

КАНЦЕРОГЕННІ ФАКТОРИ В АСПЕКТІ КОМУНАЛЬНОЇ ГІГІЄНИ

УДК 613.84:615.277:614.71:616.441

ХІМІЧНІ КАНЦЕРОГЕНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ: ВПЛИВ НА ЗАХВОРЮВАНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ НА РАК ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ

*Черниченко І.О., Литвиченко О.М., Цимбалюк С.М.,
Швагер О.В., Соверткова Л.С., Баленко Н.В.*

ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ

Проведені протягом останніх десятиріч чисельні дослідження показали стабільне забруднення довкілля, у т.ч. атмосферного повітря, хімічними канцерогенами, його вплив на розвиток онкологічних захворювань [1-4].

Оцінка небезпеки хімічних канцерогенів у довкіллі зводиться, як правило, до порівняння їх вмісту з гігієнічними стандартами, і таким чином оцінюється стан навколишнього середовища, але не визначається небезпека для здоров'я людей, пов'язана з ураженням окремих органів, що не дозволяє також прогнозувати очікувані зміни, характер та інтенсивність захворюваності залежно від стану забруднення довкілля. Це, зокрема, стосується і злоякісних новоутворень щитоподібної залози (ЩЗ), проблема зростання яких привертає останнім часом увагу фахівців усього світу [5]. Ця проблема актуальна також для України, і особливої гостроти вона набула після аварії на Чорнобильській АЕС у зв'язку зі значним її зростанням на територіях, які найбільш постраждали від радіаційного забруднення [6,7].

Загальновизнаним є факт впливу зовнішніх чинників на формування онкологічної патології ЩЗ, найбільш важливим з яких вважається радіоактивне опромінення (внутрішнє та зовнішнє) різних типів та неадекватне надходження до організму йоду [5-7].

Аналіз літератури з цих питань виявив певні особливості виникнення і зростання захворюваності на рак ЩЗ (РЩЗ), які, на наш погляд, дозволяють припустити та-

кож причетність до цього процесу інших факторів – хімічних забруднень навколишнього середовища, які можуть не тільки сприяти індукуванню пухлин, а, можливо, що більш ймовірно, модифікувати канцерогенез. Про це свідчить факт зростання захворюваності на РЩЗ в Україні, як і в усьому промисловому світі, що розпочався задовго до Чорнобильської катастрофи, а також більш високі рівні захворюваності у сільськогосподарських і промислових регіонах держави, що може бути зумовлене неконтрольованим використанням пестицидів (ендокринні руйнівники) та навантаженням канцерогенів, що надходять в об'єкти довкілля з викидами промислових підприємств [7].

Наведені дані та екологічна ситуація, що склалася в Україні, свідчать, що оцінка захворюваності на РЩЗ потребує всебічного вивчення та урахування усього діапазону можливих чинників. Деякі з них, зокрема опромінення, йододефіцит та пестициди за багаторічних спостережень вже достатньою мірою вивчені і небезпека їх у цьому аспекті вважається незаперечною, тоді як роль хімічних канцерогенів антропогенного походження як фактору впливу на цю патологію потребує вивчення і аналізу.

Виходячи з цього, метою роботи була оцінка ролі забруднюючих атмосферне повітря пріоритетних хімічних канцерогенів у формуванні захворюваності населення на РЩЗ.

Матеріали і методи дослідження. В атмосферному повітрі досліджували 8 спо-

лук, пріоритетність яких визначається ступенем поширеності у довкіллі, канцерогенною активністю та популяцією населення, яка може підпадати під їх вплив – формальдегід, бенз/а/пірен (БП), нітрозаміни (НА) – нітрозодиметиламін (НДМА) і нітрозодіетиламін (НДЕА) та важкі метали (ВМ) – кадмій, нікель, свинець, хром. За впливу цих сполук, як відомо, найбільшого негативного впливу зазнають органи дихання, імунна та ендокринна системи тощо [8], результатом чого може бути підвищення рівня первинної захворюваності на різні групи хвороб, у т.ч. хвороби ШЦЗ.

Дослідження проводили на території м. Києва – міста з багатогалузевим виробництвом, яке може бути джерелом утворення і викиду цих сполук, та розгалуженою мережею автомагістралей з інтенсивним транспортним навантаженням. Це місто було обране для досліджень з огляду на дані, які свідчать, що м. Київ є одним з найбільш небезпечних в Україні щодо захворюваності населення на РЩЗ, де кількість випадків захворювань на цю патологію за останні 20 років зросла майже удвічі [7].

На першому етапі проводили ретроспективний аналіз стану забруднення повітряного середовища міста канцерогенними сполуками, розрахунок показників забруднення та ризику впливу цих забруднювачів, пошук кореляційних зв'язків між показниками забруднення та захворюваності населення на РЩЗ; на другому – досліджували територіальні особливості забруднення атмосферного повітря міста канцерогенними сполуками та захворюваності на цю патологію на території адміністративних районів м. Києва та виявлення пріоритетних сполук, які найбільш негативно впливають на цей процес.

Гігієнічну характеристику забруднення атмосферного повітря міста у цілому і його адміністративних районів проводили за період 1997-2013 рр. за даними постів спостережень Центральної геофізичної обсерваторії Міністерства з надзвичайних ситуацій України та результатами власних досліджень. Інформацію щодо захворюваності населення міста на РЩЗ за цей же період отримували зі щорічних даних Національного Канцер-реєстру України та матеріалів Ки-

ївського ендокринологічного центру МОЗ України.

Для оцінки небезпеки впливу хімічних канцерогенів атмосферного повітря на розвиток РЩЗ застосовували методологію оцінки ризику [8].

Інформаційну базу даних формували за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel та пакета прикладних програм.

Результати та їх обговорення. Аналіз даних моніторингу повітряного середовища міста показав стабільне забруднення повітря канцерогенами та його варіабельність; при цьому концентрації окремих сполук (НА, ВМ, за винятком свинцю) переважно не перевищували установлених гігієнічних нормативів, тоді як концентрації БП у 100% проб перевищували ГДК у 2,0-3,4 рази, формальдегіду – майже у 100% проб в 1,1-1,5 рази, свинцю – у 30% проб в 1,1 рази (табл. 1).

Оцінку ролі досліджуваних сполук у формуванні захворюваності населення на РЩЗ проводили, як відмічалось вище, шляхом визначення канцерогенного і неканцерогенного ризику їх впливу (для кожної канцерогенної речовини у динаміці та сумарного ризику усіх досліджуваних речовин для кожного року моніторингових спостережень), пошуку кореляційних зв'язків між показниками забруднення та захворюваності, визначення внеску окремих компонентів забруднення.

Розрахунки показали, що за весь період досліджень сумарний канцерогенний ризик для здоров'я населення, що створюється досліджуваними сполуками у повітряному середовищі міста, розглядається як високий ($>10^{-3}$), тобто не може вважатись безпечним для здоров'я його мешканців (і це тільки за 8 канцерогенами) [9].

Однак, визначаючи вплив канцерогенної сполуки на онкологічну захворюваність населення і розглядаючи її як один з можливих етіологічних чинників цієї захворюваності, слід враховувати ту обставину, що канцероген, на відміну від багатьох токсичних речовин, не спричиняє миттєвої дії на організм, а викликає віддалені ефекти в організмі, які за певних умов і обставин можуть проявитися через значний проміжок часу після експозиції [2].

Таблиця 1. Середньорічні концентрації пріоритетних канцерогенних речовин в атмосферному повітрі м. Києва.

Роки спостережень	Концентрації сполук, мкг/м ³							
	Ф-д., мкг/м ³	БП	НДМА	НДЕА	Кадмій	Нікель	Свинець	Хром
ГДК	0,0030	0,0010	0,050	0,015	0,30	1,00	0,30	1,50
1997	0,0033	0,0034	0,041	0,012	0,137	0,233	0,270	0,021
1998	0,0040	0,0029	0,048	0,014	0,165	0,280	0,334	0,025
1999	0,0034	0,0025	0,042	0,012	0,142	0,241	0,287	0,017
2000	0,0039	0,0028	0,047	0,013	0,160	0,272	0,324	0,024
2001	0,0034	0,0024	0,041	0,012	0,140	0,238	0,284	0,018
2002	0,0038	0,0032	0,050	0,015	0,168	0,260	0,310	0,026
2003	0,0044	0,0033	0,045	0,016	0,167	0,316	0,367	0,030
2004	0,0033	0,0024	0,039	0,011	0,136	0,230	0,274	0,020
2005	0,0031	0,0023	0,038	0,011	0,129	0,219	0,261	0,019
2006	0,0029	0,0020	0,035	0,010	0,119	0,202	0,241	0,017
2007	0,0036	0,0026	0,043	0,012	0,147	0,250	0,298	0,018
2008	0,0041	0,0030	0,050	0,014	0,170	0,289	0,344	0,029
2009	0,0032	0,0026	0,042	0,011	0,140	0,225	0,250	0,014
2010	0,0034	0,0025	0,037	0,012	0,142	0,241	0,288	0,020
2011	0,0037	0,0027	0,045	0,013	0,152	0,258	0,298	0,023
2012	0,0033	0,0024	0,041	0,012	0,139	0,236	0,281	0,021
2013	0,0039	0,0032	0,044	0,013	0,172	0,310	0,290	0,024

Виходячи з цього, графічне співставлення даних щодо забруднення та захворюваності на РЩЗ, а також розрахунок коефіцієнтів кореляції проводили, як і у попередніх наших дослідженнях [4,10], не тільки за ідентичними часовими інтервалами (рік у рік), а і зі зміщенням у часі показників захворюваності від показників забруднення.

Методом кореляційного аналізу виявлено позитивний кореляційний зв'язок між забрудненням атмосферного повітря канцерогенами з 1997 по 2003 рр. і стандартизованими показниками захворюваності населення міста на РЩЗ з 2007 по 2013 рр. ($r=0,74$; $p<0,01$). Іншими словами, виявлено умовний латентний період (10 років) виникнення РЩЗ від впливу забрудненого досліджуваними канцерогенами повітря.

Слід зазначити що позитивний достовірний кореляційний зв'язок з тим же інтервалом виявлено також між показниками захворюваності і забруднення (за показниками неканцерогенного ризику ($r=0,64$; $p<0,05$) та індексом забруднення ($r=0,67$; $p<0,05$), тоді як у попередніх наших дослідженнях [4,10]

він прослідковувався тільки для показників канцерогенного ризику.

На наш погляд, це можна пояснити тим, що досліджувані канцерогени можуть реалізувати свій вплив на формування злоякісних новоутворень цієї патології як шляхом індукції генетичних ушкоджень, так і шляхом струмогенного ефекту та запуску аутоімунних тиреоїдитів. Ці захворювання характеризуються порушенням функції ЩЗ за типом гіпотиреозу, внаслідок чого виникають проліферативно-гіперпластичні процеси, які є чутливим морфологічним субстратом для мутацій і багатьма фахівцями розглядаються як передракові стани [7].

Вплив територіальних особливостей забруднення атмосферного повітря міста канцерогенними сполуками на захворюваність населення на РЩЗ вивчали у м. Києві у кожному з адміністративних районів, які мають різний рельєф місця розташування, різноманітну забудову, щільність транспортного потоку тощо.

Аналіз отриманих за майже 20-річний період даних виявив стабільне забруднення атмосферного повітря районів міста, його

варіабельність. Співставлення порайонних даних забруднення та захворюваності населення на РЩЗ у динаміці показало, що, як і по місту у цілому, показники захворюваності корелюють як з сумарними показниками канцерогенного ризику забрудненого повітря районів міста, так і показниками небезпеки (неканцерогенний ризик) та індексами забруднення, зі зміщенням на 10 років. Тому вплив територіальних особливостей на захворюваність на РЩЗ, пошук кореляційних зв'язків між вказаними параметрами та ви-

явлення сполук з числа досліджуваних, які найбільш негативно впливають на розвиток цієї патології, вивчалися на прикладі однієї пари даних: показників забруднення атмосферного повітря 1998-го року та захворюваності – 2008-го року.

Таблиця 2 містить дані щодо забруднення атмосферного повітря території районів міста канцерогенними сполуками, яке мало місце 1998 року, таблиця 3 – захворюваність населення районів на РЩЗ 2008 року.

Таблиця 2. Концентрації пріоритетних канцерогенних речовин в атмосферному повітрі різних районів м. Києва (1998 рік).

Райони міста	Концентрації канцерогенів, мкг/м ³							
	Ф-д., мкг/м ³	БП	НДМА	НДЕА	Кадмій	Нікель	Свинець	Хром
ГДК	0,0030	0,0010	0,050	0,015	0,30	1,00	0,30	1,50
Голосіївський	0,0030	0,0019	0,051	0,014	0,08	0,10	0,25	0,021
Дарницький	0,0062	0,0040	0,055	0,016	0,30	0,30	0,70	0,017
Деснянський	0,0034	0,0024	0,046	0,015	0,08	0,06	0,10	0,011
Дніпровський	0,0055	0,0027	0,035	0,014	0,20	0,06	0,26	0,042
Оболонський	0,0036	0,0017	0,062	0,010	0,10	0,10	0,28	0,045
Печерський	0,0037	0,0032	0,078	0,017	0,16	0,30	0,30	0,015
Подільський	0,0036	0,0036	0,040	0,014	0,28	0,30	0,40	0,017
Святошинський	0,0036	0,0018	0,036	0,024	0,10	0,45	0,10	0,029
Солом'янський	0,0033	0,0021	0,030	0,004	0,10	0,60	0,45	0,011
Шевченківський	0,0040	0,0051	0,050	0,010	0,25	0,50	0,50	0,057

Таблиця 3. Захворюваність населення районів м. Києва на РЩЗ (2008 рік).

Райони міста	Захворюваність на РЩЗ на 100 тис. нас.
Голосіївський	11,7
Дарницький	19,7
Дніпровський	12,0
Деснянський	11,7
Оболонський	12,2
Печерський	14,5
Подільський	9,9
Святошинський	11,1
Солом'янський	9,6
Шевченківський	12,6
Середня по місту	12,8

Як видно із таблиці 2, концентрації сполук (окрім БП) варіювали відносно ГДК. Так, концентрації ВМ (за винятком свинцю) не перевищували встановлених гігієнічних

нормативів; концентрації БП у 100% проб перевищували ГДК в 1,9-5,1 рази, формальдегіду – майже у 100% проб в 1,1-2,1 рази, НА – в окремих районах перевищення відпо-

відних ГДК сягало 1,5 разів. Причому це перевищення спостерігалось головним чином у Дарницькому та Шевченківському районах, дещо менше – у Подільському та Печерському.

Сумарні показники забруднення (з урахуванням класу небезпеки сполук) становили у цих районах відповідно 14,5; 13,7; 11,3; 11,7, тоді як у Голосіївському, Деснянському, Оболонському та Святошинському районах – 7,5-7,9.

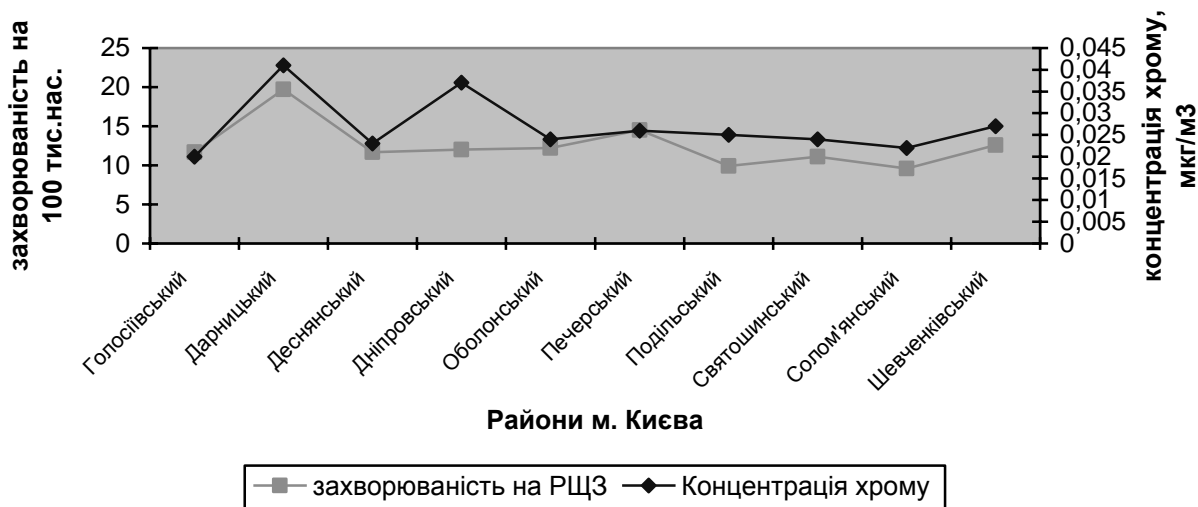
Канцерогенний ризик забруднення атмосферного повітря районів також був найвищим у Дарницькому та Шевченківському районах – $2,7 \times 10^{-3}$, у Печерському та Подільському – $2,6$ та $2,1 \times 10^{-3}$ відповідно.

Аналогічна градація районів відмічалася і за індексами небезпеки (неканцерогенний ризик) – 32,7; 29,6; 23,5 та 20,3, тобто найвищі індекси небезпеки досліджуваних сполук для здоров'я населення були у тих же

районах міста: Дарницькому, Печерському, Шевченківському та Подільському.

Аналіз матеріалів захворюваності на РЩЗ населення районів м. Києва показав, що показники на 100 тис. нас. найвищі саме в цих районах і за досліджуваний період вони зросли в цих районах найбільше: в 2,1; 2,0; 1,6 та 1,5 у Дарницькому, Печерському, Шевченківському та Подільському відповідно, тоді як в решті районів – в 1,2-1,3 рази.

При співставленні динаміки забруднюючих атмосферне повітря міста канцерогенних сполук і захворюваності їхнього населення на рак ЩЗ було встановлено, що показники захворюваності населення на цю онкопатологію корелюють як з сумарними показниками канцерогенного ризику забрудненого повітря цих міст, так і з динамікою концентрацій деяких канцерогенних сполук (хрому, формальдегіду, БП, кадмію) також зі зміщенням на 10 років (рис. 1 на прикладі хрому).



$$r=0,73 \quad (t=3,01; \quad p<0,01)$$

Рисунок 1. Динаміка забруднення атмосферного повітря районів міста хромом та захворюваності населення на РЩЗ (зі зміщенням на 10 років).

Наявність статистично достовірного кореляційного зв'язку ($p<0,05$) між ними дозволяє припустити, що ці канцерогени можуть брати певну участь у формуванні захворюваності населення на РЩЗ.

Ці результати підтверджуються даними літератури, які вказують, що саме ці сполуки, діючи як токсиканти, можуть призводити до зниження функції ЩЗ (гіпотиреозу)

і, як наслідок, захворюванню на зоб, яке часто класифікується як передрак.

Крім того, деякі канцерогени, наприклад хром та нікель, здатні затримуватися у ЩЗ і, накопичуючись, спричиняти канцерогенний ефект на цей орган. Цей же ефект може створювати і кадмій, якому притаманні естрогеноміметичні властивості; формальдегід та БП можуть негативно впливати на ЩЗ опосередковано, через імунну систему [1,7].

Слід зазначити, що НА також можуть впливати на ЩЗ опосередковано, через імунну систему [1,7], однак механізм їхнього впливу потребує додаткового вивчення, можливо також і у напрямку досліджень попередників, зокрема нітратів.

Що стосується інших досліджуваних сполук, то кореляційні зв'язки між ними та захворюваністю на рак ЩЗ також простежуються, хоча коефіцієнти кореляції у цих випадках або слабкої сили, або недостовірні.

Таким чином, представлені матеріали показали негативний вплив досліджуваних сполук на захворюваність населення на рак ЩЗ як канцерогенів і як токсикантів. Тому, для профілактики захворювань населення і напрямку епідеміологічних досліджень сьо-

годні важливими і актуальними є знання про ці речовини, їхні джерела та шляхи утворення і надходження до організму, контроль розповсюдженості у навколишньому середовищі, особливо атмосферному повітрі, механізми формування аерогенних доз.

Покращання екологічної ситуації, і перш за все зменшення забруднення довкілля канцерогенами, має, безумовно, проявитись у зниженні захворюваності населення на злоякісні пухлини, і зокрема РЩЗ.

Звідси, у розв'язанні проблеми зменшення захворюваності населення на злоякісні новоутворення ЩЗ пріоритетним напрямком має стати первинна профілактика раку, а провідними ланцюгами – природоохоронні заходи та здоровий спосіб життя.

Висновки

Проведені дослідження показали вплив забруднення повітряного середовища міста пріоритетними канцерогенними сполуками на захворюваність населення на РЩЗ.

Виявлено максимальний часовий період прояву впливу аерогенних канцерогенів на розвиток цієї онкопатології (близько 10 років).

Визначено сполуки з числа досліджуваних, які можуть спричиняти найбільший негативний вплив на розвиток РЩЗ.

Намічено шляхи продовження досліджень цієї проблеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. James A. Chronic disease and early exposure to air-borne mixtures / A. James // Environ. Sci. & Technol. 2007. – V.41, – N20. – P. 7185-7191.
2. Черниченко І.О. Канцерогенні фактори навколишнього середовища та їх роль у формуванні онкологічної патології у населення / І.О. Черниченко // Досвід та перспективи наукового супроводу проблем гігієнічної науки та практики: Зб.наук.праць ДУ «ІГМЕ НАМНУ». – Київ, 2011. – С.50-59
3. Прусаков В.М. Анализ динамики риска заболеваний от воздействия факторов окружающей среды / В.М. Прусаков, М.В. Прусакова // Гиг. и сан. – 2006. – №1. – С.45–49.
4. Литвиченко О.Н. Риск влияния химического загрязнения атмосферного воздуха на онкозаболеваемость населения / О.Н. Литвиченко, И.А. Черниченко, О.В. Швагер // Матер. XI Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. – М., 2012. – Т.1. – С. 561-564
5. Thun M.J. The global burden of cancer: priorities for prevention / M.J. Thun, J.O. DeLancey, M.M. Center et al. // Carcinogenesis. 2010. – V.31, №1. – P.100-110.
6. Фузік М.М. Захворюваність на рак щитоподібної залози населення України після аварії на ЧАЕС / М.М. Фузік, А.Є. Присяжнюк, Д.А. Базика та ін. // Довкілля та здоров'я. 2014. – №2. – С. 62-69.
7. Баленко Н.В. Рак щитоподібної залози як проблема антропогенного забруднення / Н.В. Баленко, І.О. Черниченко, С.М. Цимабалюк та ін. // Довкілля та здоров'я. 2014. – №1. – С. 33-37.
8. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря : методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007 / МОЗ України. – Київ, 2007. – 28с.
9. Supplementary Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. – Washington, 2000. – 194 p.

10. Литвиченко О.Н. Особенности влияния бенз/а/пирена на онкозаболеваемость органов дыхания населения / О.Н. Литвиченко, И.А. Черниченко, О.В. Швагер, Н.А. Зинченко // Информационные технологии и общество 2012 : Матер. форума 30.09-07.10.2012, – Турция, – Кемер. – М., 2012. – С.83-84.

**ХИМИЧЕСКИЕ КАНЦЕРОГЕНЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА:
ВЛИЯНИЕ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

*Черниченко И.А., Литвиченко О.Н., Цимбалюк С.Н.,
Швагер О.В., Соверткова Л.С., Баленко Н.В.*

Проблема роста заболеваемости населения раком щитовидной железы и выявление факторов, влияющих на этот процесс, являются сегодня важными для Украины. Целью работы было определение роли загрязняющих атмосферный воздух промышленного города приоритетных химических канцерогенов в формировании заболеваемости населения раком щитовидной железы (на примере г. Киева).

**CHEMICAL CARCINOGENS OF ATMOSPHERIC AIR: THE INFLUENCE
ON THE FORMATION OF THYROID CANCER MORBIDITY AMONG POPULATION**

*I.O. Chernychenko, O.M. Lytvychenko, S.M. Tsymbaliuk,
O.V. Shvaher, L.S. Sovertkova, N.V. Balenko*

The growth of incidence of thyroid cancer population and the identification of the factors influencing on this process are important for Ukraine today. The aim of this paper – to assess role of the prior chemical carcinogens as the pollutants of the ambient air of the industrial city in the formation of thyroid cancer morbidity among population (on example of Kyiv city).

УДК 614.71:621.311.22

**ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЯК ДЖЕРЕЛО ЗАБРУДНЕННЯ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ БЕНЗ/а/ПІРЕНОМ**

Черниченко І.О., Литвиченко О.М., Бабій В.Ф., Соверткова Л.С.

ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ

Енергетика, як відомо, є основою розвинутої цивілізації, без енергетики у людства немає майбутнього. Основою сучасної енергетики є різні типи електростанцій – теплові, атомні, гідравлічні, альтернативні тощо. В Україні найбільш розповсюдженими є теплові електростанції (ТЕС), поштовх до будівництва яких було зроблено більше 70 років тому при плануванні і розвитку вітчизняної індустрії.

На сьогодні більша частина електроенергії (63,2%) в усьому світі виробляється на ТЕС (в Україні – 57,5%), основними енергетичними ресурсами на яких є вугілля, нафта і продукти її переробки, газ [1]. Технологія

виробництва електричної енергії на цьому типі станцій пов'язана зі значною кількістю відходів, що викидаються в оточуюче середовище. При спалюванні палива на ТЕС утворюються продукти згоряння, які містять тверді частинки, летючу золу, газоподібні продукти неповного згоряння палива, оксиди азоту, сірчаний і сірчистий ангідрид, оксид сірки, оксиди металів тощо. Викиди від роботи цієї галузі складають близько 30% усіх твердих частинок, 63% сірчаного ангідриду, 53% оксидів азоту, що надходять в атмосферу внаслідок господарської діяльності людини. За цим показником ТЕС зрівнялися з підприємствами металургії і випереджають ре-