

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ

DOI: 10.31319/2519-2884.44.2024.21

УДК 547.562.166:661.183:628.3

Гуляєв В.М., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-4991-6250, e-mail: vgulyaev@dnepro.net

Коваленко А.Л., к.х.н., доцент, ORCID: 0000-0003-1496-6634, e-mail: ddtu.kafpb@ukr.net

Єлатонцев Д.О., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-1043-418X, e-mail: sauron11652@gmail.com

Дяченко В.Г., доцент, e-mail: ddtu.kafpb@ukr.net

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Gulyaev Vitalii, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Chemical and Biological Technologies

Kovalenko Alla, Candidate of chemical sciences, Associate Professor of the Department of Chemical and Biological Technologies

Yelatontsev Dmytro, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Chemical and Biological Technologies

Dyachenko Volodymyr, Associate Professor of the Department of Chemical and Biological Technologies
Dniprovsky State Technical University, Kamianske

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ФЕНОЛІВ ТА ЇХ ТОКСИКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Виконано короткий огляд фізико-хімічних властивостей фенолу, оцінено його значущість для сучасної хімічної галузі і медицини, охарактеризовано його токсикологічні властивості та шкідливий вплив на організм людини. Наведено ефективні способи очищення водних середовищ та промислових стічних вод від фенолу за допомогою сорбційних матеріалів вітчизняного виробництва.

Ключові слова: фенол; токсичність; методи очищення; промислові стічні води; адсорбент.

A brief review of the physicochemical properties of phenol is given, its importance for the modern chemical industry and medicine is assessed, and its toxicological properties and harmful effects on the human body are characterized. Effective methods of purification of water bodies and industrial wastewater from phenol using domestic sorption materials are presented.

Keywords: phenol; toxicity; treatment methods; industrial wastewater; adsorbent.

Постановка проблеми

Актуальність пошукових досліджень у сфері розробки ефективних методів знешкодження фенолвмісних сполук пов'язана з широким спектром застосування фенолу та його похідних у різних галузях промисловості України. На сьогодні фенольні сполуки широко використовують у виробництві фенол-формальдегідних смол, пластмас, барвників, пестицидів, синтетичних волокон і вибухівки. Нафтодобувні, коксохімічні заводи, а також нафто- і вуглепереробні комплекси є активними джерелами надходження фенолу в атмосферу та поверхневі водойми. Особливу небезпеку фенол становить у коксохімічному виробництві.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Феноли є одним із найпоширеніших забруднювачів, які надходять у поверхневі води зі стоками підприємств нафтопереробної, лісохімічної, коксохімічної, анілінофарбової промисловості, у результаті лісосплаву, а також зі стоками гідролісної промисловості [1].

Феноли являють собою похідні бензолу C_6H_6 з однією або кількома гідроксильними групами. Їх прийнято класифікувати на дві групи:

- леткі з парою феноли (фенол, крезоли);
- нелеткі феноли (резорцин, пірокатехін, гідрохінон, пірогалол та інші багатоатомні феноли):

Фенол C_6H_5OH (карболова кислота) має виражені антисептичні властивості, є речовиною з кристалічною структурою і характерним запахом, схожим на гуаш. У повітряному середовищі фенол може змінювати колір кристалів: рожевий з часом переходить в бурий. Ця властивість дає змогу використовувати цю сполуку у виробництві барвників. Менш отруйні крезולי $CH_3-C_6H_4OH$ застосовують як дезінфікуючі речовини, додаючи їх до мильних розчинів; нерозчинні у воді ксиленоли $(CH_3)_2-C_6H_4OH$ використовують для отримання штучних смол; м'який антисептик тимол — $C_{10}H_{13}OH$ — додають до зубних порошоків, паст [2].

Антисептична здатність фенолу — знищення бактерій — широко використовується в лікарнях для знезараження інструментарію та кабінетів. Раніше він слугував лікарським засобом: вживання всередину допомагало не тільки вбити шкідливих мікробів, а й сприяло зменшенню болю. Аспірин — відомий препарат, виробляється саме на основі фенол-саліцилових кислот. Хворі на туберкульоз приймають ліки на фенольній основі. У молекулярній біології та генетиці фенол застосовують у процесі виділення ДНК. Здатність речовини до знезараження використовується легкою промисловістю для дублення шкір. Сільськогосподарська галузь використовує фенол для захисту рослин від шкідників [3]. Проте найактивніше феноли застосовують у хімічній галузі, що займається виготовленням синтетичного волокна.

Феноли широко застосовуються у виробництві пластмас, гум, мийних засобів, палива, епоксидних смол та інших речовин. Незважаючи на всю його важливість, цю органічну сполуку можна виявити в атмосферному повітрі, стічних водах, ґрунті та ґрунті. Це сприяє токсичному впливу на навколишнє середовище і на живий організм загалом. Основна частина виробленого у світі фенолу використовується для отримання феноло-формальдегідних смол. Крім того, феноли та їхні похідні знаходять застосування у виробництві ПАР, сільському господарстві (пестициди), в медицині. Нижче наведено деякі лікарські засоби, що містять фенольні фрагменти (рис. 1) [4].

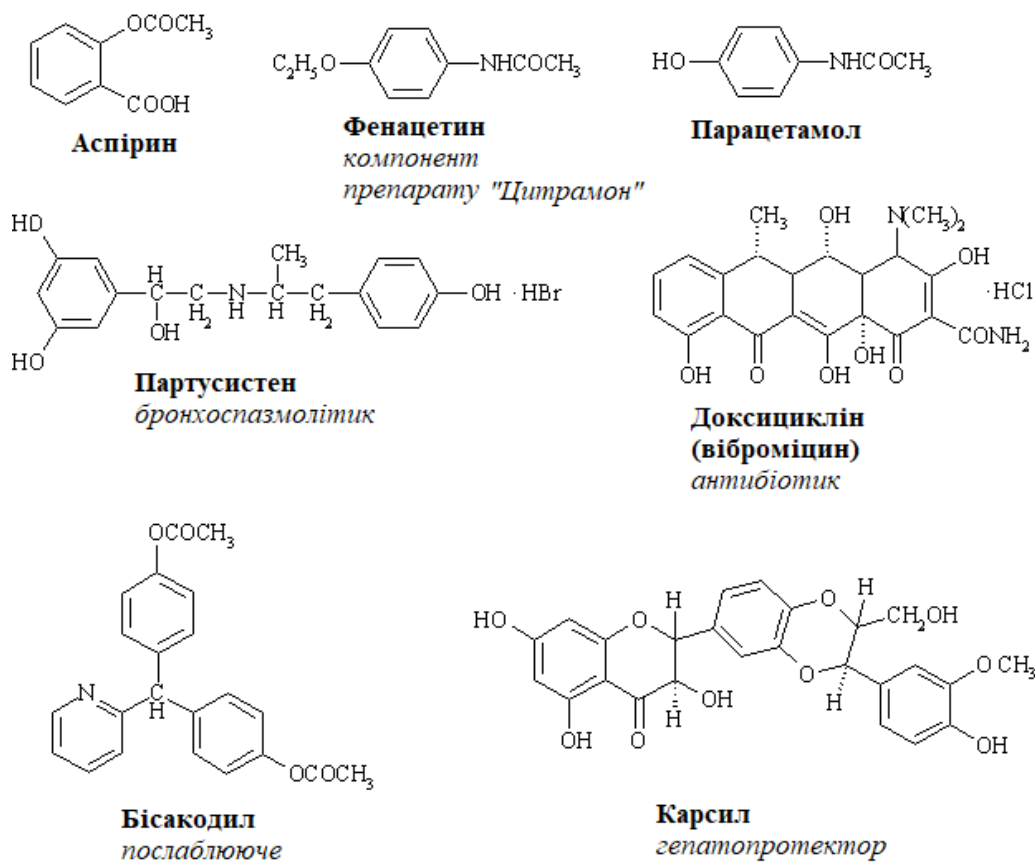


Рис. 1. Приклади застосування похідних фенолу у фармацевтичній галузі

Формулювання мети роботи

Мета роботи — надати загальну характеристику сферам застосування фенолу і його похідних у промисловості, охарактеризувати негативний вплив цих сполук на організм людини та обґрунтувати ефективні і економічні методи очищення фенолвмісних стічних вод сорбційними матеріалами вітчизняного виробництва.

Виклад основного матеріалу

За своєю токсичністю ця сполука належить до 2-го класу небезпеки. Летальне дозування подібних сполук (наприклад, хлороформ, сполуки миш'яку, літію, свинцю) становить від 15 до 150 мг на кілограм маси тіла, враховуючи властивості речовини [5]. Ці сполуки чинять негативний вплив не тільки на людину, а й на навколишню природу.

Феноли, що виділяються з кам'яновугільної смоли, а також одержувані окисленням ароматичних вуглеводнів, є отруйними для людського організму речовинами і належать до II класу небезпеки. Їхні токсичні впливи зумовлені гідрофобними ефектами та подальшим утворенням феноксильних радикалів. Механізм токсичності фенолів проявляється у зміні структури білкових молекул і порушенні функціонування клітин тіла [6].

Феноли — поширений вид забруднень промислових стічних вод. У незабруднених або слабозабруднених річкових водах вміст фенолів зазвичай не перевищує 20 мкг/дм³. У забруднених фенолами природних водах вміст їх може досягати десятків і навіть сотень мікрограмів в 1 дм³. Згідно з ГН 2.1.5.1315-03, ГДК фенолів у воді для України становить 0,001 мг/дм³.

Токсичний ефект фенолів проявляється на клітинному рівні (порушення дихання, пігментогенезу, біосинтезу білків, бар'єрних функцій мембран), що в свою чергу призводить до порушення життєдіяльності організмів (придушення росту і розмноження у водоростей, порушення рефлексу рівноваги, дихання, втрата рухової активності у риб тощо). У результаті хлорування води, що містить феноли, утворюються стійкі сполуки хлорфенолів, навіть незначні сліди яких (0,1 мкг/дм³) надають воді характерного присмаку [1, 5].

Промислові стічні води, що містять феноли — один із найбільш токсичних видів промислових стоків, що підлягають обов'язковому очищенню. Різноманітні сполуки, що містять феноли, ускладнюють підбір оптимальних способів їх знешкодження та утилізації. Це пов'язано з тим, що технологія повного очищення води, як правило, диктує дотримання особливих умов, які важко здійснити на практиці. Багато ефективних способів глибокого очищення фенолвмісних вод пов'язані з великими економічними та ресурсними витратами, використанням дефіцитних реагентів із подальшою їхньою регенерацією, утилізацією або захороненням відходів [7].

Фенол негативно впливає на живий організм, проникаючи через шкіру або всмоктуючись у слизову легенів. У токсикологічному й органолептичному відношенні феноли нерівноцінні. Летючі з парою феноли більш токсичні і мають інтенсивніший запах при хлоруванні. Частина фенолів в організмі зв'язується з білками, інша частина — піддається окисленню з утворенням гідроксінону і пірокатехіну. Незв'язаний фенол і його метаболіти (гідроксінон і пірокатехін) виділяються із сечею у вигляді кон'югатів із сульфатами та глюкуроновою кислотою [8].

Цитогенетичні ушкодження, зумовлені підвищенням вмістом у крові фенолу, свідчать про зниження стабільності функціонування клітин, що проявляються клінічно розвитком хронічних захворювань органів дихання та алергічної патології дихальних шляхів [9]. На ранніх стадіях інтоксикації дихання буває прискореним, але потім воно сповільнюється і стає менш глибоким. Температура тіла може бути як вищою, так і нижчою за нормальну. У деяких випадках спостерігаються судоми окремих м'язів обличчя або кінцівок, а також тремор і клонічні судоми, але ці симптоми ніколи не бувають чітко вираженими. Затверджені в законодавчому порядку санітарно-гігієнічні норми встановлюють гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних елементів. ГДК фенолу становить: максимальна разова ГДК у повітрі виробничих приміщень (ГДК р.з.) — 1 мг/м³ і середньодобова (ГДК с.с.) — 0,003 мг/м³ [5]. При пероральному потрапленні доза в 1 г смертельна для людини, смерть зазвичай спричиняється зупинкою дихання.

У виробничому середовищі вплив фенолу на організм людини здійснюється вдиханням його парів або шляхом контакту розчину фенолу зі шкірою. Це провокує хімічні опіки, серйозне подразнення слизових оболонок дихальних шляхів і очей, а також викликає порушення функцій нервової системи. У разі гострого отруєння, що супроводжує потраплення фенолу на шкі-

ру або вдихання його парів, спостерігається сильне печіння в місцях, що зазнали його безпосереднього впливу. Характерними ознаками отруєння фенолом є: опіки слизових тканин; виникнення сильного болю в ділянці рота, в горлі, животі; нудота, блювота, пронос; різка блідість, слабкість, набряк легень. Також можливі гострі алергічні прояви, зниження артеріального тиску, розвиток серцево-легеневої недостатності, виникнення судом. Однією з ознак отруєння є бурий колір сечі, що швидко темніє на повітрі. Хронічне отруєння фенолом спричиняє ураження центральної нервової системи, нервові розлади, що супроводжуються головним болем і втратою свідомості, а також ураження нирок, печінки, органів дихання та серцево-судинної системи [1, 5, 6].

Токсична дія фенолу безпосередньо пов'язана з концентрацією вільного фенолу в крові, який є загальною протоплазматичною отрутою. Кількість вільного фенолу в крові визначається як екзогенним надходженням, так і ендогенним утворенням у результаті метаболізму токсичних і біологічно активних речовин [10]. Вивчення впливу фенолу на організм працюючих внаслідок його поширеності, тропності до імунних механізмів і наявності мутагенних властивостей є вельми актуальною темою, тим паче що наразі доступні лише обмежені відомості щодо впливу цього гаптена на імунний гомеостаз [11]. Вплив виробничих хімічних чинників на імунітет може сприяти збільшенню ризику розвитку низки захворювань, що зумовлює доцільність проведення дослідження імунної системи тих, хто працює в умовах шкідливого виробництва.

Відомо, що феноли лише незначною мірою (в середньому близько 20 %) окиснюються в організмі до CO_2 і H_2O . Більша частина їх (72 % від сублетальної дози), виводиться із сечею в першу добу у вільному і зв'язаному вигляді. Частково фенол здатний окислюватися в організмі до гідрохінону і меншою мірою до пірокатехіну. Низка дослідників відзначає підвищене виділення фенолу із сечею в осіб, які контактують із ним або іншими ароматичними вуглеводнями, здатними перетворюватися в організмі на фенол та його похідні [5, 6, 10, 11]. Крім того, останнім часом з'явилося багато робіт, у яких показано зміну процесу виділення фенолів із сечею в разі цілої низки захворювань: лейкозів, перніціозної анемії, колагенозів, хвороб печінки і нервової системи. Це зумовлено ендогенним порушенням обміну ароматичних амінокислот (тирозин, фенілаланін).

Промислові стічні води, що містять феноли, підлягають обов'язковій утилізації або очищенню. Більшість ефективних методів очищення стічних вод від фенолів є ресурсовитратними, зокрема потребують використання великих кількостей дефіцитних реагентів з подальшою їхньою регенерацією, утилізацією або захороненням відходів [12].

На сьогодні підприємства хімічної, нафтохімічної та коксохімічної промисловості є великими споживачами води. Воду на цих підприємствах використовують для промивання обладнання, для нагрівання й охолодження продуктів і промислового обладнання, для приготування розчинів із різних реагентів, тощо. Характерна особливість утворених при цьому стічних вод полягає в тому, що в них міститься велика кількість розчинених органічних речовин, нафтопродуктів і фенолів [13]. За відсутності ефективного очищення промислових стічних вод на підприємстві зростає антропогенне навантаження на навколишнє середовище, яке може призвести до незворотних екологічних наслідків.

Технологічні схеми та обладнання, які використовуються для очищення стічних вод від фенолів на більшості діючих підприємствах застаріли, що негативно впливає на навколишнє середовище. Тому вдосконалення та вирішення проблем очищення стічних вод з використанням комплексних рішень мають можливість досягнення нормативних вимог до очищеної води.

Сорбенти, які випускаються промисловістю, мають досить високу вартість, що обумовлює низьку економічну доцільність їх застосування для очищення води від фенолів [20]. У технологіях очищення стічних вод підприємств важкої промисловості від фенолів зазвичай застосовуються насипні адсорбційні фільтри із зернистим завантаженням. Перспективним є використання для очищення стічних вод дешевих і доступних сорбентів, наприклад, різних глинистих мінералів [21].

З економічних міркувань регенерація фенолів зі стічних вод доцільна, якщо їх концентрація перевищує 2 г/дм^3 , проте іноді регенераційні методи застосовують і за нижчих концентрацій. До найпоширеніших методів регенераційного очищення стічних вод від фенолів відно-

сять екстракцію, випарювання, сорбцію, біологічне очищення [22]. Методом багатоступеневої екстракції, застосовуючи такі екстрагенти, як бензол, бутилацетат, досягається вилучення фенолів на 90—95 % за залишкових концентрацій 200—300 мг/дм³. Збільшуючи кількість ступенів і питому витрату екстрагента, можна отримати на виході концентрацію фенолу 15—20 мг/дм³, однак, як правило, промислові установки на таке очищення не розраховані. З очищеною водою втрачається від 100 до 300 мг/дм³ екстрагента, який потім відганяється [23].

На випарних установках очищають щорічно понад 10 млн м³ феноловмісних стічних вод. Ефективність вилучення фенолів при цьому становить 90—93 %, а залишкова концентрація — 200—300 мг/дм³. Очищення забрудненої фенолами пари проводять у скруберах під час зрошення їх розчином луґу. Утворений при цьому фенолят надходить на переробку. Випарні установки особливо характерні для коксохімічних заводів [24].

Біологічне очищення промислових стічних вод від фенолів виконують на біофільтрах або в аеротенках. Споруди біологічного очищення, розраховані на очищення господарсько-побутових стічних вод або їхніх сумішей із промисловими водами, здатні переробляти феноли за концентрації не вище 50 мг/л. Нині біологічному очищенню піддається більшість промислових і побутових стічних вод перед їх скиданням у водойми [25].

Сорбція фенолів на органічних сорбентах можлива, коли не ставлять завдання витягання фенолів і їх повторного використання. Сорбційна здатність активованого вугілля щодо фенолу залежить від його походження. Хімічна активація і фізико-хімічна обробка істотно підвищують адсорбційну ємність вуглецевого матеріалу за фенолом, проте збільшує собівартість процесу очищення води. Тому з економічного точки зору вигідніше застосовувати доступні мінеральні сорбенти на основі природних глинистих мінералів, які не потребують регенерації та після виділення фенолів із води можуть бути економічно утилізовані, наприклад у виробництві геобар'єрів або дорожніх покриттів [26].

Висновки

1. Фенол є важливим складовим елементом багатьох технологічних процесів, однак через свою високу токсичність він представляє значну небезпеку організму людини.
2. Підвищення вимог до нормативів допустимого скидання стічних вод потребує застосування більш ефективних та екологічно прийнятних способів їх очищення з дотриманням ГДК фенолів, зокрема, методом адсорбції.
3. Встановлено можливість ефективного очищення промислових стічних вод від фенолу методом адсорбції. Питома ємність вітчизняних сорбційних матеріалів може досягати 240 мг/г.

Таблиця 1. Співставлення ефективності очищення водних систем від фенолу адсорбентами вітчизняного виробництва

Адсорбент	Максимальна ємність за фенолом, мг/г	Посилання
Активоване буре вугілля	240	[14]
Композиційний сорбент F300-MnO ₂	235	[15]
Вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал АУВМ-66	40	[16]
Вуглецеві сорбенти марок F-300, Акант і КАУ	15–18	[17]
Монтморилоніт	0,11	[18]
Каолін	5,2	[19]
Бентоніт	5,2	
Палигорськіт	5,4	
Глауконіт	5,1	
Біла глина	6,8	
Цеоліт природний	7,1	
Пірофіліт	4,0	
Смектит	5,7	

Список використаної літератури

1. Курта С.А., Лучкевич Є.Р., Матківський М.П. Хімія органічних сполук. Івано-Франківськ : Прикарпат. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2012. 608 с.
2. Біоорганічна хімія. у 2 кн.: Кн. 1. Біоорганічна хімія / за ред. Б.С. Зіменковського, І.В. Ніженковської. К.: Медицина, 2017. 272 с.
3. Біохімія / Л.І. Остапченко та ін. К.: Київський університет, 2016. 798 с.
4. Фармацевтична хімія / за ред. П.О. Безуглого. Вінниця: Нова Книга, 2008. 560 с.
5. Скалецький Ю.М., Мисула І.Р. Військова токсикологія, радіологія та медичний захист. Тернопіль: Укрмедкнига, 2003. 362 с.
6. Клінічна фармація / за ред. В.П. Черних та ін. Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний медичний університет, 2013. 1662 с.
7. Galkina O., Kunytskyi S., Shevchenko T. The Effectiveness of the Implementation of Research Results in a Technological Scheme of Water Purification. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2022. Т. 30. № 4. С. 17-22. <https://doi.org/10.2478/sjce-2022-0024>
8. Ткачишин В. С. Інтоксикація бензолом. *Медицина невідкладних станів*. 2021. Т 17. № 7. С. 5-9. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.17.7.2021.244587>
9. Чумаченко Н.Г. Роль екологічних та генетичних чинників у формуванні бронхіальної астми в дітей (огляд літератури). *Перинатологія та педіатрія*. 2016. № 3. С. 127–130.
10. Нековаль І.В., Казанюк Т.В. Фармакологія. К.: ВСВ «Медицина», 2011. 520 с.
11. Клінічна фармакологія / за заг. ред. М. І. Яблчанського, В. М. Савченка. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. 405 с.
12. Гребенюк Т. В. Аналіз методів очищення стічних вод від фенолів. *Актуальні наукові дослідження в сучасному світі*. 2019. № 2. С. 50–54.
13. Dossumova V.T. et al. Natural waters and industrial wastewater, wastewater with phenol-containing compounds, methods of water purification. *Rasayan Journal of Chemistry*. 2023. Т. 16. № 3. С. 1591–1598. <http://doi.org/10.31788/RJC.2023.1638403>
14. Тамаркіна Ю.В., Кучеренко В.О., Величко О.О. Вплив температури лужної активації на пористу структуру активованого бурого вугілля та його адсорбційну здатність стосовно фенолу. *Питання хімії та хімічної технології*. 2021. № 2, С. 132–138. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2021-135-2-132-138>
15. Хохотва О., Бутченко Л. Дослідження процесів сорбційного вилучення фенолу композиційним сорбентом F300-MnO₂. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2022. № 1 (11). С. 64–68. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.01.10>
16. Кононко І. В. та ін. Вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал та екологія. Застосування для захисту довкілля. *Довкілля та здоров'я*. 2014. № 4 (71). С. 24–29.
17. Забнева О.В., Смолін С.К., Синельникова А.В. Дослідження здатності різних марок активного вугілля до адсорбції фенолу з водного розчину. *The 1st International scientific and practical conference "European scientific congress", Barca Academy Publishing, Madrid, Spain*. 2023. С. 149–152.
18. Вяткіна О.В. Адсорбція та окислювальна деструкція фенолів на монтморилонітах у водних середовищах у присутності перекису водню. *Український хімічний журнал*. 2006. Т. 72, № 1. С. 44–47.
19. Артеменко І.О., Геращенко І.І., Паховчишин С.В. Порівняльне вивчення адсорбційних властивостей природних алюмосилікатів. *Фармацевтичний журнал*. 2008. Т. 4. С. 70–73.
20. Sinkevych I. et al. An Effective Way of Removing Organic Chemical Contaminants from Wastewater. *International Conference on Reliable Systems Engineering*. 2023. С. 532–540. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7_43
21. Накемпій О., Володченкова Н. Перспективні методи очищення стічних вод коксового виробництва. *Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки*. 2023. С. 120–122.
22. Галкіна О.П., Дегтяр М.В. Технології очищення фенольних стічних вод. *Екологія і виробництво*. 2019. № 5. С. 32–36. <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-7>

23. Nevolina I.V., Ryazantseva N.A., Bibyaeva Y.V. Research on Wastewater Processing and Disposal of Coke-Plant Wastes at AO VUKhIN. *Coke and Chemistry*. 2021. Т. 64. С. 130–135. <https://doi.org/10.3103/S1068364X21030066>
24. Тищук В.Ю., Ковальова І.Б., Кривенко Т.А. Розвиток основ біохімічного очищення стічних вод коксохімічних виробництв. *Гірничий вісник*. 2018. №. 103. С. 203–208. <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2018-1-103-202-208>
25. Іванченко А. В. та ін. Дослідження технології біохімічної очистки стічних вод ПАТ ЄВРАЗ Дніпродзержинський КХЗ. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки*. 2014. №. 1. С. 264–269.
26. Іванченко А. В., Хавікова К. Є. Комплексне очищення промислових фенольних стічних вод з використанням адсорбентів з природної сировини. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. №. 2. С. 27–34. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-143-2-27-34>

ANALYSIS OF METHODS OF WASTEWATER TREATMENT FROM PHENOLS AND THEIR TOXICOLOGICAL EFFECTS ON HUMAN

Abstract

The article deals with the negative impact on the human body of one of the most common environmental pollutants – phenol. This pollutant enters surface waters with the wastewater from the oil refining, oil shale processing, timber, coke and paint industries. Phenol is widely used in many industries (light, medical, chemical, etc.). However, despite this, phenol is a hazardous toxic substance that requires safety precautions and personal protective equipment during production and use. Given the danger posed by phenol and its compounds, the article provides information on the effects of these substances on the human body, its various systems and organs. Information on methods for removing phenol from industrial wastewater, as well as various methods of water purification from phenol and its compounds, are presented. Promising methods of industrial wastewater treatment from phenols with the lowest economic costs due to the selection of effective industrial sorbents are characterized.

References

- [1] Kurta, S.A., Luchkevych, YE.R., & Matkivs'kyi, M.P. (2012). *Khimiya orhanichnykh spolk [Chemistry of organic compounds]*. Ivano-Frankivs'k: Prykarpat. nat. univ. im. V. Stefanyka [in Ukrainian].
- [2] Zimenkovs'kyi, B.S., & Nizhenkovs'ka, I.V. (Eds.) (2017). *Bioorhanichna khimiya [Bioorganic chemistry]*. Kyiv: Medytsyna [in Ukrainian].
- [3] Ostapchenko, L.I. et al. (2016). *Biokhimiya [Biochemistry]*. Kyiv: Kyyivs'kyi universytet [in Ukrainian].
- [4] Bezuhlyy, P.O. (Ed.) (2008). *Farmatsevtichna khimiya [Pharmaceutical chemistry]*. Vinnytsya: Nova Knyha [in Ukrainian].
- [5] Skalets'kyi, YU.M., & Mysula, I.R. (2003). *Viys'kova toksykologiya, radiologiya ta medychnyy za-khyst [Military toxicology, radiology and medical protection]*. Ternopil': Ukrmedknyha [in Ukrainian].
- [6] Chernykh, V.P. et al. (Eds.) (2013). *Klinichna farmatsiya [Clinical Pharmacy]*. Ivano-Frankivs'k: Ivano-Frankivs'kyi natsional'nyy medychnyy universytet [in Ukrainian].
- [7] Galkina, O., Kunytskyi, S., & Shevchenko, T. (2022). The Effectiveness of the Implementation of Research Results in a Technological Scheme of Water Purification. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 30(4), 17-22.
- [8] Tkachyshyn, V. (2021). Benzene poisoning. *Emergency Medicine*, 17(7), 5-9 [in Ukrainian].
- [9] Chumachenko, N.H. (2016). Rol' ekolohichnykh ta henetychnykh chynnykiv u formuvanni bronkhial'noyi astmy v ditey (ohlyad literatury) [The role of environmental and genetic factors in the formation of bronchial asthma in children (literature review)]. *Perynatolohyya y pedyatryya – Perinatology and pediatrics*, 3, 127-130 [in Ukrainian].

- [10] Nekoval', I.V., & Kazanyuk, T.V. (2011). *Farmakolohiya [Pharmacology]*. Kyiv: VSV «Medytsyna» [in Ukrainian].
- [11] Yabluchans'kyi, M.I., & Savchenko, V.M. (Eds.) (2011). *Klinichna farmakolohiya [Clinical pharmacology]*. Kharkiv: KHNU imeni V. N. Karazina [in Ukrainian].
- [12] Hrebenyuk, T.V. (2019). Analiz metodiv ochyshchennya stichnykh vod vid fenoliv [Analysis of wastewater treatment methods from phenols]. *Aktual'nye nauchnye yssledovannya v sovremennom myre - Actual scientific research in the modern world*, 2, 50-54 [in Ukrainian].
- [13] Dossumova, B.T., Sassykova, L.R., Shakiyeva, T.V., Mukhtaly, D., Baizhomartov, B., Kanapiyeva, F.M., & Hideki Kurokawa, H. (2023). Natural waters and industrial wastewater, wastewater with phenol-containing compounds, methods of water purification. *Rasayan Journal of Chemistry*, 16, 1591-1598.
- [14] Tamarkina, YU.V., Kucherenko, V.O., & Velychko, O.O. (2021). Vplyv temperatury luzhnoyi akty-vatsiyi na porystu strukturu aktyvovanoho buroho vuhillya ta yoho adsorbtsiyu zdatnist' sto-sovno fenolu [Influence of alkaline activation temperature on the porous structure of the activated brown coal and its capacity to adsorb phenol]. *Pytannya khimiyi ta khimichnoyi tekhnolohiyi – Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2, 132-138 [in Ukrainian].
- [15] Khokhotva, O., & Butchenko, L. (2022). Doslidzhennya protsesiv sorbtsiyynoho vyluchennya fenolu kompozytsiynym sorbentom F300-MnO₂ [Investigation of phenol sorption removal process by composite sorbent F300-MnO₂]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Seriya: Novi rishennya u suchasnykh tekhnolohiyakh - Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*, 1(11), 64-68 [in Ukrainian].
- [16] Kononko, I.V., Shcherbyts'ka, O.V., Klipov, V.D., Serhyeyev, V.P., & Uvarova, I.V. (2014). Vuhletsevy nanostrukturnyy voloknysty material ta ekolohiya. Zastosuvannya dlya zakhystu dovkillya [Carbon nanostructured fibrous material and ecology. Application for environmental protection]. *Dovkillya ta zdorov'ya - Environment and Health*, 4(71), 24-29 [in Ukrainian].
- [17] Zabnyeva, O.V., Smolin, S.K., & Synel'nykova, A.V. (2023). Doslidzhennya zdatnosti riznykh marok aktyvnoho vuhillya do adsorbtsiyi fenolu z vodnoho rozchynu [Investigation of the ability of different brands of activated carbon to adsorb phenol from an aqueous solution]. *The 1st International scientific and practical conference "European scientific congress", Barca Academy Publishing, Madrid, Spain*, 149-152 [in Ukrainian].
- [18] Vyatkina, O.V. (2006). Adsorbtsiya ta oksylyuval'na destruktsiya fenoliv na montmorylonitakh u vodnykh seredovyschakh u prysutnosti perekysu vodnyu [Adsorption and oxidative destruction of phenols on montmorillonites in aqueous media in the presence of hydrogen peroxide]. *Ukrayins'kyi khimichnyy zhurnal – Ukrainian Chemical Journal*, 72(1), 44-47 [in Ukrainian].
- [19] Artemenko, I.O., Herashchenko, I.I., & Pakhovchyshyn, S.V. (2008). Porivnyal'ne vuvchennya adsorbtsiynykh vlastyvostry pryrodneykh alyumosylykatyv [Comparative study of adsorption properties of natural aluminosilicates]. *Farmatsevtichnyy zhurnal – Pharmaceutical Journal*, 4, 70-73 [in Ukrainian].
- [20] Sinkevych, I., Tulska, A., Mardupenko, O., Rezvaya, K., & Vakal, V. (2023). An Effective Way of Removing Organic Chemical Contaminants from Wastewater. In: *Cioboatã, D.D. (eds) International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2023. ICoRSE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, 762, 532-540.
- [21] Nakempiy, O., & Volodchenkova, N. (2023). Perspektyvni metody ochyshchennya stichnykh vod koksovoho vyrobnytstva [Promising methods of wastewater treatment of coke production]. *Problemy okhorony pratsi, promyslovoyi ta tsyvil'noyi bezpeky – Problems of labor protection, industrial and civil safety*, 120-122 [in Ukrainian].
- [22] Halkina, O.P., & Dehtyar, M.V. (2019). Tekhnolohiyi ochyshchennya fenol'nykh stichnykh vod [Technologies for the treatment of phenolic wastewater]. *Ekolohiya i vyrobnytstvo – Ecology and production*, 5, 32-36 [in Ukrainian].
- [23] Nevolina, I.V., Ryazantseva, N.A., & Bibyaeva, Y.V. (2021). Research on Wastewater Processing and Disposal of Coke-Plant Wastes at AO VUKhIN. *Coke and Chemistry*, 64, 130-135.

- [24] Tyshchuk, V.YU., Koval'ova, I.B., & Kryvenko, T.A. (2018). Rozvytok osnov biokhimichnoho ochyshchennya stichnykh vod koksokhimichnykh vyrobnytstv [Development of the basics of biochemical wastewater treatment of coke chemical industries]. *Hirnychyy visnyk – Mining Herald*, 103, 203-208 [in Ukrainian].
- [25] Ivanchenko, A.V., Dupenko, O.O., Kryvorot, M.A., & Voloshyn, M.D. (2014). Doslidzhennya tekhnolohiyi biokhimichnoyi ochystky stichnykh vod PAT YEVRIZ Dniprodzerzhyns'kyy KKHZ [Research on biochemical wastewater treatment technology of PJSC EVRAZ Dniprodzerzhynsk KHZ]. *Zbirnyk naukovykh prats' Dniprodzerzhyns'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Collection of scientific works of the Dniprodzerzhyn State Technical University. Technical Sciences*, 1, 264-269 [in Ukrainian].
- [26] Ivanchenko, A.V., & Khavikova, K.YE. (2019). Kompleksne ochyshchennya promyslovykh fenol'nykh stichnykh vod z vykorystannyam adsorbentiv z pryrodnoyi syrovyny [Complex treatment of industrial phenolic wastewater using adsorbents from natural raw materials]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, 2, 27-34 [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 26.02.2024