
ЕКОЛОГІЯ, ІХТІОЛОГІЯ ТА АКВАКУЛЬТУРА

ECOLOGY, ICHTHYOLOGY AND AQUACULTURE

УДК 502:504.3.054:504.064

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.33>

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ФЕНОЛУ В ПОВІТРІ ПІД ЧАС ОПАЛЮВАЛЬНОГО СЕЗОНУ

Крачан Т.М. – к.х.н., доцент,

завідувач кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Ямборак Р.С. – к.геогр.н., доцент,

доцент кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Придеткевич Ю.О. – магістр хімії, асистент кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Проблема збереження якості довкілля є актуальною завжди. Сьогодні особливо гостро постає питання використання твердопаливних джерел енергії, оскільки продукти згоряння деяких видів палива є часто непередбачуваними і за певних обставин надзвичайно шкідливими.

Під час переробки енергетичної сировини можуть додаватися різні речовини або проходити процеси, які можуть призводити до утворення шкідливих сполук.

Атмосферні забруднення органічними речовинами можуть мати серйозні наслідки для здоров'я людей, тварин і рослин, а також для екосистем в цілому. Вони здатні викликати захворювання дихальних шляхів, серцево-судинні, ракові захворювання, астму та інші серйозні проблеми зі здоров'ям.

Для боротьби з атмосферними забрудненнями необхідно приймати різноманітні заходи, такі як впровадження більш чистих технологій у промисловості та транспорті, зменшення споживання вуглеводнів і інших шкідливих речовин, сприяння використанню екологічно чистих джерел енергії та вдосконалення системи контролю за викидами забруднюючих речовин.

Феноли можуть бути присутнім у твердому паливі, особливо у вугіллі, деревині та інших біомасивних матеріалах, які можуть використовуватися для опалення та енергетичних цілей. Під час згоряння цих матеріалів фенол може виділятися у вигляді газів, які потім потрапляють у повітря та здатні його забруднювати. Згоряння твердого палива, особливо в умовах недостатньої вентиляції чи неконтрольованого згорання, може призводити до великих викидів фенолів та інших шкідливих речовин у повітря.

Тому визначення показників якості повітря під час опалювального сезону і особливо при використанні твердопаливних джерел енергії та пошук методів знешкодження негативного впливу продуктів згоряння на навколишнє середовище є актуальним і важливим.

Нами проведено дослідження визначення якості повітря на вміст фенолу. Визначення проводили фотометричним методом. За результатами аналізу виявлено вміст фенолу у всіх зразках повітря, проте їхній вміст не перевищував існуючих норм ГДК.

Ключові слова: повітря, феноли, фотометричний метод аналізу, ГДК – гранично допустима концентрація.

Krachan T.M., Yamborak R.S., Prydetkevych Yu.O. Analysis of the content of phenols in the air during the heating season

The problem of preserving environmental quality is always relevant. Today, the issue of using solid fuel energy sources is particularly acute, as the combustion products of some fuels are often unpredictable and, under certain circumstances, extremely harmful.

During the processing of energy feedstocks, various substances may be added or processes may be carried out that can lead to the formation of harmful compounds.

Atmospheric pollution by organic substances can have serious consequences for human, animal and plant health, as well as for ecosystems in general. They can cause respiratory diseases, cardiovascular diseases, cancer, asthma, and other serious health problems.

To control atmospheric pollution, a variety of measures need to be taken, such as introducing cleaner technologies in industry and transportation, reducing the consumption of hydrocarbons and other harmful compounds, promoting the use of clean energy sources, and improving the system of controlling pollutant emissions.

Phenols can be present in solid fuels, especially coal, wood, and other biomass materials that can be used for heating and energy purposes. When these materials are burned, phenol can be released as gases, which are then released into the air and can pollute it. The combustion of solid fuels, especially in conditions of insufficient ventilation or uncontrolled combustion, can lead to large emissions of phenols and other harmful substances into the air.

Therefore, determining air quality indicators during the heating season, and especially when using solid fuel energy generators, and finding methods to neutralize the negative impact of combustion products on the environment is relevant and important.

We performed a study of air quality determination for phenol content. The determination was carried out by the photometric method. The results of the analysis revealed the content of phenol in all air samples, but their content did not exceed the other MPC standards.

Key words: air, phenols, photometric method of analysis, maximum permissible concentration.

Постановка проблеми. Визначення вмісту забруднюючих та шкідливих речовин у навколишньому середовищі та способи їхнього знешкодження є вкрай важливим завданням для забезпечення безпеки та захисту здоров'я населення. Сьогодні поряд з енергетичною проблемою нашої країни є проблема екології. І застосування класичних джерел енергії часто дає значний шкідливий вплив на довкілля. Перелік шкідливих речовин, що можуть потрапляти в навколишнє середовище, досить суттєвий і включає не лише важкі метали і мінеральні сполуки а й складні органічні речовини. Деякі з цих речовин можуть мати негативний вплив на здоров'я людини навіть у незначних концентраціях, і тому їх наявність потрібно контролювати і вчасно реагувати на їхній неадекватний вміст.

Забруднення повітря токсичними речовинами може мати серйозні наслідки для біосферних процесів і здоров'я живих організмів. Навіть при низьких концентраціях отруйних речовин, таких як оксиди азоту, сірки, вуглеводні і тяжкі метали, вони можуть негативно впливати на здоров'я людей, тварин і рослин. Забруднене повітря може викликати або погіршувати стан в низці захворювань у людини, включаючи захворювання дихальних шляхів, серцево-судинні захворювання, ракові захворювання та інші. Крім того, воно може спричиняти втрату рекреаційних можливостей, економічні збитки через втрату врожаю та зниження продуктивності тваринного виробництва, а також шкодити екосистемам.

Для захисту біосфери і здоров'я людей необхідно вживати заходів для зменшення викидів токсичних речовин у повітря, включаючи використання більш чистих джерел енергії, вдосконалення технологій очищення викидів у промисловості та транспорті, а також сприяння використанню екологічно чистих транспортних засобів [1].

Постановка завдання. Моніторинг показників атмосферного повітря є важливим аспектом наших досліджень. В період опалювального сезону це особливо

актуально, оскільки до звичних характерних компонентів додаються продукти згоряння і перетворень твердого палива. Як правило, ці продукти мають специфічний і не завжди прийнятний запах і спричиняють певний дискомфорт. Крім того, деякі із них можуть завдавати шкоди здоров'ю населення. Тому визначення якості повітря в період опалювального сезону і обґрунтування методів попередження негативного впливу продуктів згоряння на живий організм є цілком важливим.

Оскільки феноли є потенційно шкідливими речовинами, що мають вплив на якість повітря та здоров'я людей, то науковою новизною є дослідження їх вмісту під час опалювального сезону, що в свою чергу може відкрити нові аспекти їх впливу на здоров'я та навколишнє середовище.

Виклад основного матеріалу дослідження. До основних антропогенних джерел забруднення відносять як підприємства паливно-енергетичного комплексу, так транспорт та різні промислові підприємства. Забруднення, спричинене виділенням речовин при згорянні палива, є серйозною проблемою для якості повітря та здоров'я людей. Транспорт та паливно-енергетичний комплекс вносить значний внесок у загальний обсяг антропогенного забруднення атмосфери через викиди різних шкідливих речовин у повітря.

Тверде паливо, таке як вугілля, деревина, торф та інші біомасивні матеріали, можуть виділяти різні шкідливі речовини під час спалювання.

Основними складовими викидів з твердого палива є, зокрема, оксиди сульфуру, що утворюються при згорянні сірки та її сполук, що містяться в твердому паливі. Оксиди нітрогену утворюються при згорянні нітрогену та її сполук і сприяють формуванню смогу та інших проблем пов'язаних з якістю повітря. Згоряння твердого палива також утворює тверді аерозольні частки, які можуть бути вдихані людьми та мати негативний вплив на здоров'я, зокрема на дихальну систему. В процесі згоряння твердого палива також можуть виділятися різні токсичні речовини, такі, як бензапірен та інші канцерогени, що можуть бути шкідливими для здоров'я.

Феноли можуть бути присутніми у твердому паливі, такому як вугілля, деревина, торф та інші органічні матеріали. Вони можуть утворюватися як продукт перетворення органічних речовин під час процесу піролізу (теплового розкладу) або газифікації твердого палива [2].

Згідно з даними [3], під час горіння і термічного розкладу деревини утворюється фенол, чадний газ, формальдегід і низка інших хімічних сполук.

Згідно даних про класифікацію небезпечних хімічних речовин [4], фенол за ступенем токсичності відноситься до сильно токсичних.

За властивостями фенол – легкоплавка тверда речовина, безбарвна, має характерний запах ароматичних речовин. Кристали фенолу досить леткі, на повітрі виявляють гігроскопічність, пари його важчі за повітря, тому він здатен збиратися в низинах [5, 6].

Основним джерелом для добування фенолу слугує кам'яновугільна смола, що містить, окрім фенолу, інші ароматичні вуглеводні та гетероциклічні сполуки (загалом до 400 компонентів) [7].

Багато з цих сполук є отрутами і надзвичайно горючими. Широке застосування фенолу в промисловості, попадання в повітря при недостатній вентиляції приміщень, призводить до промислових отруєнь.

Згідно діючих санітарно-гігієнічних вимог [8], вміст фенолу у воді не повинен перевищувати 0,001 мг/дм³, ГДК в житловій зоні – 0,03 мг/м³, а в повітрі робочої зони – 0,3 мг/м³. Фенол виявляє властивості протоплазматичної отрути

і є небезпечним для будь-яких тканин в організмі. Оскільки він має анестетичну дію, то при його контакті зі шкірою не відчувається болю, але біль з'являється згодом, супроводжуючись появою опіків. При всмоктуванні крізь шкіру відбувається ураження ЦНС і кровоносних судин. Пари фенолу подразнюють очі та дихальні шляхи. Фенол володіє антисептичними властивостями і використовується у якості дезінфікуючого засобу. Зокрема, 3% розчин фенолу застосовується для дезінфекції лікарських інструментів, білизни та предметів домашнього побуту.

При попаданні всередину організму фенол швидко всмоктується, отруєння ним відбувається бурхливо. Спостерігається печія, біль в шлунку і кишківнику, блювота, діарея, відчувається запах фенолу з рота. Сеча отруєного фенолом має чорно-оливковий колір. Зазначають синюшність шкіряних покривів і слизових оболонок, сплутану свідомість, бурий колір виділень та крові, знижений артеріальний тиск, відбувається руйнування нирок і головного мозку. Смертельна доза фенолу у разі прийому всередину – 8–15 грам. Зберігають його в темряві (на світлі поступово утворюються дифеноли та хінон) [9].

Сполуки фенолу мають важливе значення в різноманітних окисно-відновних реакціях, що відбуваються у навколишньому середовищі. Ці сполуки є одним з найбільш поширених класів метаболітів в природі. Вони утворюються внаслідок біосинтезу у рослинних організмах та потрапляють у воду та повітря в результаті таких природних процесів, як гниття листя або деревини [10].

Згідно даних [11], феноли можуть розглядатись як природні антиоксиданти. Гідроксогрупи фенолу є донорами гідрогену, тобто вони можуть вступати в реакції з активним киснем і активними формами нітрогену, при цьому обриваючи ланцюг утворення радикалів.

Антиоксидантні властивості фенольних сполук також обумовлені їхньою здатністю утворювати хелатні комплекси з іонами металів, що беруть участь в утворенні вільних радикалів. Своєю чергою, феноли можуть виступати в якості прооксидантів, що здатні підсилювати каталітичну активність хелатів металів і їх здатність утворювати вільні радикали [12]. Крім того, фенольні сполуки можуть взаємодіяти з білками, що дозволяє їм пригнічувати низку ферментів, зокрема, ксантинооксидазу, ліпоксигенази і циклооксигенази, що, своєю чергою, беруть участь в генерації вільних радикалів [13].

У навколишньому середовищі фенол швидко руйнується в повітрі унаслідок реакції з гідроксильними радикалами (період напіврозпаду біля 14 годин), але у воді він може зберігатися протягом більш тривалого періоду [14].

Рівень фенолу у повітрі міста може свідчити про різні аспекти якості довкілля та впливу промисловості, транспорту та інших джерел забруднення на здоров'я та комфорт мешканців. Підвищений рівень фенолу може свідчити про наявність промислових підприємств у місті, які використовують цю речовину або її похідні у виробничих процесах. Недостатня обробка викидів з цих установок може призвести до викидів фенолу у повітря.

Фенол може бути продуктом викидів транспорту, автомобільного, громадського та залізничного. Значна їхня кількість у місті може призводити до збільшення рівня фенолу в атмосфері.

Викиди фенолу біля залізничного транспорту можуть відбуватися через різноманітні причини. Одна з найбільш поширених – це використання фенолу як частини палива.

Фенол як складник палива для рухомого складу не є типовою практикою. У складі палива для дизельних двигунів зазвичай використовують нафтопродукти,

такі як дизельне паливо або біопаливо. Фенол може використовуватися у різних хімічних процесах та промислових додатках, але не як головний компонент палива для транспортних засобів, зокрема для потягів.

Рівень шкідливих викидів газів може бути більшим у приміщеннях вокзалів, це пов'язане, з тим що потяги, можуть випускати викиди, включаючи фенол, коли вони працюють в непродуктивному режимі або при розгоні або гальмуванні близько до вокзалу. У приміщенні вокзалу ці викиди можуть накопичуватися через недостатню вентиляцію.

Біля залізничних вокзалів часто розташовані промислові установки або склади, де можуть використовуватися речовини, що містять фенол. Викиди з цих установок можуть потрапляти в приміщення вокзалу через відкриті вікна або двері.

Однак, фенол може потрапляти у довкілля через різні шляхи, включаючи викиди від промислових установок або транспортних засобів, які перевозять хімічні речовини. Це може статися через недбалість у обробці або перевезенні хімічних речовин, а також через аварії та нещасні випадки.

Загалом, високий рівень фенолу у повітрі може свідчити про проблеми з якістю довкілля та потенційні ризики для здоров'я мешканців міста. Важливо вживати заходи для моніторингу та зменшення викидів цієї речовини, щоб забезпечити безпеку та комфорт мешканців [15].

Результати досліджень. Нами проведено визначення якості повітря на вміст фенолу. Було відібрано зразки для аналізу в одному з районів міста, де мешканці неодноразово скаржились на присутність сторонніх речовин, які забруднюють повітря настільки, що неможливо тривалий час перебувати в цьому середовищі, особливо у вечірню пору доби.

Для проведення аналізу нами обрано методику, що базується на утворенні забарвлених сполук фенолу, його похідних та гомологів із 4-аміноантипірином у присутності гексаціаноферату (III) калію або амоній персульфату при $\text{pH} = 10,0 \pm 0,2$.

Реакція фенолу із 4-аміноантипірином протікає за схемою:



Даним методом можна визначати всі орто- та метазаміщені феноли. Феноли, що мають замісники в пара-положенні до фенольної групи, не вступають в дану реакцію.

Для побудови градуувального графіка готують серію стандартних розчинів, що містять відомі концентрації фенолу, додають послідовно 0,05 М розчин натрій тетраборату, 0,5% розчин 4-аміноантипірину; після перемішування додають 1% розчин гексаціаноферату (III) і знову перемішують. Через 30 хв вимірюють оптичну густина відносно дистильованої води при $\lambda = 508$ нм. За результатами вимірювання оптичної густини будують графік в координатах вміст фенолу в мірній колбі (у мкг) – оптична густина.

Для проведення дослідження попередньо відібрали проби для аналізу. Крізь 7 мл 0,05 М розчин натрій тетраборату пропускали протягом 15 хв повітря зі швидкістю 10 л/хв. До аліквотної частини зразка, що містить фенолят натрію додали розчин 4-аміноантипірину, перемішали додали 1% розчину гексаціаноферату (III) калію. Через 30 хв виміряли оптичну густину відносно розчину холостого досліду при $\lambda = 508$ нм. Вміст фенолу в зразках знайшли за калібрувальним графіком (табл. 1). Для перерахунку вмісту фенолу у повітрі користувались спеціальними формулами.

Таблиця 1

Вміст фенолів у досліджуваних зразках повітря

| Зразок | ГДК, мг/м ³ | Вміст фенолу, мг/м ³ |
|--------|---|---------------------------------|
| 1 | максимально разова 0,01 середньодобова 0,003 | 0,0000605 |
| 2 | | 0,0001598 |
| 3 | | 0,0001100 |

У результаті проведеного дослідження встановлено, що концентрація фенолу у повітрі досліджуваного району не перевищує ГДК, встановлених для збереження здоров'я мешканців. Рекомендується подальший моніторинг якості повітря у даному районі та розробка заходів для зменшення концентрації фенолу в разі потреби.

Висновки:

1. Дослідження підтвердило присутність фенолу у повітрі розглянутого району. Це підтверджує скарги мешканців щодо неприємного запаху та інших негативних впливів на середовище.

2. Вміст фенолу в повітрі не перевищує встановлені ГДК, що свідчить про те, що рівень забруднення не є критичним для здоров'я мешканців.

3. Незважаючи на відносно низький рівень фенолу у повітрі зараз, варто продовжувати моніторинг якості повітря у даному районі. Потенційні джерела забруднення можуть змінюватися з часом, і моніторинг дозволить вчасно виявляти будь-які зміни в рівнях забруднення та вживати відповідних заходів.

4. Навіть при відносно низьких рівнях фенолу, можуть бути розглянуті заходи для зменшення його викидів у повітря, технологічні удосконалення виробництва, впровадження більш ефективних систем очищення викидів або регулювання діяльності підприємств, що є потенційними джерелами забруднення.

5. Враховуючи отримані результати, можна розглянути можливість проведення досліджень на більш широкій території або у різних місцевостях, що в свою чергу може дати більш репрезентативну картину стану повітря як у цьому районі, так і загалом.

6. Порівняльний аналіз з іншими районами може допомогти визначити особливості забруднення повітря у цьому районі та впровадити заходи для його покращення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 991, № 41, ст.546. URL: https://rada.info/upload/users_files/04415867/aadb55c50bb7df40e783aea09761d053.pdf

2. Про охорону атмосферного повітря : Закон України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 1992, № 50, ст.678. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2707-12#Text>

3. Чернов С.М., Ковалишин В.В. Ізолюючі апарати. Обслуговування та використання. Львів : Сполом, 2002. 194 с.
 4. Про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин : Наказ Міністерство надзвичайних ситуацій України № 627 від 22.03.2012. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/TM044001>
 5. Щербина О. М. Експериментальні дослідження щодо виявлення і кількісного визначення летких горючих і токсичних речовин в повітрі та біологічних рідинах організму. *Пожежна безпека*. 2018. № 32. С. 74–79.
 6. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. Підручник для вищих навчальних закладів. Львів : Центр Європи, 2006. 868 с.
 7. Довідник рятувальника на випадок виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними хімічними речовинами / за заг. ред. Балого В.І. Львів : Сполом, 2012. 712 с.
 8. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : Наказ МОЗ № 52 від 14.01.2020р. URL: <https://budstandart.ua/normativ-document.html?minregion=8105>
 9. Димань Т.М. Екологія людини : підручник. К. : ВЦ «Академія», 2009. 376 с.
 10. Michalowicz J., Duda W. Phenols – sources and toxicity. *Polish J. of Environ. Stud.* 2007. Vol. 16, N 3. P. 347–362.
 11. Hydroxyl radical and hypochlorous acid scavenging activity of small centaury (*Centaureum erythraea*) infusion. A comparative study with green tea (*Camellia sinensis*) / P. Valentao, E. Fernandes, F. Carvalho [et al.]. *Phytomedicine*. 2003. Vol. 10. P. 517–522.
 12. Croft K.D. The chemistry and biological effects of flavonoids and phenolic acids. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1998. Vol. 854. P. 435–442.
 13. Parr A.J., Bolwell J.P. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *J. Sci. Food Agric.* 2002. Vol. 80. P. 985–1012.
 14. Bunce N.J., Nakai J.S. Atmospheric chemistry of chlorinated phenols. *J. of the Air and Waste Manag. Ass.* 1989. Vol. 39, N 6. P. 820–823.
 15. Ломницька Я.Ф., Василечко В.О., Чихрій С.І. Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля : Навч. посібн. Львів : Новий світ-2000, 2011. 589 с.
-