювати амальгами) крім заліза	1.Добування золота і срібла. 2.В процесі виробництва хлору і каустичної соди (розчиняє натрій, що утворюється). 3. В стоматології для виготовлення срібних пломб. 4. Ртуть не допускається до використання в літаках, щоб не викликати корозії алюмінієвих конструкцій. 5. Залізо використовують для виготовлення контейнерів для транспортування ртуті.
Здатність до комплексоутворення	У хімічній промисловості ртуть застосовують для кількісного визначення аміаку і як каталізатор при промисловому отриманні ацетилену і ацетальдегіду.
Здатність атомів ртуті до люмінесценції	1.Виготовлення люмінесцентних і ультрафіолетових кварцових ламп. 2.Оптична спектроскопія
Антисептичні властивості сполук Меркурію (тіомерсал, каломель)	1. Консервація багатодозних флаконів з вакцинами. 2. Антисептик для обробки медичного обладнання. 3. Виготовлення пестицидів. 4. Виготовлення чорнил для татуювань. 5. Виготовлення розчинів для контактних лінз. 6. Виготовлення косметичних засобів (туші для вій та кремів). 7.Проносний і сечогінний засіб. 8.Захист деревини від гниття.

	9.В давні часи для лікування сифілісу.
Висока здатність відбивати світло	Виготовлення рідких дзеркал для телескопів в 100 разів дешевших від звичайних.
Низький тиск насичених парів ртуті	У вакуумній техніці. Ртутний дифузійний насос незамінний для створення глибокого вакууму (10-13 мм рт. ст.). Він застосовується в мас-спектрометрах, прискорювачах частинок, установках, які використовують фотоемісію або імітують умови космічного вакууму.
У сплавах з цезієм	Виготовлення ртутних іонних електростатичних двигунів у космосі
Здатність вибухати – «гримуча ртуть» $\text{Hg}(\text{ONC})_2$	Виготовлення ініціюючих вибухових речовин у капсулях-детонаторах і капсулях-запальниках.
Меркурій(I) йодид	Напівпровідниковий детектор радіоактивного випромінювання
Меркурій(I) бромід	Атомно-воднева енергетика для отримання водню.
Яскраво червоне забарвлення кіноварі	1.У якості мінеральної фарби для станкового живопису для розпису ікон та фресок. 2. Кольоровий барвник для гуми та пластмаси

До 2016 року вважалось, що роль надто токсичного елемента як учасника біогенних процесів відсутня, доки не було описано групу мікроорганізмів, називаються фіолетовими несірчаними бактеріями, які можуть як толерувати присутність ртуті, так і використовувати іони Меркурію як акцептор електронів для процесів фотосинтезу [51].

Дослідники показали, що фіолетові несірчані бактерії ростуть краще, коли Меркурій знаходиться в їх середовищі. Причиною є те, що бактерії використовують іони Меркурію, щоб прийняти ці зайві електрони, зменшуючи ступінь окиснення. В ході цього процесу іони Меркурію, що входять до складу метилмеркурію перетворюються на елементарну ртуть і випаровуються в атмосферу.

Аналізуючи галузі застосування ртуті та сполук Меркурію, напрашується висновок, що від деяких напрямків використання можна відмовитися уже зараз,

від деяких – у недалекому майбутньому, а з деякими – розпрощатися не вдасться, а можуть виникнути ще більш специфічні галузі застосування ртуті та Меркурію.

2. Джерела надходження ртуті та сполук Меркурію до навколишнього середовища України

Джерела надходження ртуті та сполук Меркурію традиційно поділяють на природні та антропогенні. Однак, за даними деяких авторів їх частка неоднакова, і антропогенна на сьогодні складає від 50-70 % і навіть 75% [34].

До природних джерел відносять продукти вивітрювання гірських порід, земна та підводна вулканічна діяльність [14]. Крім того до природних джерел відносять ртутні та меркурійвмісні родовища, газовиділення з надр землі, а також випаровування з природних водойм [13].

У земній корі Меркурій міститься в незначній кількості і становить 0,45 мг/кг, що дозволяє віднести його до, так званих, рідкісних елементів [60].

Дегазація мантиї і земної кори - глобальний ендегенний джерело ртуті. Екзогенні джерела - вимивання і випаровування з меркурійвмісних родовищ і природних вододжерел [10].

Багато зарубіжних вчених оцінюють щорічну емісію Меркурію в 6000 т природного надходження і 2600 т антропогенного [46,57].

Основні запаси ртуті в Україні сконцентровані в Донецькій ртутній провінції і частково (бл. 1%) – у Вишківському рудному полі Закарпаття. Є розвідані запаси руди і у Криму (Гірський Крим та Керченський півострів). Державним балансом запасів корисних копалин України враховується 11 родовищ ртуті. Сумарні запаси балансових руд за станом на 01.01.1998 р. складають близько 19200 тис. т, ртуті – понад 24000 т. [60] (див. рис.1).

Низька якість залишкових ртутних руд Микитівського родовища (0,123%), невеликі потреби України у ртуті (15,5 т у 1995 р.), високо затратне виробництво

обумовили недоцільність подальшої розробки ртутних руд і роботи Микитівського комбінату.



Рис. 2.1. Найбільші родовища ртуті України

З 1995 року видобувні роботи припинено. Комбінат продовжував свою роботу як підприємство з переробки вторинної сировини та меркурійвмісних відходів. На разі перебуває на окупованій території[60].

Антропогенні чинники надходження ртуті та її сполук до природного середовища, в основному, пов'язані з виробничою діяльністю, а найбільшими джерелами є: спалювання вугілля, добування золота, виробництво цементу, кольорова та чорна металургія, спалювання та переробка побутового сміття, виробництво соди та хлору, елементи живлення (батареї), люмінесцентні лампи, лабораторне обладнання тощо (див.рис 2).

На думку багатьох дослідників [5,21,56], одним з істотних джерел надходження сполук ртуті в атмосферу є продукти переробки вугілля і нафти.

Зокрема кам'яне вугілля Донецького басейну України містять суттєві кількості Меркурію. В залежності від марки вугілля та особливостей вугленакопичення її вміст варіює від 200 до 350 мг/кг [4].

Теплові електростанції, що працюють на кам'яному вугіллі, сміттєспалювальні печі та електрохімічні підприємства є основними забруднювачами атмосферного повітря Меркурієм [5,22,58].



Рис. 2.2 Вклад галузей промисловості світового господарства в емісію Меркурію у навколишнє середовище.

Якщо врахувати, що з 18 ТЕС України 15 працюють виключно на вугіллі, і всі розташовані в густо населених пунктах, то очевидно, що ртуть розпорозується на великі території і включається до біогеохімічного колообігу (рис. 2.3).

Станом на 22 лютого 2011 р. Старобешівська ТЕС входила до десяти об'єктів, які є найбільшими забруднювачами навколишнього природного середовища в Україні [60].

У шламах коксохімічних підприємств кількість ртуті сягає 1,12–1,18 мг/кг, а в золі та шлаках теплових електростанцій – від 0,17 до 1,55 мг/кг. Середній же рівень ртуті в повітрі Донецька перевищує фоновий рівень у 16,5–20 разів. Ртуть була виявлена і при дослідженні золи та шлаків теплових електростанцій, що працюють на Донецькому вугіллі, відповідно від 0,17 до 1,55 мг/кг та 1,12–1,18 мг/кг [20].

В роботі [26] показано, що електростанція потужністю 1300 МВт, яка працює на вугіллі, викидає в атмосферу 3,5 кг ртуті щодоби у вигляді пари та 0,3 кг ртуті щодоби у вигляді аерозолю.



Рис. 2.3. Розміщення теплових електростанцій на території України, що є джерелами ртуті у довкіллі

У вугіллі Донецького басейну вміст Меркурію складає 0,4-2 мг/т, тому при виробництві електроенергії на теплових електростанціях, які працюють на цьому вугіллі, викиди ртуті в навколишнє середовище можуть сягати до 1 мг/кВт год [7].

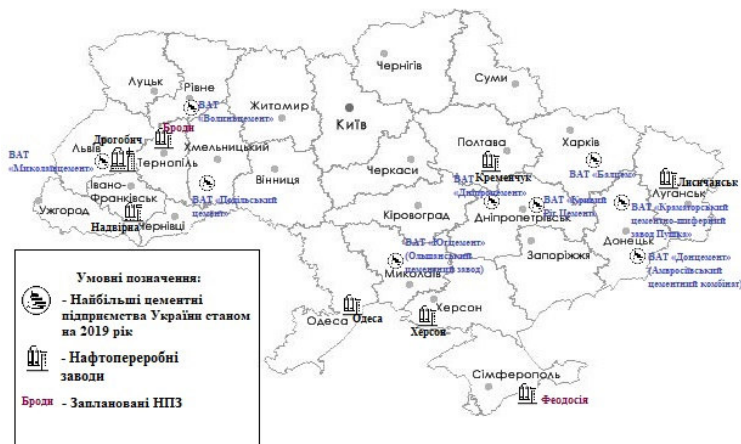


Рис. 2.4. Розташування нафтопереробних та цементних підприємств на території України, значних антропогенних джерел ртуті у довкіллі.

Масштаби споживання ртуті в даному секторі в минулі роки свідчать про те, що фактична кількість металу, депонованого на полігонах і в ґрунтах промислових майданчиків, може бути набагато більше розрахункового [1,47].

Значні обсяги ртутної емісії в Україні пов'язують з підприємствами кольорової металургії та чорної металургії. У розміщенні підприємств кольорової металургії в Україні виділяються два основних райони: Донецький і Придніпровський (рис.2.5)

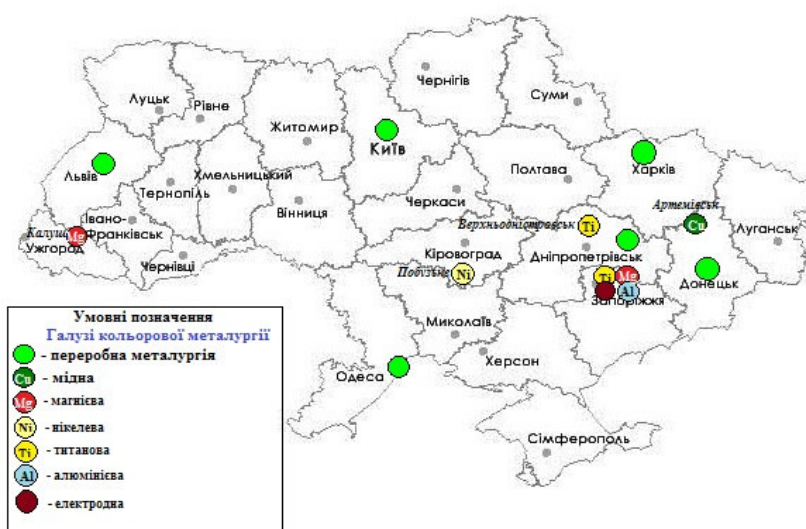


Рис. 2.6. Розміщення основних підприємств кольорової металургії на території України

Великий внесок у забруднення житлових і виробничих приміщень вносить використання ртутьвмісних приладів, люмінесцентних ламп і медичних термометрів [11,57].

Основними джерелами ртуті в муніципальні стічні води є, очевидно, лікувальні установи, розбиті ртутні термометри і зламані електротехнічні прилади (перемикачі і т. д.). Ртуть надходить у водні об'єкти також в складі поверхневого (дощового і талого) стоку. Істотна частина ртутьвмісних приладів, зроблених 10 років тому, судячи з усього, все ще знаходяться в користуванні, і в міру того, як вони будуть приходити в непридатність, ртуть з них може потрапити в каналізаційну систему [22,34]. Щороку близько 95 т ртуті розміщується в складі різних відходів на полігонах і звалищах (див. рис 2.7.).

Близько 2-3% ТПВ спалюється, що забезпечує щорічний викид в атмосферу приблизно 3,5 т ртуті [2].

Встановлено, що середній вміст Меркурію в залізній доменній руді і котунах становить 0,06 мг/кг, в агломераті, металодобавках і коксі - 0,0004 мг/кг; в природному газі - 0,1 мкг/м³, у вапняках - 0,05 мг/кг, в марганцевій руді - 0,06 мг/кг. Можна розрахувати питому кількість ртуті, що надходить в доменний процес (на 1 т виробленого чавуну). Вона складе 39,86 мг/ т чавуну (0,03986 г / т чавуну).

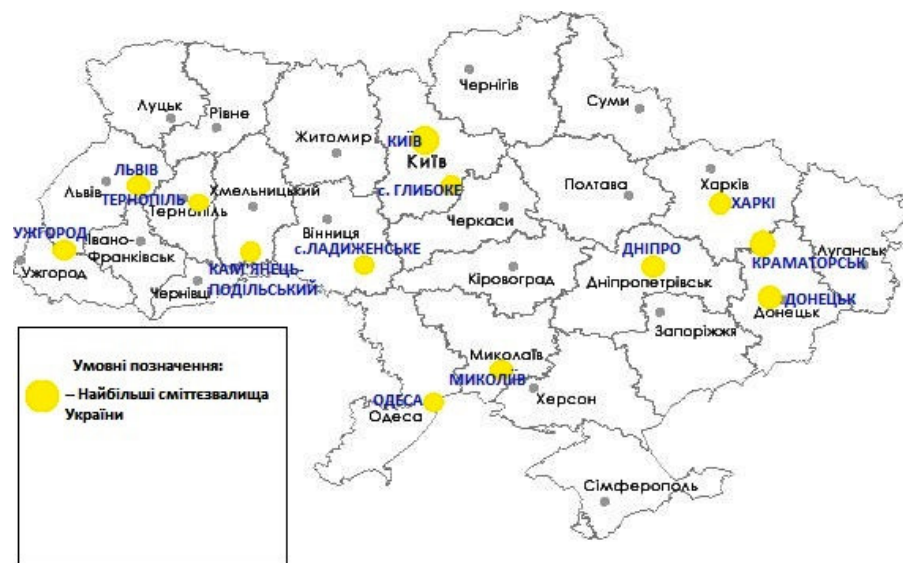


Рис. 2. 7. Найбільші сміттєві полігони на території України

Недавні дослідження у США показують, що лісові пожежі можуть забезпечувати значний потік ртуті з наземних екосистем в атмосферу [30]. Результати вказують на те, що викиди ртуті від лісових пожеж залежать від складу лісу, а також масштабів лісових пожеж. На основі середньостатистичних лісів та чагарників, що випалюються щорічно в Сполучених Штатах, було підраховано, що пожежі викидають від 19 т до 64т ртуті щорічно. Це становить від 13 до 42% передбачуваного антропогенного потоку ртуті [30].

За останні десятиліття лісові пожежі в Україні значно почастишали, і, очевидно, теж вносять значний вклад в емісію ртуті до атмосфери (рис. 2.8).

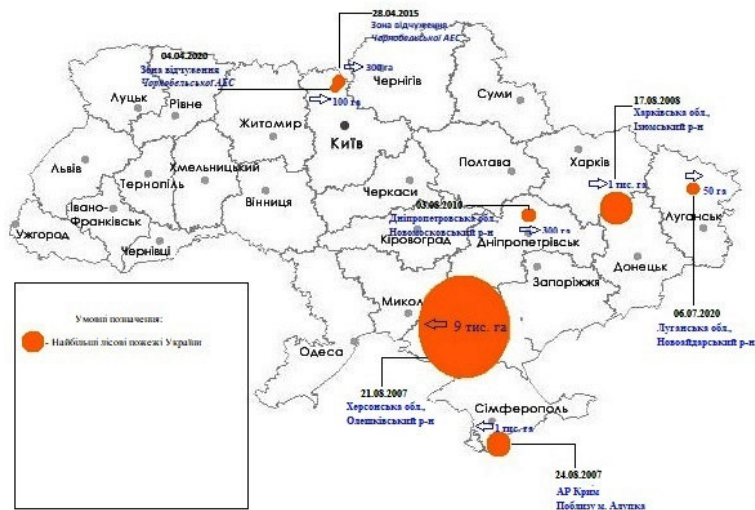


Рис. 2.8. Територія України, де відбулися найбільші пожежі

За даними деяких авторів кількість ртуті, яка з відходами розрядних ламп попадає в навколишнє середовище (з врахуванням того, що частина ламп все ж таки утилізується), в Україні становить більше 300 кг/рік) [7,26]. (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Звалище ртутних ламп – понад 2000 шт. (м. Київ, вул. Коллекторна) [60].

3. Біогеохімічний цикл ртуті та сполук Меркурію

Перетворення сполук Меркурію в атмосфері. Біогеохімічний цикл ртуті та сполук Меркурію можна розпочати з випаровування з природних і

антропогенних джерел. Базується цей процес на фізико-хімічних властивостях ртуті та сполук Меркурію, а саме дуже низькі температури плавлення ртуті ($-38,83^{\circ}\text{C}$), здатність швидко випаровуватися навіть з під шару води та розкладання основних природних сполук Меркурію (наприклад, кіновар розкладається на повітрі при температурі близько 200°C з утворенням ртуті) [39]. На цей процес впливають наявність відкритих джерел Меркурію, лісові пожежі, температура повітря. Планетарне потепління теж збільшує інтенсивність процесів елімінації ртуті та сполук Меркурію.

Крім ртуті в атмосферу потрапляють інші леткі сполуки Меркурію: меркурій(II) хлорид (HgCl_2) і диметилмеркурій $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$. Вважається, що близько половини вмісту Меркурію у повітрі складає ртуть. В атмосфері ці речовини можуть перебувати достатньо довго (від 0,4 до 3 років), а отже можуть переноситися на значні відстані [40].

Пари елементарної ртуті, які постійно надходять в атмосферне повітря, беруть участь в різних процесах. Вони переходять в тверду фазу, сорбуються на дрібнодисперсних частинках і видаляються з атмосфери шляхом осадження на поверхню ґрунту або води. Чим більша запиленість атмосфери, тим більше поглинається ртуті і при відповідних пануючих вітрах переноситься на більші відстані.

Фоновий вміст Hg^0 в атмосферному повітрі Північної півкулі становить близько 3 нг/м^3 (Над Європою та Північною Америкою) і близько 2 нг/м^3 над Атлантикою. У Південній півкулі атмосферний фон ртуті помітно нижчий - $1,3 \text{ нг/м}^3$, що відображає вплив антропогенних потоків ртуті. 90% атмосферного Меркурію представлено парами $\text{Hg}(0)$, а решта, мабуть, це Hg^{2+} і метилмеркурій [39, 59].

Наявність окиснювачів в атмосферному повітрі (озону, радикалів гідроксиду), йонів Br^- Cl^- сприяє переведенню деякої частини елементарної ртуті $\text{Hg}(0)$ в розчинні форми $\text{Hg}(\text{II})$, що вимиваються атмосферними опадами. Так, в

природних умовах, де на поведінку ртуті істотний вплив чинить рН середовища і окиснювально-відновний потенціал, підтримується відносно стійка рівновага між ртуттю, що міститься в атмосфері, гідросфері і літосфері.

Процеси перетворення ртуті у водному середовищі. Ртуть у поверхневих водах мігрує в двох основних фазових станах - в розчиненій формі і у складі суспензії. У свою чергу, у розчині вона може перебувати у вигляді двовалентного іона, гідроксиду меркурію, комплексних сполук (з хлором, органічною речовиною і ін.). Типові фонові рівні сполук Меркурію (розчинені форми) в природних прісних водах складають 0,03-0,07 мкг/л; в донних відкладеннях річок і прісноводних озер - 0,05-0,1 мг/кг; в прісноводних рослинах - 0,04-0,06 мг/кг сухої маси [42,58].

Найважливішими акумуляторами ртуті та сполук Меркурію, особливо в умовах забруднення, є суспензія і донні відкладення водних об'єктів, де відбувається абіогенна та біогенна трансформація, результатом чого є утворення диментил- та метилмеркурію [18].

Абіогенне перетворення відбувається в результаті поглинання ґрунтами, взаємодія зі сполуками Феруму та Марганцю, поглинання донними відкладами поверхневих водойм і осадження у вигляді нерозчинного меркурій(II) сульфіді.

На цьому етапі біогеохімічного циклу ртуті та сполук Меркурію відіграють живі організми, особливо мікроорганізми. За останні роки накопичено багато відомостей про роль біотрансформації Меркурію [39,53].

Мікробіологічна трансформація. В процесах перетворення сполук Меркурію беруть участь велика кількість різних за особливостями метаболізму мікроорганізмів: в першу чергу сульфатредуючі та залізобактерії, а також метаногенні бактерії. Встановлено здатність кожної групи бактерій окремо, а також у поєднанні здійснювати метилування Меркурію [55]. Інтенсивність процесу залежить від температури, рН і величини окисно-відновного потенціалу середовища, наявності кисню, наявності розчинних форм органічних сполук,

концентрації елемента, типу води, вмісту сульфатів і хлоридів і акцепторів електронів, а також присутність лігандів і адсорбуючих поверхонь. Проте, ці параметри не можуть розглядатися в незалежності один від одного, так як вони часто взаємодіють, в результаті чого утворюється система синергічних і антагоністичних ефектів [9].

Високий вміст органічних речовин (з переважанням гумінових кислот), відновне середовище (дефіцит кисню), низький вміст сульфідів і Феруму, нейтральне або слабко кисле середовище сприяють процесам алкілування [29,50].

Бактеріальна регуляція трансформації ртуті і сполук Меркурію, мабуть, досить істотна. Вона контролюється відповідними генами і залежить від концентрації Меркурію в середовищі існування організмів. Однак ці процеси вивчені недостатньо [53].

Порівняно недавно було виявлено явище фоторозкладання метилмеркурію у поверхневих водах під впливом УФ-хвиль [39]. Відкриття механізму фоторедукції доповнює уявлення про колообіг Меркурію (Рис. 3.1).

Крім того, фотохімічні реакції встановлені і для процесів перетворення малорозчинного меркурій(II) сульфід, внаслідок чого утворюються йони Hg^{+2} , які в подальшому включаються в процеси фотохімічного метилування [39].

Узагальнюючи процеси, що відбуваються з перетворенням сполук Меркурію і ртуті у водному середовищі, можна сказати, що вони являють собою сукупність дуже складних взаємопов'язаних процесів, які направлені на встановлення рівноваги, яка може зміщуватися в той чи інший бік, в залежності від впливу різних зовнішніх факторів.

Проблема сполук Меркурію у водосховищах. В останні 15-20 років виявлені і досліджені випадки небезпечного накопичення сполук Меркурію в рибах, що мешкають в недавно створених водосховищах.

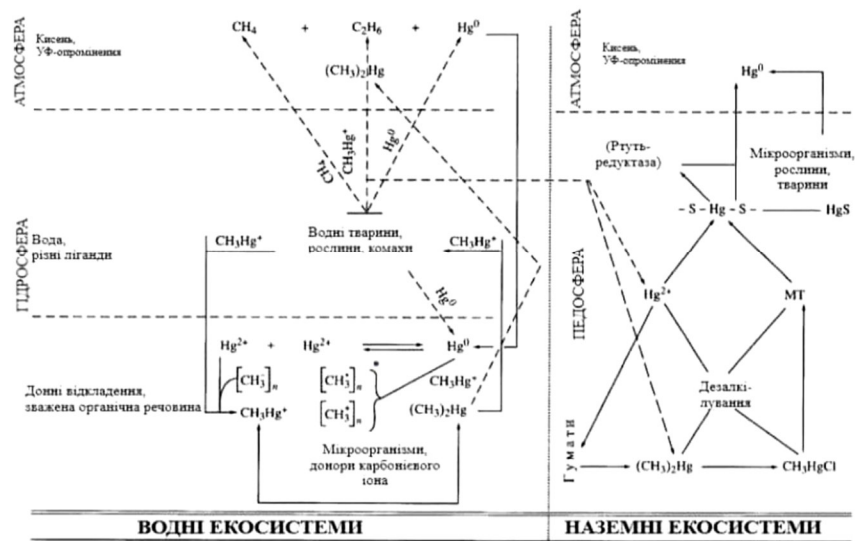


Рис. 3.2. Біогехімічний цикл Меркурію [41].

Аналіз результатів досліджень показав, що в недавно створених водосховищах, де відсутня надходження стічних вод, в рибах виявляються високий вміст метилмеркурію, навіть при фонових рівнях його вмісту у воді, породах і ґрунтах зон затоплення. На думку Сухенко С.А. - це явище, обґрунтовано, вважається в даний час одним з найбільш серйозних екологічних наслідків створення водосховищ, особливо там, де риба з водосховищ становить основу харчового раціону не тільки жителів, що мешкають по їх берегах, а й при комерційному лові риби [19].

Такі результати також відносяться до природних водних систем, які піддаються циклам зволоження і висихання, таким як заплави і омбротрофні водно-болотні угіддя [9,37].

Проведені дослідження щодо вмісту ртуті в різних видах риб(кунь, карась, плотва) поблизу підприємств «Усолляхімпром» та «Саянськхімпласт» (подібність технологічного процесу до заводу «Радикал») дозволили визначити ряд небезпечності вживання риб відносно накопичення ними ртуті: окунь –20,9 мг/кг, (коефіцієнт накопичення складає - 35); плотва– 13,6 мг/кг, (коефіцієнт

накопичення - 45); карась – 1,91 мг/кг, (коефіцієнт накопичення всього 3). Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що окунь і плотва можуть бути індикаторами техногенного забруднення водойм та донних відкладів сполуками Меркурію [15].

Токсичність ртуті для гідробіонтів і рослин. Пари ртуті володіють фітотоксичністю, що виявляється в придушенні зростання гілок і коренів і прискоренні старіння рослин.

Екологічні наслідки надходження ртуті реалізуються насамперед у водному середовищі і полягають в придушенні життєдіяльності одноклітинних морських водоростей (при концентрації 0,1 мкг / л), порушення фотосинтезу, асиміляції нітратів, фосфатів, амонію, а також у зміні структури, і функціональних характеристик природних спільнот (при концентрації 1 мкг / л). У цьому ж діапазоні лежать токсичні і порогові концентрації ртуті для водних безхребетних (чутливість знижується в ряду: ракоподібні, молюски, черви, мшанки). Ртуть в концентраціях 5 - 10 мкг / л і вище призводить до порушення життєдіяльності на ранніх стадіях розвитку риб, зниження швидкості їх зростання, пригнічення нюхового аналізатора, порушення клітинного дихання в зябрах і ферментативної активності печінки [3,23].

Процеси сорбції ртуті донними відкладами відіграють важливу роль у контролі її міграції та концентрації і слугують найважливішим механізмом, що впливає на поширення забруднення. Неорганічні сполуки ртуті переходять в елементарноорганічні (метилмеркурій) і споживаються мікроорганізмами, які, у свою чергу, поглинають риби[15].

4. Вплив ртуті та метилмеркурію на організм людини

Елементарна ртуть. Ртуть (рідка металева ртуть) погано всмоктується при прийомі всередину та потраплянні на шкіру. Її пари - найнебезпечніша форма. Дані на тваринах показують, що менше 0,01% ртуті всмоктується через

неушкоджений шлунково-кишковий тракт. Випадки системної токсичності в результаті випадкового проковтування рідкісні, і спроби самогубства за допомогою внутрішньовенної ін'єкції, мабуть, не призводять до системної токсичності [27]. Хоча сама ртуть викликає ушкодження, фізично блокуючи кровоносні судини як у місці ін'єкції, так і в легенях. Хоча фізичні властивості рідкої елементарної ртуті кількісно не вивчені, вона обмежує її абсорбцію через неушкоджену шкіру, а в світлі її дуже низької швидкості абсорбції з шлунково-кишкового тракту абсорбція через шкіру не буде високою [33]. Кількість парів ртуті, що всмоктується через шкіру становить лише близько 1%, від вдихуваної [43].

У людей приблизно 80% вдихуваних парів ртуті абсорбується через дихальні шляхи, де вони потрапляють в систему кровообігу і розподіляються по всьому тілу [44]. Хронічне надходження шляхом вдихання, навіть при низьких концентраціях в діапазоні 0,7-42 мкг/м³ викликати такі ефекти, як тремор, порушення когнітивних навичок і порушення сну [45].

Гостре вдихання високих концентрацій викликає широкий спектр когнітивних, особистісних, сенсорних і моторних порушень. Найбільш помітні симптоми включають тремор (спочатку вражає руки, а іноді і інші частини тіла), емоційну лабільність (що характеризується дратівливістю, надмірної сором'язливістю, втратою впевненості і нервозністю), безсоння, втрату пам'яті, нервово-м'язові зміни (слабкість, м'язова недостатність, атрофія, м'язові посмикування), головні болі, полінейропатія (парестезія, втрата чутливості від носіння рукавичок, гіперактивні сухожильні рефлексії, зниження швидкості провідності сенсорних і рухових нервів) і зниження продуктивності при тестуванні когнітивних функцій [44,45,48].

Неорганічні сполуки Меркурію. Зустрічаються у вигляді солей, таких як меркурій (I) і меркурій(II) хлориди (Hg_2Cl_2 і HgCl_2). Оскільки вони більш розчинні у воді, солі Меркурію зазвичай більш токсичні, ніж сама ртуть. Їх більш

висока розчинність дозволяє їм легше всмоктуватися з шлунково-кишкового тракту. Солі Меркурію впливають в першу чергу на шлунково-кишковий тракт і нирки і можуть спричинити ураження нирок; однак, оскільки вони не можуть легко перетнути гематоенцефалічний бар'єр, ці солі не викликають неврологічних ушкоджень [50].

Метилмеркурій та органічні сполуки Меркурію. Метилмеркурій є основним джерелом органічної ртуті для всіх людей [46]. Завдяки біоаккумуляції він накопичується в харчових ланцюгах і, таким чином, піддається біологічному посиленню (біомагніфікація), що призводить до його високих концентрацій серед популяцій деяких видів.

Метилмеркурій накопичується в головному мозку, де повільно перетворюється в неорганічну форму. Механізми і клітинний сайт біотрансформації у людини вивчені недостатньо. Було запропоновано як вільнорадикальний, так і ферментативний шляхи біотрансформації [56].

Вплив метилмеркурію під час вагітності гризунів, періоду розвитку, який приблизно моделює розвиток нервової системи людини протягом перших двох триместрів вагітності [33,44], має довгострокові поведінкові наслідки, які проявляються в дорослому віці і, в деяких випадках, можуть з'явитися тільки після старіння. Префронтальна кора може бути особливо чутлива навіть до незначного впливу метилмеркурію під час вагітності [63], і це передбачає, що оцінка дії метилмеркурію у сфері охорони здоров'я, засновані на інтелектуальних здібностях. Префронтальна кора відіграє головну роль у створенні складних когнітивних схем і планів дій, прийнятті рішень, контролі й регуляції як внутрішньої діяльності, так і соціальної поведінки та взаємодії [63].

Ртуть необоротно інгібує селен-залежні ферменти, а також може інактивувати S-аденозилметіон, який необхідний для катаболізму катехоламінів. Через нездатність організму розщеплювати катехоламіни (наприклад, адреналін) людина, що страждає отруєнням ртуттю, може відчувати різне потовиділення,

тахікардію (постійно прискорене серцебиття), підвищене слиновиділення і гіпертонію (високий кров'яний тиск) [31,32].

Інший ймовірний механізм, що лежить в основі токсичності метилмеркурію є порушення мікротрубочок в цитоскелеті нейронів [28]. Нервова система, що розвивається особливо чутлива до цих ефектів тому, що для неї характерні процеси інтенсивного поділу і міграції клітин [35].

У хворих дітей можуть бути червоні щоки, ніс і губи, втрата волосся, зубів і нігтів, висип, гіпотонія (м'язова слабкість) і підвищена чутливість до світла. Інші симптоми можуть включати дисфункцію нирок (наприклад, синдром Фанконі) або нейропсихіатричні симптоми, такі як емоційна лабільність, порушення пам'яті або безсоння[33].

З'являються докази того, що серцево-судинна і імунна системи можуть бути основними центрами токсичності метилмеркурію.

В останні роки зросла кількість досліджень про вплив метилмеркурію на когнітивні здібності шляхом визначення IQ дітей, матері яких зазнавали впливу в період вагітності сполук меркурію шляхом споживання продуктів харчування, які містили органічний Меркурій[44,45]. Нове дослідження вивчало вплив метилмеркурію на дітей у Європі (зокрема, в ЄС-27, Хорватія, Фарерські острови, Норвегія та Швейцарія) та оцінило економічні наслідки цього постійного, згубного впливу на їхній IQ[45].

Очевидно, скорочення викидів Меркурію мають довгострокову користь для здоров'я населення.

5. Шляхи вилучення сполук Меркурію з об'єктів навколишнього середовища

Проблема очистки технологічних вод, газів, стічних вод та інших об'єктів від ртуті та сполук Меркурію ускладнюється тим фактом, що у компонентах та технологічних речовинах сполуки Меркурію можуть перебувати у різних формах:

простої речовини ртуті, неорганічних і органічних сполук Меркурію одночасно. На разі відсутні прилади, необхідні для розділення елементарної ртуті, іонних, зв'язаних з твердими частинками, та органічних сполук Меркурію. Дійсно, як можна розрізнити Hg, що зв'язаний з органікою, та Hg, який зв'язаний з неорганічними речовинами, але всередині неорганічних, яких може бути більше 20, аналітичний прийом відсутній. Розробка точних аналітичних методів для ідентифікації і розділення класів сполук сприяло б подальшому вдосконаленню технологій видалення Hg.

Існує кілька альтернативних методів видалення Hg з води, в тому числі осадження, адсорбції, випаровування та біоремедіації [43].

При очищенні стічних вод, що містять 1,5-20 мг / л катіонів Меркурію, для повноти осадження сульфідів потрібно 10-40% надлишку сульфід-іонів понад стехіометричну кількість[61].

Недоліком цих, найширше використовуваних методів в Україні, є його висока вартість. З одного боку, а з другого – необхідність утилізації реагентів, що використовувалися для осадження.

Адсорбція за допомогою гранульованого активованого вугілля - це загальноживаний метод видалення Hg з води. Як правило, вугілля просочуються з сіркою для досягнення кращого ефекту зв'язування ртуті.

Фірма (Dynaphore, Inc., Річмонд, Вірджинія), запропонувала в якості адсорбента губку, що включає хелатний полімер, який містить амін, що вибірково поглинає розчинені важкі метали з водних потоків відходів. Губку можна регенерувати хімічними розчинами або безпосередньо утилізувати; його матриця дозволяє ущільнювати до невеликого об'єму утилізації [59].

Інший адсорбент, тіолвмісна смола, самозбірні моношари на мезопористих опорах[62]. На відміну від наведених вище технологій, які покладаються на хімічні речовини для досягнення бажаних рівнів видалення сполук Меркурію, існує біологічний. Технології видалення покладаються на мікроби, щоб

перетворити розчинний Hg в елементний або у нерозчинну форму, яка сприяє видалення (наприклад, HgS) [58].

Сульфат-відновлювальні бактерії перетворюють сульфати з води в сульфід, який потім може комплексувати з Hg [54]. Ще однією спробою біологічного відновлення є використання генно-модифікованих рослин для видалення Hg[56].

Доктор Девід Мазик та його дослідницька група з Університету Флориди розробили новий адсорбуючий матеріал, кремнезем-титанові композити для видалення Hg з води [68]. Крім того, розробляються технології з використанням вдосконаленої стратегії окислення, яку називають ультрафіолетово-активованою хелацією [36].

Іонний обмін. При використанні методу іонного обміну якість очищення води дозволяє використовувати очищені води від важких металів в оборотному циклі водокористування. Метод передбачає обмін між іонами в розчині і іонами на поверхні твердої фази - іоніту. Як іонітів найчастіше використовують синтетичні іонообмінні смоли [38].

Основним недоліком методу іонного обміну є вторинне забруднення стічних вод після відновлення, коли виникає необхідність їх знешкодження.

Нанофільтрація. При нанофільтрації використовуються мембрани з отворами в кілька нм. Для таких мембран використовують пористі матеріали: ароматичні поліаміди, ацетат целюлози, кераміку[64].

Електрохімічне очищення. Дослідники з Технологічного університету Чалмерса, Швеція, представляють абсолютно новий спосіб очищення забрудненої води за допомогою електрохімічного процесу [62,61].

Описані методи не вичерпують всіх технологій демеркуризації, які на сьогодні використовуються. Проте, висвітлюють проблему, що полягає у відсутності надійних доступних і економічно вигідних методик, які можуть використовуватися для вилучення всіх форм Меркурію і з усіх середовищ.

6. Спосіб використання УФ-ламп для вилучення ртуті та метилмеркурію з природних водних об'єктів

Вихідними даними для побудови причинно-наслідкової схеми використання УФ-ламп для вилучення в першу чергу метилмеркурію, який є нейротоксикантом і відноситься до отрут першого класу небезпеки були:

1. Ртуть та сполуки Меркурію на території України розпорошені у великій кількості, особливо на промислових густо населених територіях.
2. Ртуть та неорганічні сполуки Меркурію в біогеохімічних циклах у прісних водних об'єктах в результаті діяльності мікроорганізмів перетворюються на метилмеркурій.
3. Процеси утворення метилмеркурію у водосховищах протікають більш інтенсивно, у порівнянні з річковими системами.
4. Значна частина великих річок України зарегульована каскадами гідроелектростанцій, з побудовою великих і малих водосховищ.
5. В результаті ліпідорозчинності метилмеркурій краще, ніж ртуть та неорганічні форми Меркурію, проникає в організми гідробіонтів де завдяки явищам кумуляції та біомагніфікація нагромаджується , особливо в хижих видах риб.
6. Більшість організованих водосховищ зарибнені і використовуються для розведення і вилову риби, найчастіше – плітки, судаку, китайського карася та ляща.
7. У складі рибних продуктів харчування метилмеркурій потрапляє до організму людини і здійснює нейротоксичну дію, особливо на дитячий організм у пренатальний період його розвитку.
8. Споживання риби населенням України неухильно зростає, як виловлених у власних водних угіддях, так і імпортової.
9. В біогеохімічному циклі метилмеркурій під впливом природного ультрафіолетового випромінювання розкладається на ртуть та інші сполуки.

10. Доведено в експериментальних умовах здатність штучного ультрафіолетового опромінення досить ефективно розкласти метилмеркурій.
11. В Україні наявні промислові УФ-установки, які успішно використовуються для знезараження питної води або стічних вод.
12. В технології вилучення ртуті з водних об'єктів використовуються селективні нанофільтри.

Враховуючи все вище викладене, пропонується на водосховищах в систему трубчастих водоспусків вмонтувати промислову установку для ультрафіолетової стерилізації води [24] (рис.6.1).

Водоспуск - гідротехнічна споруда з отворами, служить для спорожнення водосховища, промивання донних насосів, а також для пропуску експлуатаційних витрат води в нижній б'єф. Трубчастий водоспуск знаходиться в тілі бетонної дамби.

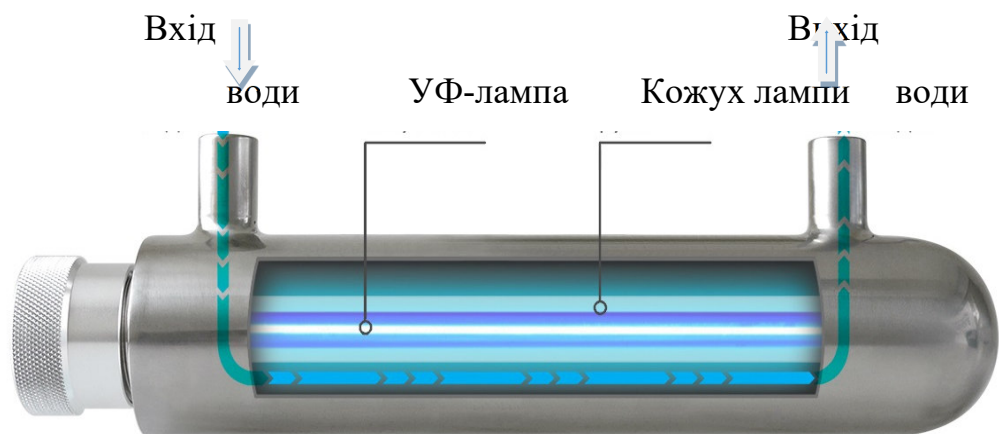


Рис. 6.1. Ультрафіолетовий опромінювач для дистиляції води

Оскільки в процесі фотохімічних реакцій під впливом УФ променів утворюється ртуть, то на вихідному отворі води з ультрафіолетової установки необхідно вставити фільтр з активованого вугілля, який періодично повинен замінюватися, в залежності від поглинальної ємності. Поглинуту ртуть можна

поглинати шляхом взаємодії з порошковою міддю з утворенням амальгами, яка в свою чергу може використовуватися для вилучення ртуті шляхом нагрівання.

Подібні установки можна буде використовувати для вилучення метилмеркурію і на водоканалах міст де проходить забір питної води для очистки або для невеликих ставків, де відбувається розведення риби (рис. 6.2).

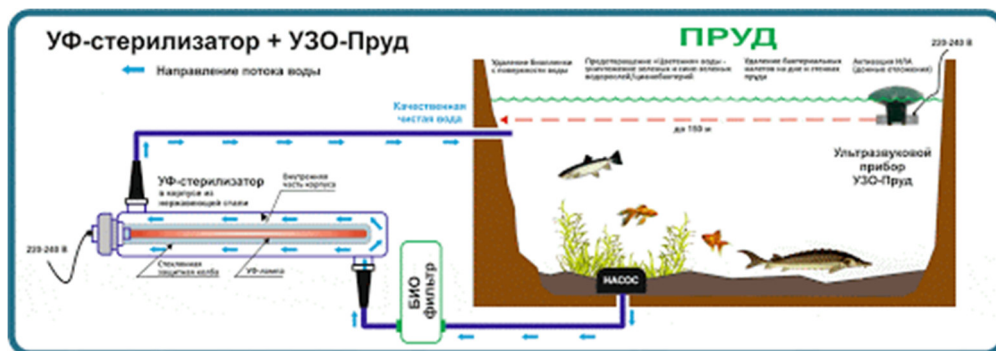


Рис. 6.2. Приклад використання УФ-лампи для вилучення метилмеркурію з води ставка

ВИСНОВКИ

1. Меркурій досить рідкісний елемент, відноситься до розсіяних, але в результаті особливостей фізичних та хімічних властивостей широко застосовується в різних галузях практичної діяльності і не може бути повністю виключений з використання.

2. Територія України значно забруднена як природними, так і техногенними джерелами Меркурію. До природних джерел відносяться родовища ртуті, а серед техногенних – найбільшими є спалювання вуглеводневих корисних копалин.

3. Всі форми існування Меркурію дуже рухливі у навколишньому середовищі і активно залучаються до біогеохімічних циклів.

4. Всі форми Меркурію є токсичними для живих організмів, а найотрутішим є метилмеркурій.

5. Риба як прісноводна, так і морська є основним продуктом з яким метилмеркурій надходить до організму людини.

6. На сьогодні не існує ефективної технології для вилучення всіх форм Меркурію з об'єктів навколишнього середовища.

7. Ультрафіолетове випромінювання як природне, так і штучне ефективно розкладає до ртуті метилмеркурій.

8. Використовуючи УФ-лампи можна, теоретично, вилучити метилмеркурій з води. Запропонована методика вимагає практичної перевірки та доопрацювання.

Список літератури

1. Ахметов Р.М. Ртуть в природе и техногенных образованиях. *Геологический сборник*. 2013. Вып. 10. С. 222-224.
2. Богданович О.В., Некрасова О. С. *Об экологической опасности отработанных батареек и аккумуляторов*. // Десятая междунар. научтехн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2015»: Материалы конф., Иваново: УИУНЛИГЭУ 21-23 апр. 2015 г. С. 132-133.
3. Вредные химические вещества: Неорганические соединения элементов 1-ТУ групп. - Под ред. Филона В.А. - Т.: Химия, 1988. - С. 170-189.
4. Дворников А.Г., Кирилица С.И. Ртутоносность углей Донецкого бассейна. Москва: Недра, 1987. 158с.
5. Дмитруха Т. І. Забруднення довкілля ртуттю – найгостріша екологічна проблема сучасності. Екологічна безпека та природокористування:зб. наук, пр. Київ. 2014 вин. 15. С 46-52.
6. Ермаков В.В. Биогенная миграция и детоксикация ртути. В сборнике: *Ртуть в биосфереэколого-геохимические аспекты*. Материны Международного симпозиум Москва, 7-9 сентября 2010 г.). — М.: ГЕО ХИ РАН, 2010. — С. 10
7. Кожушко Г.М. Дутніст Л. В. Кислиня С.Г . Проблемы ртутного Забруднення навколишнього середовища відходами розрядних ламп. *Світлотехніка та електроенергетика*, 2013.е. 37-45.
8. Крюченко Н.О. Панаит Э.В. Эколого-геохимическая оценка техногенного накопления донных отложениях вблизи территорий промышленных зон завода «Радикал» *ScienceRise*. 2015. N 1/1 (6). С. 23-26.
9. Крюченко Н.О., Панаит Э.В. Особенности миграции и концентрации ртути в донных отложениях. *Минералогічний журнал*. 2016.Т. 38.1. С. 96-101.
10. Кузубова Л. И. Метилртуть в окружающей среде (распространение,

образование в природе, методы определения). Аналитический обзор Л. И. Кузубова, О. В. Шуваева, Г. П. Аношин, ГПНТБ СО РАН, Ин-т неорг. химии. Аналит. центр Объедин. ин-та геологии, географии и минералогии СО РАН, - Новосибирск, 2000. – 82 с. — (Сер. Экология. Вып. 59). ISBN 5-7623-0866-9

11. Лапердина Т. Г. Определение ртути в природных водах. Новосибирск: Наука, 2000

12. Об'єкти, які є найбільшими забруднювачами навколишнього природного середовища, Міністерство екології та природних ресурсів України. 22.02.2011.

13. Оболенский А.А., Озерова Н.А., Васильев В.И. Природные источники ртути в Сибири. Химия в интересах устойчивого развития. 1995 Т.3. №1-2.

14. Панаїт Е.В. Вміст ртуті в ґрунтах поблизу Микитівського ртутного Комбінату. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2014. № 1.2 (14-15). С. 40-43.

15. Панаїт Е.В. Геохімія ртуті природного і техногенного походження в об'єктах довкілля: дис. канд. геол. наук: 04.00.02. геохімія. Київ. 2016. 168 с.

16. Панаїт Е.В. Особливості розподілу радону в підґрунтовому повітрі.

17. Панаїт Е.В. Розподіл ртуті у поверхневих відкладах США, Китаю, *Пошукова та екологічна геохімія*. 2013. № 1 (13). С. 25-29.

18. Салтыков А.В., Пузанов А.В. Выщелачивание ртути из гумусового горизонта загрязнения поверхностных отложений промышленных зон бывшего завода Украины та Росії. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2015. №1 (16), с. 15-18.

19. Сухенко С.А. Ртутная проблема в водохранилищах // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах: Аналит обзор. Ч. 3.

Закономерности миграции и региональные особенности / ГПНТБ СО АН СССР — Новосибирск, 1989. — С. 128-140.

20. Шпирт М. Я., Пунанова С. А. Особенности накопления ртути в нефтях, углях и продуктах их переработки. *Химия твердого топлива*. 2011. №5. с.42-49

21. Шпирт М, Я. Превращение ртути и ее соединений при переработке углей *Химия твердого топлива*. 2005 № 5. С. 73-86.
22. Загрязнение ртутью объектов окружающей среды. Проблемы химической безопасности // *Химия и жизнь* - Сообщение 1Cs-INFO.871(22 мая 2002 г.)
23. Видовые особенности содержания ртути в органах хищных млекопитающих различного экогенеза / Хижкин Е. А., Илоха В.А. Комов В.Т. Паркалов И.В. Ильина Т. Н. Баишникова П.В., Сергина С.Н., Гремячах В.А., Камшилова Т.Б. Степина Е.С. науч.центра РАН-2012-2С147-153
24. Сменный излучатель для ультрафиолетового обеззараживателя ECOSOFT
25. UV E-480 ECOSOFT.UA/SMENNYI-IZLUCHATEL-DLYA-ULTRAFIOLETOVOGO-OBEZZARAZHIVATELYA-ECOSOFT-UV-E-480/
26. Aucott M. Release of mercury from broken fluorescent bulbs J. Air and Waste Manag, Assoc, 2003. No 2. P. 143 151
27. Bemard, S, Enayati, A., Redwood, L. Roger, H., Binstock, T. Autism: a novel form of mercury poisoning Medical Hypotheses. 2001. 56, 462-471.
28. Bemard, ST. Enayati, A, Roger, H., Binstock. T, Redwood, L. The role of mercury in the pathogenesis of autism. *Molecular Psychiatry*, 2002.7. S42-S43.
29. Bloom N.S., Prets E. Katon J., Hiltner M. Selective extractions to biogeochemically relevant fractionation of inorganic mercury in sediment and soils//*Anal. Chim. Acta*. 2003. V.179, N 2. P. 233 - 248.
30. Blum Joel D., KlaueBjoern, Keeler Gerald J. Release of mercury from Rocky Mountain forest fires 09 January 2007 [hups://doi.org:10.1029/2006GB002696](https://doi.org/10.1029/2006GB002696)
31. Booth. S. Zeller, 1D Mercury. Food Wets, and Marine Mammals: Implications of Diet and Climate Change for Human Health, *Environmental Health Perspectives* 2005, 113 (5), 521-526.
32. Budtz-Jorgensen, E. Grandjean, P., Jorgensen, PJ, Weihe, P Keiding. N.

Association between mercury concentrations in blood and hair in methylmercury-exposed subjects at different ages. *Environment Research*. 2004. 95(3) 385-393.

33. Cheak, DKL, Wong, V. Attention-Deficit Hyperactivity Disorder und Blood Mercury Level: A Case Control Study in Chinese Children Neuropediatrics. 2006. 37, P.234 -240.

34. Clean Air Task Force (CATF) *Lead to Waste -The Dirty Secret Combustion Waste from America`s Power Plants* Clean Air Task Force. Boston, MA. 2000.

35. Cruanp. K. S. Kjellstrom, T, Scrimp. A. M. Silvers, A., Stewart. A. Influence of prenatal mercury exposure upon scholastic and psychological test performance: Benchmark analysis of a New Zealand cohort. *Risk Analysis* 1998, 18 (6). 701-713.

36. Feeley, III. Thomas. Murphy, Jones, Hoffman, Jeffrey, Renninger Scott. *A Review of DOE//NETL`s Mercury Control Technology R&D Program for Coal-Fired Power Plants* 2003.

37. Finkelman Robert B. *Mercury in Coal and Mercury Emissions from Coal Combustion* Robert B. Finkelman (Электронный ресурс] / U.S. Geological Survey. 2003. P. 9-12. Режим доступа: <http://pubs.usgs.gov/circ/2003/c1248/C-1248-508.pdf>.

38. FIGHTING TOXIC POLLUTION WITH MODERN RESEARCH
<https://www.atium.se/technology>

39. Gilbertson, M., Carpenter, D. O. D. *An ecosystem approach to the health effects of mercury in the Great Lakes basin ecosystem.* *Environmental Research* 2004, 95 (3), 240-246:

40. *Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources* (Электронный ресурс] / N. Pirrone, S. Cinnirella, X. Feng [etal.] 5951-5964. // *Atmos. Chem. Phys.* - 2010. - №10 – p 5951-5964

Режим доступа: <http://www.atmos-chem-phys.org/10/5951/2010/acp-10-5951-2010.pdf>.

41 Horvat. M., Nolde, N.Fajon, V., Jereb, V., Logar, M., Lojen, S., Jacimovic, R.,Falnoga. I.etal. Total mercury methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou, China. *Sci. Total Environ.* 2003, 304, 231-256.

42.Horvat. M, Nolde. N. Fajon. V. Jereb, V. Logar. M. Lojen S. Jacimovic R. Falnoga. I etal. Total mercury methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou China *Sci, Total Environ.* 2003, 301, 231-256
[http://globalchange.mit.edu/files/document MITJPSPGC_Reprint_09-15.pdf](http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC_Reprint_09-15.pdf).

43.Hylander, L.D., Goodsite, M.E. Environmental costs of mercury pollution. *Science of the Total Env.* 2006. 368, 352-370.

44.Jorgensen EB, Debes F, Weihe P. Grandjean P. Adverse Mercury Effects in 7 Year-Old Children as Expressed as Loss «IQ.» Odense: University of Southern Denmark. 2004 Available: <http://www.chef-project.dk/PDF/iq04louise5.pdf> accessed 15 May 2004).

45. Kjellstrom T. Kennedy P. Wallis S, Mantell C. Physical and Mental Development of Children with Prenatal Exposure to Mercury from Fish. Stage I: Preliminary Tests at Age 4. 1986, Report 3080. Solna, Sweden: National Swedish Environmental Protection Board.

46. Liu G. Environmental chemistry and toxicology of mercury/G. Liu, Y. Cai, N. O'Driscoll. - Hoboken: John Wiley and Sons, Inc., 2012. 596 p.

47. Mercury concentrations in forest soils and stream waters in northeast and south China / [Y. Leo, L. Duan, L. Wang and et al.] // *Science of the Total Environment.* 2014. P. 714-720.

48. Murata, K., Weihe, P., Budiz-Jorgensen, F. Jorgensen, P. J, Grandjean, P. Delayed brain stem auditory evoked potential latencies in 14 year-old children exposed to methylmercury. *Journal of Pediatrics.* 2004, 144(2), 177-183.

49. Pacyna E.G., Pacyna J.M. Global emissions from anthropogenic sources in 1995: Water, air and soil pollution, 2002. 37:149-165. *Resources.* 2009.

Volume 34, P. 43-63

50. ParkJung-DuckandZhengWei.
HumanExposureandHealthEffectsofInorganicandElementalMercuryEnvironHealth.
2007 P. 34-43.
51. RichFeldenberg (11.02.2016). Firstbiologicalfunctionofmercurydiscovered
52. RisktoHealthandtheEnvironmentRelatedtotheUseofMercuryproducts. London,
2002. -119 p. (FinalReport, preparedfortheEuropeanCommission. DG
EnterprisebyRiskandPolicyAnalystsLimited).
- 53 SelinNoelle 1 GlobalBiogeochemicalCyclingofMercury: A Review
[Электронный ресурс] / Noelle E. Selin // Annual Review of Environment.
54. Sovik M.L. Heavy metals in soil and water near mercury hotspots in Guizhou,
China / Sovik M.L Oslo, 2008/ 167 p.
55. Ullrich S.M. Tanton T.W., Abdrashitova S.A. Mercury in the Aquatic
Environment: A Review of Factors Affecting Methylation Critical Reviews in
Environmental Science and Technology, Volume 31, Issue 3, 2001
56. UNEP (2013). Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions,
Releases and Environmental Transport [Электронный ресурс] Geneva, 2013. — 32 p.
Режим доступа:[http://www.unep.org/PDF/Press Releases/Global MercuryAssessment
2013.pdf](http://www.unep.org/PDF/Press%20Releases/Global%20Mercury%20Assessment%202013.pdf)
57. United States Environmental Protection Agency Mercury Study Report to
Congress Volume 1. Executive Summary December [Электронный ресурс]
1997.Режим доступа: <https://www.epa.gov/ttn/caaa/t3/reports/volumel.pdf>.
58. United States Environmental Protection Agency Mercury Study Report to
Congress Volume OF: Fate and Transport of Mercury in the Environment December
[Электронныйресурс] 1997. Режимдоступа:[https://www3.epa.gov/ttn/atw /112nncrc/
volume 3.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/atw/112nncrc/volume%203.pdf).
59. Vaccare G. and Kitaplioglu O. Sponge technology - innovative technology
evaluation report U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC,EPA/540/R-
94/522 (NTIS PB95-268041) 1995.

60. Wikipedia.org
61. Wickman Björn and Tunsu Cristian. Removing toxic mercury from contaminated water. Published: Wed 21 NOV 2018.
62. Y Liu. CA Pohl, N. Avdalovic JIM. Riviello and A.Siriraks. GE Water & Process TechnologiesPublication date:31
63. Yang Y. Rane A. Prefrontal structural and functional brain imaging findings in antisocial, violent and psychopathic individuals: a meta-analysis // Psychiatry Research 174 (2)– 2009 - C. 81-88ю
- 64.Zheng W. Liang L.,Go B. Mercury Reduction and Oxidation by Reduced Natural Organic Matter in Anoxic Environments/Environ. Sci. Technol. 2012, 46 (1), pp 292- 299.