

УДК 551.570.04

М.П. Баштаннік, Н.С. Жемера, Є.М. Кіптенко, Т.В. Козленко

СТАН ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ

Представлено результати дослідження просторово-часових закономірностей розподілу викидів та концентрацій забруднювальних речовин у повітрі над територією України протягом 1990-2012 рр. Дано оцінку якості атмосферного повітря в 53 промислових містах відповідно до гранично допустимих концентрацій (ГДК). Виявлено, що коливання середніх рівнів забруднення характеризуються довгоперіодними змінами, які проявились в останні 20 років у зв'язку з різким зменшенням промислових викидів та збільшенням автотранспортних. Розглянуто залежність концентрацій деяких домішок від температури повітря, сонячної радіації та опадів.

Ключові слова: якість, викиди, забруднювальні речовини, концентрація, динаміка, коефіцієнт кореляції.

Вступ

Атмосфера відіграє головну роль у глобальному, регіональному та локальному перенесенні забруднювальних речовин (ЗР) та забрудненні природного середовища. Зростаючі антропогенні навантаження послаблюють природний процес самоочищення атмосфери, що призводить до накопичення шкідливих домішок, які зумовлюють її забруднення (хімічне, радіоактивне, біологічне, теплове та електростатичне). Глобальними наслідками забруднення атмосфери виявилось накопичення в ній парникових газів та виснаження озонового шару. На регіональному рівні це призвело до закислення атмосферної вологи і випадання кислотних опадів, збільшення концентрації приземного озону, зростання рівнів пріоритетних ЗР, що значно погіршило якість повітря.

Атмосферні навантаження ЗР і рівні їх приземних концентрацій обумовлюються викидами внутрішніх (національних) і зовнішніх джерел. Особливістю викидів від національних джерел є нерівномірне розміщення їх по території країни, що відображає деформовану структуру економіки, спрямовану на промислові агломерації в місцях знаходження сировини.

Матеріали та метод дослідження

Вихідною інформацією для дослідження моніторингу забруднення атмосферного повітря над територією України є викиди забруднювальних речовин промислових джерел (завислі речовини, діоксид сірки, оксид вуглецю, оксиди азоту та ін.) за даними статистичного управління. Визначаль-

ні дані – приземні концентрації домішок стаціонарних постів спостережень Гідрометслужби за період 1990-2012 рр. у 53 містах. Опрацювання інформації щодо викидів забруднювальних речовин та їх концентрацій ґрунтувалось на фізико-статистичному аналізі. Забруднювальні речовини та їх концентрації представлено статистичними параметрами (середніми, максимальними, мінімальними порівняно з гранично допустимими концентраціями (ГДК с.д.). Приведено порівняння викидів забруднювальних речовин від стаціонарних (промислових) джерел і приземних концентрацій, побудовано графіки та розраховано коефіцієнти кореляції залежності концентрацій деяких домішок від температури повітря, сонячної радіації. Результати аналізу якості атмосферного повітря та тенденції його змін у містах України представлено через зображення концентрацій деяких домішок за окремі роки у вигляді діаграм на карті.

Викиди ЗР від промислових (стаціонарних) джерел України

Основними забруднювачами атмосферного повітря є стаціонарні джерела, до яких належать промислові підприємства, теплові електростанції та котельні. Від цих джерел у повітряний простір України щорічно надходить велика частина ЗР, які зумовлюють стійке забруднення атмосферного повітря. На кінець періоду 1990-2012 рр. загальні викиди від національних промислових джерел становили 4345,6 тис.т, або 46 % щодо 1990 р. (рис. 1).

В Україні значні атмосферні навантаження

ЗР здійснюються промисловими джерелами Донецького (Донецька й Луганська області) і Придніпровського (Дніпропетровська й Запорізька області) економічних регіонів, обсяги викидів яких дорівнюють 65-80 % від національних. Серед цих регіонів найбільша кількість шкідливих домішок в атмосферне повітря надходить від промислових джерел Донецької (30-40 % від валового викиду по Україні), Дніпропетровської (20-25 %), Луганської (10-12 %) областей (рис. 2). Найменше викидів (3-5 %) здійснюють підприємства Причорноморського економічного регіону (Миколаївська, Одеська, Херсонська області та АР Крим).

Найпоширенішими в атмосферному повітрі є основні забруднювальні речовини – завислі тверді частинки, діоксид сірки (SO_2), оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), які потрапляють в атмосферу під час спалювання органічного палива. Основну частину (60 % від національних) ЗР викидали підприємства Донецького й Придніпровського регіонів. Найбільше викидів твердих домішок – на території Донецької, Дніпропетровської та Луганської, а оксиду вуглецю – Донецької та Луганської областей (рис. 3).

Характерною особливістю національних викидів є значний уміст специфічних шкідливих домішок, які становлять третину від загальних об'ємів, 20 % – пріоритетні токсичні речовини (аміак, сірководень, фенол, формальдегід, фтористий і хлористий водень, бенз(а)пірен та ін.). В останній період спостерігається тенденція зростання їх концентрацій.

Найбільша кількість специфічних домішок надходить в атмосферу від підприємств металургійної, хімічної та нафтохімічної промисловостей Донецького й Придніпровського регіонів. Майже половина викидів токсичних речовин здійснювалася підприємствами Донецької та Луганської областей. Частка викидів летких органічних сполук (ЛОС) на території Донецької області становить 70-80 % від національних викидів.

Аналіз якості атмосферного повітря промислових міст України та тенденції його зміни

Спільний аналіз об'ємів промислових викидів окремих ЗР і їх приземних річних концентрацій свідчить, що мінливість їх величин від року до року не завжди корелюється зі змінами викидів. Найтісніша залежність існує між викидами

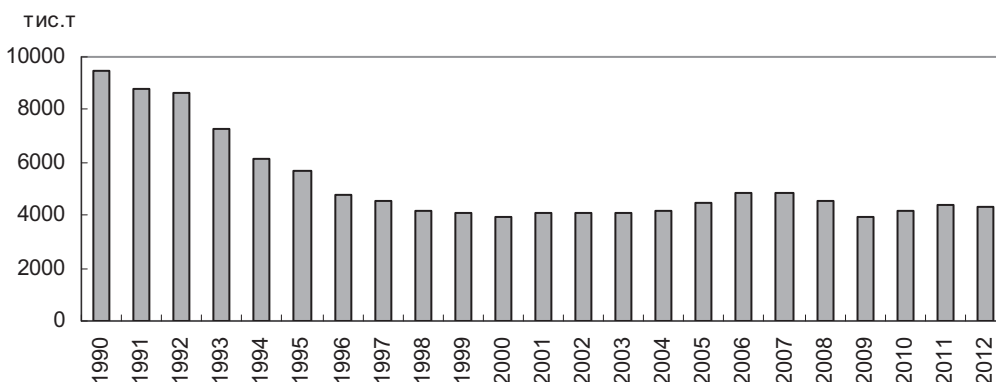


Рис. 1. Викиди забруднювальних речовин (тис. т) від стаціонарних джерел

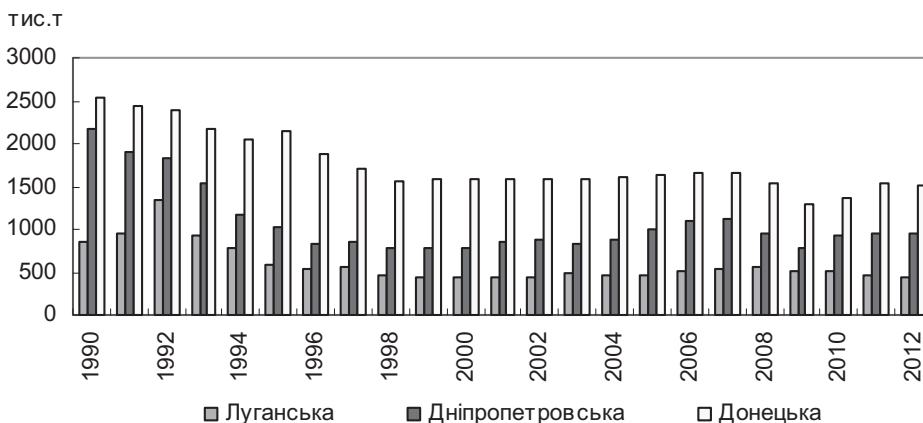


Рис. 2. Викиди забруднювальних речовин (тис. т) від стаціонарних джерел промислових областей України

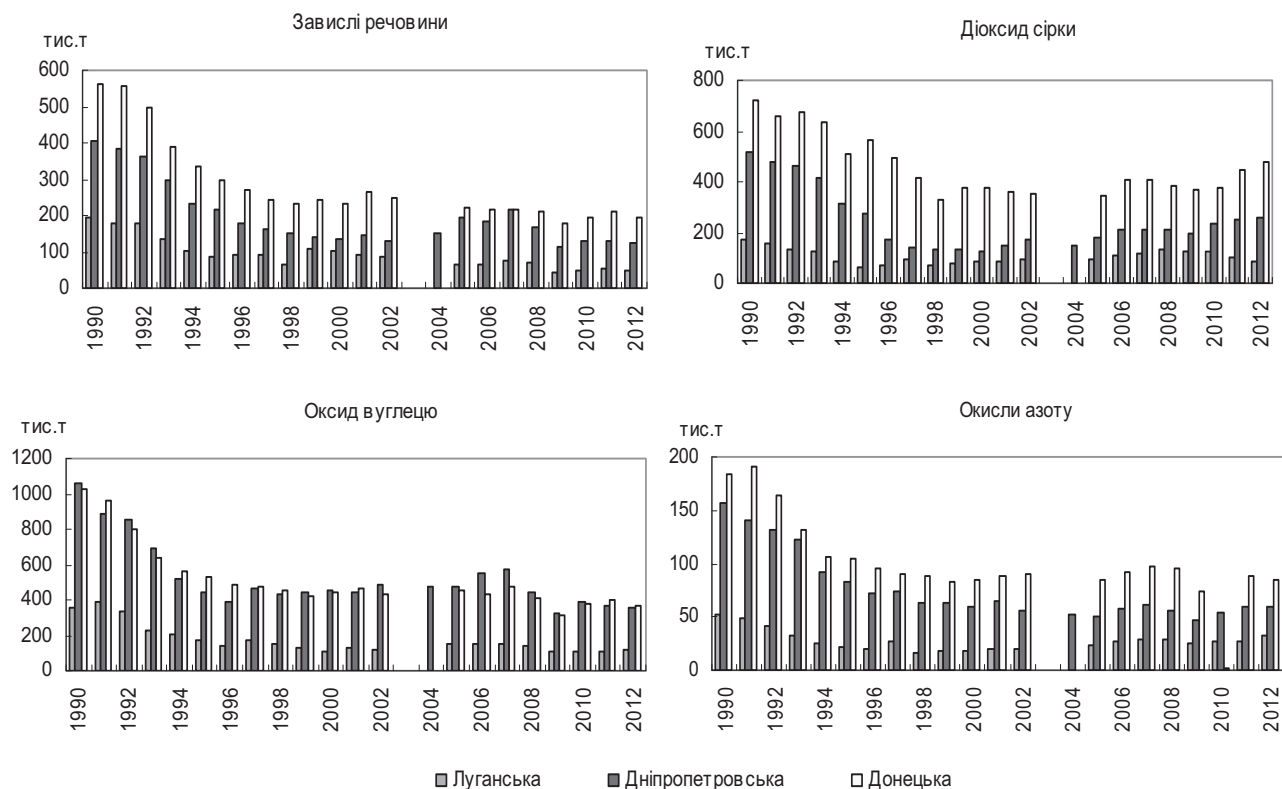


Рис. 3. Викиди основних забруднювальних речовин (тис. т) від стаціонарних джерел промислових областей України

та річними концентраціями діоксиду сірки, яка властива для більшості міст України.

У цілому за стабільною роботою промисловості викиди ЗР характеризуються статистичною стійкістю і можуть бути причиною лише довгоперіодних змін у режимі забруднення атмосфери. Коливання рівнів забруднення в містах за останні 20 років пов'язано із різким зменшенням промислових викидів та збільшенням автотранспортних.

Стан забруднення атмосферного повітря твердими завислими речовинами та тенденції його зміни

Близько 90 % усіх завислих частин надходять в атмосферу від природних джерел: емісії з поверхні ґрунту й гірських порід під час пилових бур у засушливих районах, завислих частинок морської солі в прибережних регіонах, лісових та степових пожеж, а також вулканів.

Антропогенні викиди твердих частин пов'язані, головним чином, з процесами спалювання вугілля й мазуту, сміття на міських звалищах, промисловим виробництвом, будівництвом споруд і транспортних доріг.

Сучасний стан забруднення атмосферного повітря завислими речовинами характеризується

величиною, яка в половини досліджуваних міст перевищує ГДК с.д. (0,15 мг/м³).

Зони найбільшого рівня забруднення атмосферного повітря на території України спостерігаються в містах промислових агломерацій Донецько-Придніпровського регіону та північній частині степової зони Криму (рис. 4).

У середньому за досліджуваний період на території міст Донецько-Придніпровського регіону, які розташовані близько територіально, сформувалась велика зона підвищеного забруднення атмосферного повітря завислими речовинами з максимальним рівнем на межі Донецької та Луганської областей (рис. 5). У повітрі Макіївки, Горлівки, Єнакієвого, Дзержинська (Донецька область), Алчевська (Луганська область) кількість завислих домішок становив 0,30-0,40 мг/м³, що в 2-2,5 рази вище за середні добові гранично допустимі концентрації. Високий вміст завислих речовин спостерігався також у повітрі Кривого Рогу та містах Криму (Красноперекопськ, Армянськ).

Порівняно значні (0,20-0,26 мг/м³) середні концентрації завислих речовин відмічено в атмосферному повітрі Донецька, Ялти, Олександрії, Кіровограда, Дніпропетровська, а також у Вінниці, Одесі, Сумах. Найменшу кількість

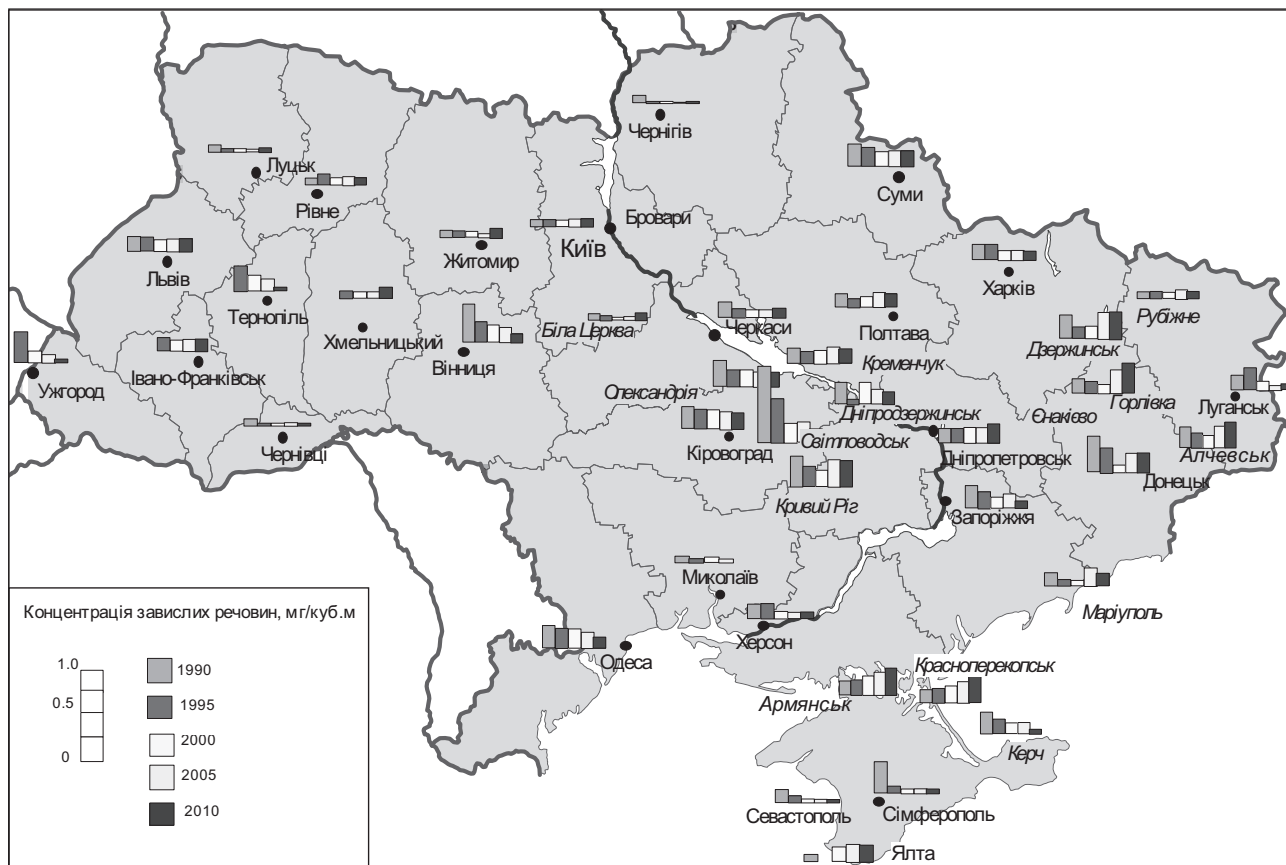


Рис. 4. Концентрація (мг/м³) завислих речовин в атмосферному повітрі міст України

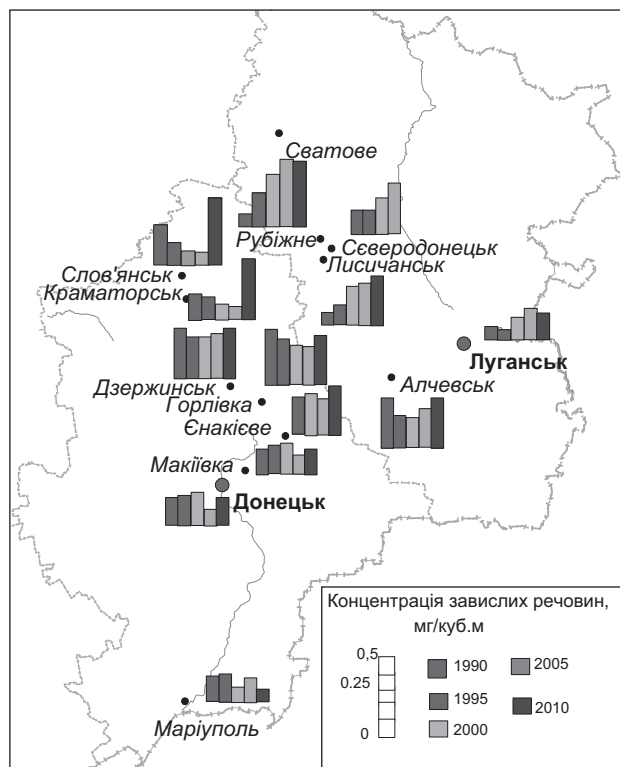


Рис 5. Концентрація завислих речовин (мг/м³) в атмосферному повітрі міст Донецько-Придніпровського регіону

(0,04-0,06 мг/м³) твердих домішок зафіксовано в містах Чернівці, Ізмаїл, Луцьк, Севастополь та Сімферополь. Серед міст України мінімальні концентрації завислих речовин відмічено в Чернігові.

За загальною тенденцією зменшення викидів твердих домішок протягом 1990-2010 рр. середні концентрації завислих речовин у повітрі міст Криму (Армянськ, Красноперкопськ, Ялта) і в промислових містах Донецько-Придніпровського регіону в останнє десятиріччя характеризуються позитивною динамікою (рис. 6, 7).

Подібна тенденція збережеться і в наступні роки у зв'язку з переходом промисловості на змішаний вид палива з усе більшою часткою вугілля.

Стан забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки (SO₂) та тенденції його зміни

Основним джерелом надходження діоксиду сірки в атмосферу є приземний (граничний) шар атмосфери завдяки емісії SO₂ від антропогенних і природних джерел. Від промислових джерел діоксид сірки надходить у результаті спалювання твердого та рідкого палива на теплових електростанціях, різноманітних котельнях та інших опа-

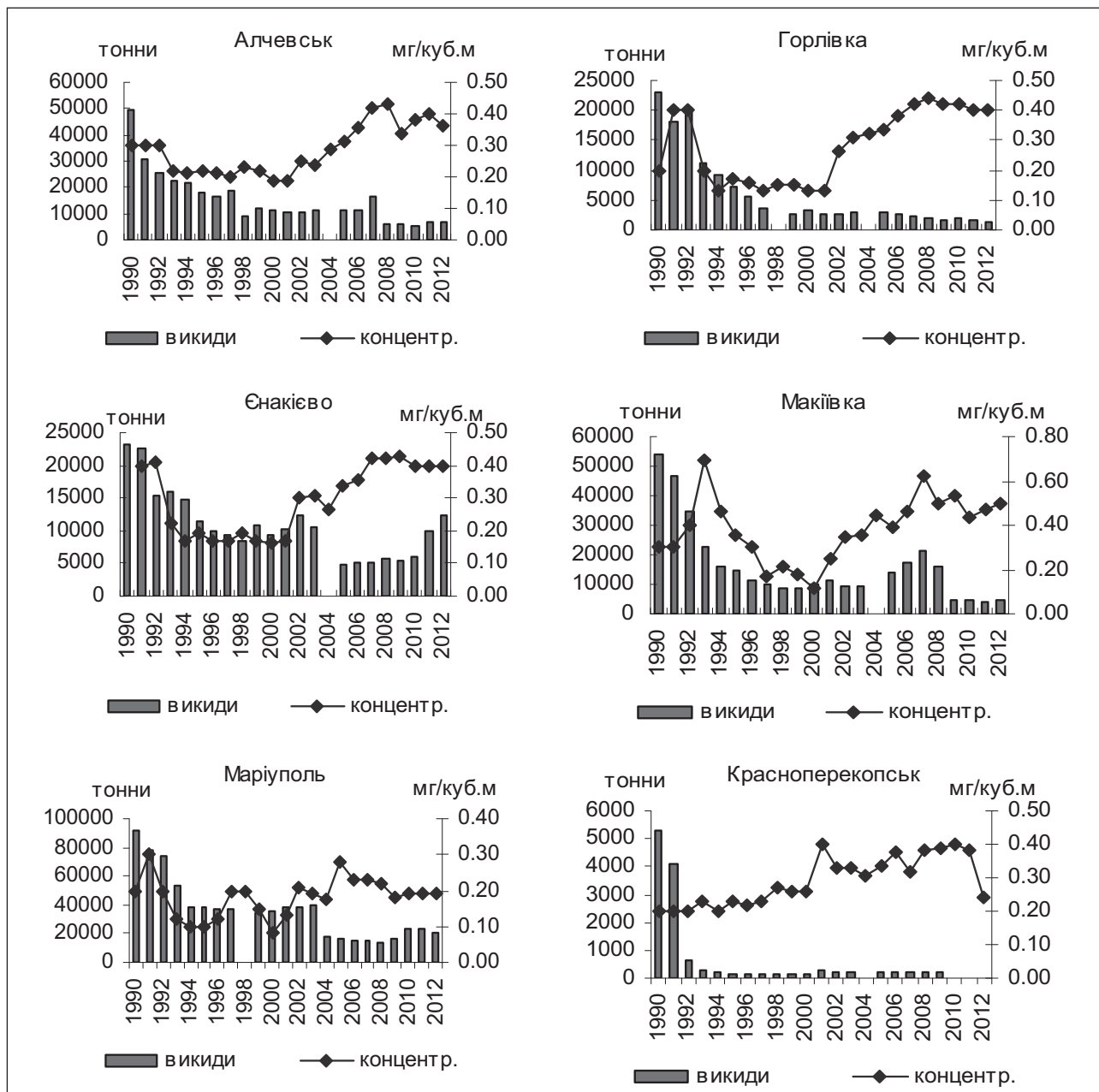


Рис. 6. Динаміка викидів (т) від стаціонарних джерел та концентрацій (мг/м³) завислих речовин в атмосферному повітрі міст



Рис. 7. Середня концентрація (мг/м³) завислих речовин в атмосферному повітрі міст Криму за окремі п'ятиріччя

лювальних спорудах, а також від металургійних підприємств. До природних джерел належить емісія сірководню та інших сполук сірки з поверхні ґрунту і прибережних зон з подальшим їх окисленням до SO₂.

Просторовий розподіл концентрацій діоксиду сірки в регіональному масштабі характеризується незначною амплітудою коливань їх рівнів (0,01-0,04 мг/м³).

Райони з найбільшим рівнем (0,04-0,05 мг/м³) забруднення SO₂ локалізувались на території Донецької області в містах промислових агломерацій (Дзержинськ, Горлівка, Єнакієве), на території Одеської області (Одеса, Ізмаїл), на півночі Криму (Армянськ, Красноперекіпськ) та в деяких містах Західного регіону (Львів, Івано-Франківськ). Мінімальний вміст (менш як 0,01 мг/куб. м) діоксиду сірки спостерігається в повітрі міст на крайньому північному заході (Луцьк, Рівне), Закарпатті (Ужгород) та Чернівцях (рис. 8).

Серед основних забруднювальних речовин динаміка річних об'ємів викидів і концентрацій SO₂ за період 1990–2010 рр. характеризується сут-

тєвим зменшенням їх рівнів (рис. 9). Найрізкіше зменшення вмісту діоксиду сірки в атмосфері відбулося в період 1990-1995 рр.

В останнє десятиріччя вміст діоксиду сірки в атмосферному повітрі в переважній більшості міст не перевищує ГДК с.д. (0,05 мг/м³).

Слід зауважити, що останніми роками в зв'язку з переходом промисловості на змішаний вид палива із все більшою часткою мазуту й вугілля, середні річні концентрації SO₂ в повітрі міст Луганської області та Криму відзначаються тенденцією до зростання (рис. 10).

Стан забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю (CO) та тенденції його зміни

Оксид вуглецю в атмосферне повітря в найбільшій кількості надходить з вихлопними газами автомобілів, а також із викидами підприємств нафтової, нафтопереробної промисловості, чорної металургії, теплових електростанцій. Основними природними джерелами є фотохімічне окислення вуглеводнів (ураховуючи метан), лісові й степові пожежі. Оксид вуглецю утворюється в разі неповного спалювання органічного пали-

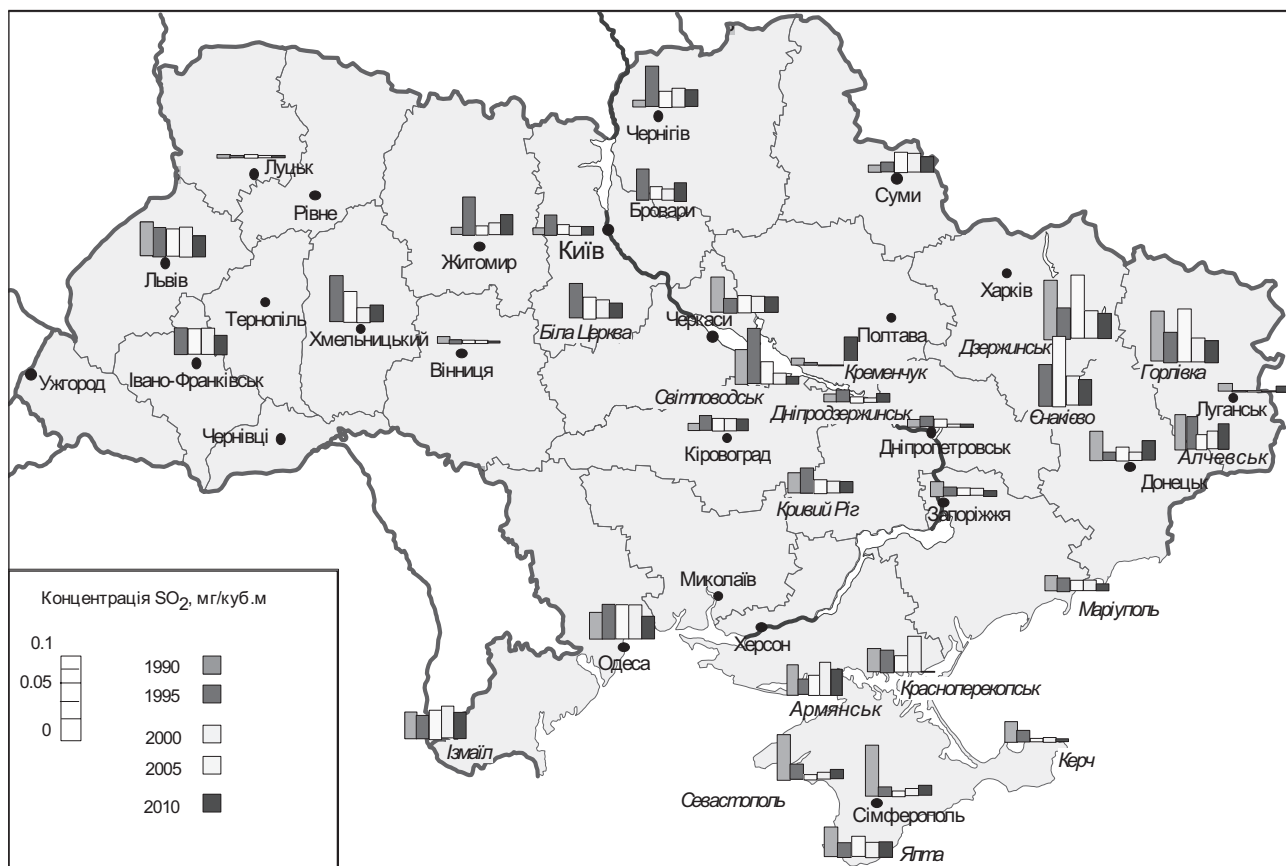


Рис. 8. Концентрація (мг/м³) діоксиду сірки в атмосферному повітрі міст України

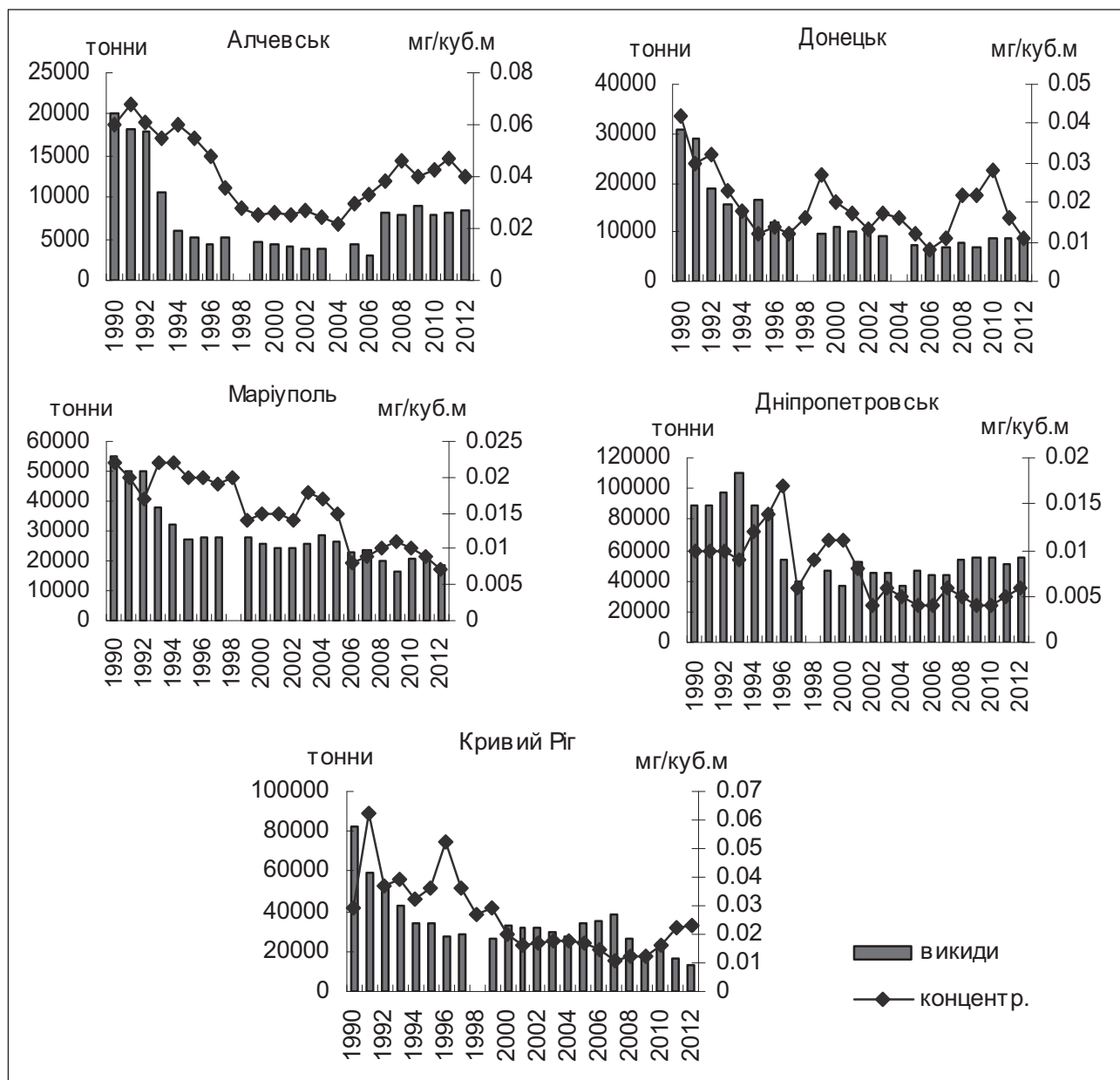


Рис. 9. Динаміка викидів (т) від промислових джерел та концентрацій (мг/м³) діоксиду сірки в атмосферно-му повітрі міст

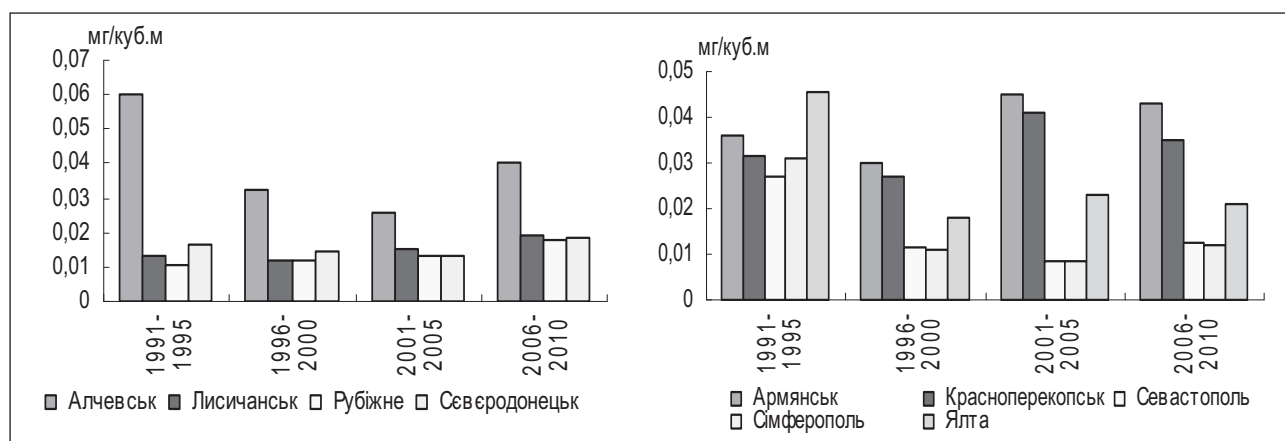


Рис.10. Середня концентрація (мг/м³) діоксиду сірки за окремі п'ятиріччя

ва. Він належить до інертного газу, не вступає в хімічні реакції з іншими домішками і майже не вимивається опадами. Його вміст регулюється, головним чином, умовами переносу й розсіювання [1].

Таким чином, інтенсивність антропогенного забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю визначається сукупним впливом як стаціонарних (промислових), так і пересувних джерел.

Значні стаціонарні джерела викидів СО зосереджено в Кривому Розі, Маріуполі, Запоріжжі, Дніпропетровську, Алчевську та інших промислових містах Донецько-Придніпровського регіону.

Вміст оксиду вуглецю в атмосферному повітрі характеризується значною просторово-часовою мінливістю. Середні річні концентрації СО в останнє десятиріччя (2000-2010 рр.) змінюються від 0,5-0,7 мг/м³ (Ізмаїл, Луцьк) до 4,7 мг/м³ (Рубіжне Луганської обл.) – рис. 11.

Найбільші концентрації (1,0-1,6 ГДК с.д.) оксиду вуглецю відмічено майже в усіх містах Донецько-Придніпровського регіону, на півночі

Криму в Армянську та Красноперекопську, а також в Одесі. Максимальні рівні СО спостерігалися в повітрі м. Рубіжне Луганської області.

Близький до рівня ГДК с.д. (3,0 мг/м³) вміст оксиду вуглецю відмічено в деяких містах Західного та Центрального регіонів (Львові, Івано-Франківську, Вінниці) та в Криму (Ялті). У повітрі міст Центрального регіону річні концентрації становлять 1,0-2,0 мг/м³.

Річний хід оксиду вуглецю протягом 1990-2010 рр. найскладніший. Приземні концентрації СО в повітрі міст характеризуються різною динамікою змін за відсутності кореляційної залежності між об'ємами викидів і рівнями концентрацій. У промислових містах на південному сході (Дніпропетровську, Запоріжжі, Донецьку, Алчевську та ін.) у разі зменшення викидів приземні концентрації СО відзначаються постійною величиною, а в повітрі міст Криму (Армянську, Красноперекопську), Одесі та промислових містах Луганської області – тенденцією до збільшення (рис. 12, 13).

На території міст, де переважає вплив автотранспорту (Київ), річний хід концентрацій СО

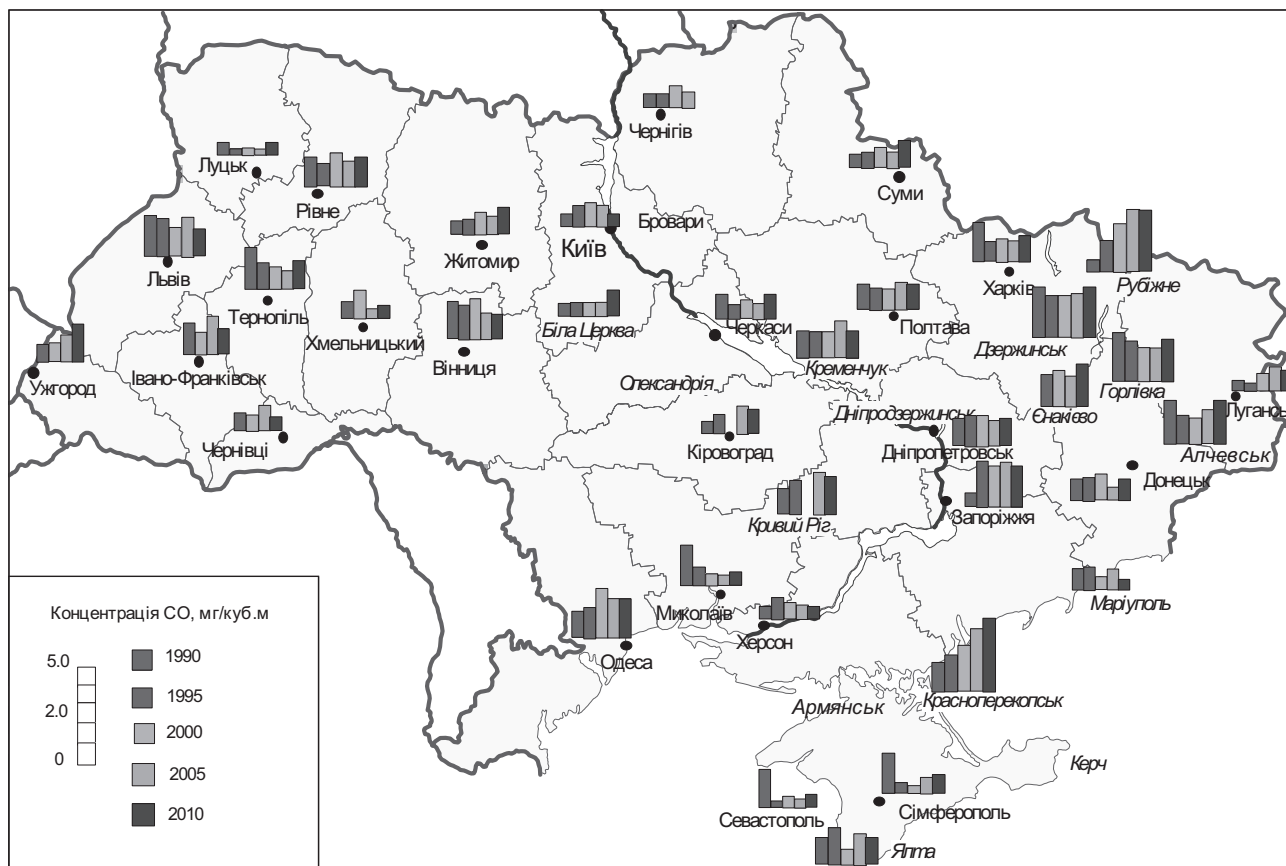


Рис. 11. Концентрація (мг/м³) оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міст України

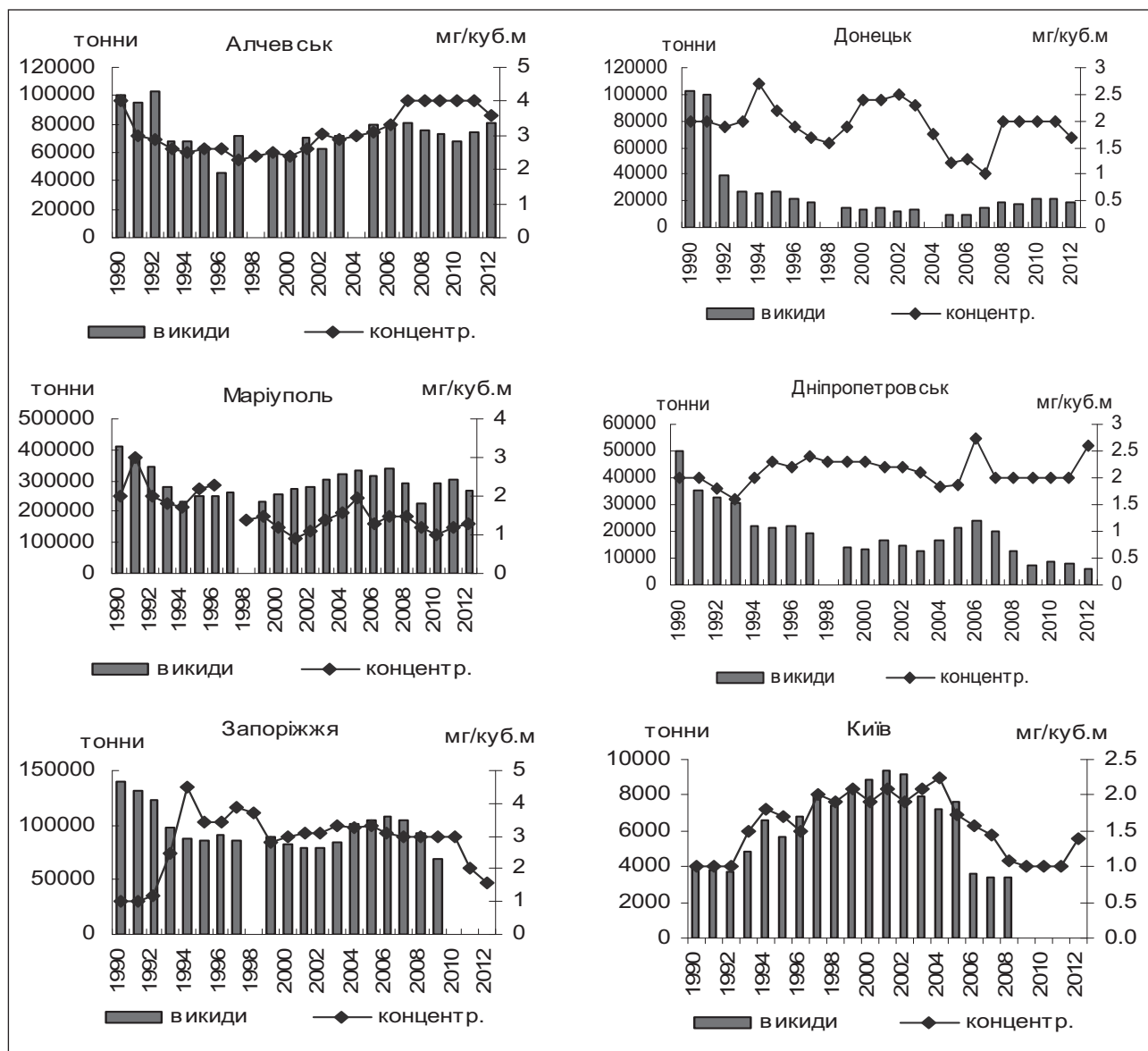


Рис. 12. Динаміка викидів (т) від промислових джерел та концентрацій (мг/м³) оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міст

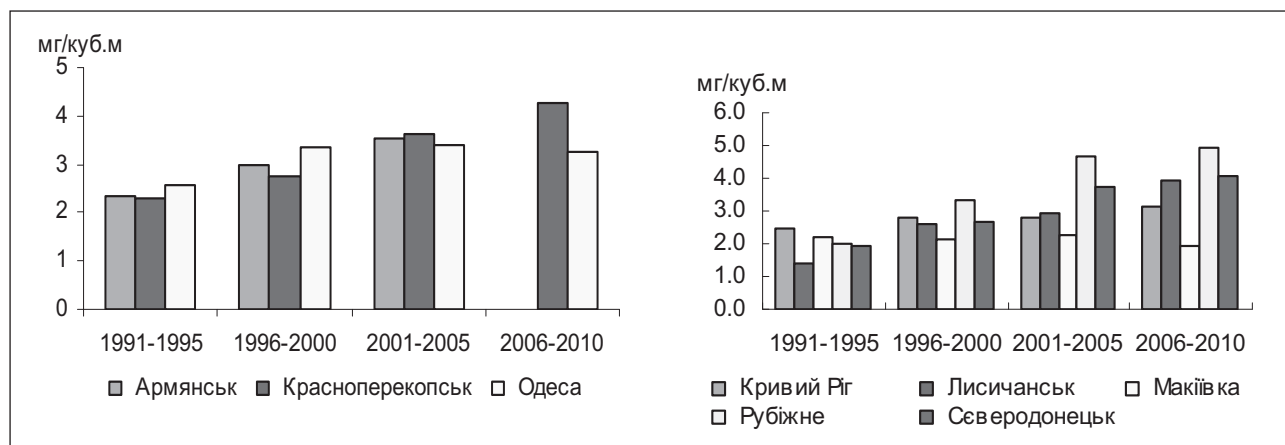


Рис. 13. Середня концентрація (мг/м³) оксиду вуглецю за окремі п'ятиріччя

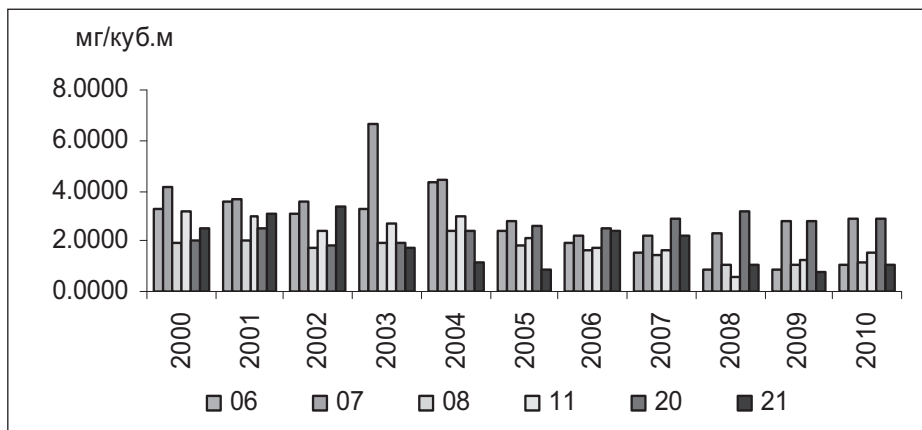


Рис. 14. Тенденція зміни річних концентрацій СО в районах поблизу автомагістралей. Київ

протягом указанного періоду також характеризувався різною тенденцією зміни.

Зменшення обсягів промислових викидів СО в атмосферному повітрі м. Києва зумовило адекватне змінення приземних концентрацій, а з нарощуванням викидів автотранспорту (особливо після 2005 р.) збільшення вмісту СО в атмосферному повітрі поки не відмічено навіть на пунктах спостереження поблизу автомагістралей (рис. 14). Неузгодженість концентрацій СО з викидами автотранспорту можна пояснити неповною інформацією про викиди автотранспорту, а також іншим механізмом видалення домішок із атмосфери від низьких джерел [1].

Стан забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту (NO₂) та тенденції його зміни

Основними джерелами надходження оксидів азоту (NO, NO₂) в атмосферне повітря є викиди продуктів високотемпературного і неповного згорання палива (вихлопні гази автотранспорту, авіації, викиди промислових підприємств і теплових електростанцій). До природних джерел належать мікробіологічні процеси, що проходять у підстильній поверхні, фотохімічне окислення аміаку і закису азоту в атмосфері, а також грозова діяльність. Відносний вплив антропогенних і природних джерел на рівень забруднення приземної атмосфери (нижньої тропосфери) оксидами азоту значно змінюється і залежить від багатьох чинників (ступеня урбанізації, кількості та якості палива, характеру підстильної поверхні, періоду року).

Стан забруднення атмосферного повітря міст України характеризується високими річними концентраціями діоксиду азоту, які знаходяться на рівні і вище ГДК с.д. (0,04 мг/м³). Уміст діоксиду азоту в останнє десятиріччя (2000–2010 рр.)

на території переважної більшості міст становив 0,04–0,11 мг/м³.

Зони найбільшого забруднення атмосферного повітря, де вміст NO₂ у 2,0–2,5 рази вище ГДК с.д., відмічено в містах інтенсивної промисловості Донецької та Луганської (рис. 15, 16), Дніпропетровської (Дніпропетровськ) та Запорізької (Запоріжжя) областей.

Серед міст Західного регіону підвищеними концентраціями NO₂ (0,07 мг/м³) виділяється м. Хмельницький, а в решті міст – на рівні ГДК с.д.

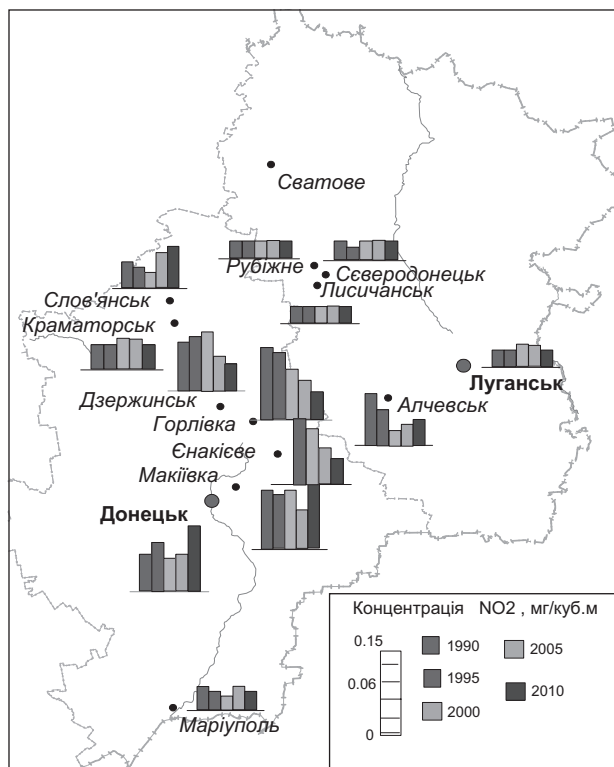


Рис. 15. Концентрація діоксиду азоту (мг/м³) в атмосферному повітрі міст Донецько-Придніпровського регіону

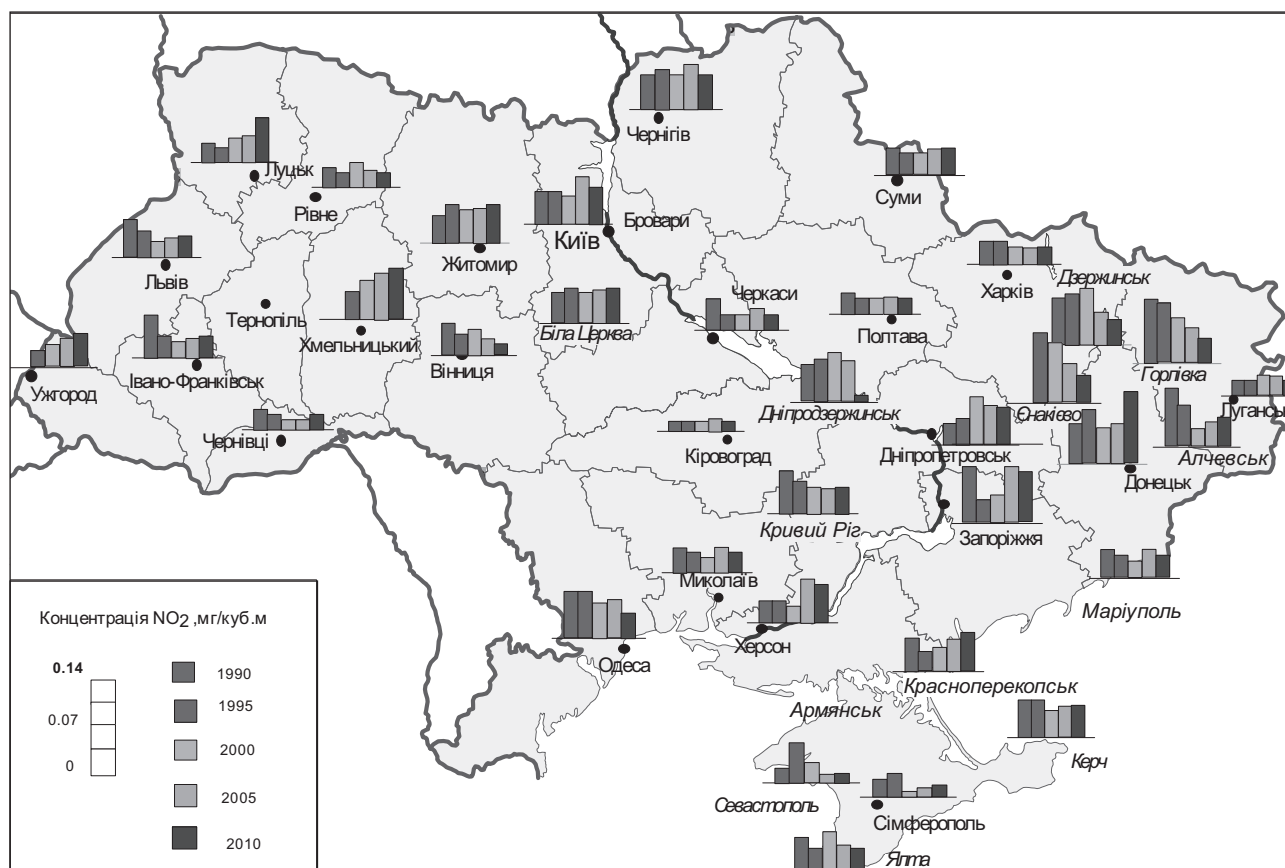


Рис. 16. Концентрація (мг/м³) діоксиду азоту в атмосферному повітрі міст України

Найменші значення діоксиду азоту зафіксовано в атмосферному повітрі міст Кіровоградської, Луганської, Полтавської та Черкаської областей.

Інтенсивність забруднення атмосфери оксидами азоту (NO, NO₂) у Донецько-Придніпровському регіоні загалом визначається антропогенними джерелами, що підтверджено синхронністю змін їх концентрацій (рис. 17). Як правило, концентрації діоксиду азоту перевищують або дорівнюють концентрації оксиду азоту в більшості міст України, що говорить про значну роль фотохімічних процесів переходу NO в NO₂ [2].

Атмосферне повітря міст Центрального регіону (Київська, Чернігівська, Житомирська області) значно забруднено діоксидом азоту внаслідок переважаючого впливу автотранспорту.

Міста на півдні країни (Одеса, Ізмаїл, Херсон) і в Криму (крім Севастополя та Сімферополя) також належать до районів з підвищеним рівнем (0,05-0,07 мг/м³) забруднення атмосферного повітря (рис. 15). Збільшення концентрації діоксиду азоту в південних регіонах можливе не тільки через антропогенне, але й природне надходження оксидів азоту в атмосферне повітря. Додатковим джерелом оксидів азоту може бути

біогенна емісія з поверхні ґрунту, фотохімічне окислення аміаку за високої інтенсивності сонячної радіації та грозової діяльності [2]. Підтвердженням ролі впливу природних чинників на формування рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту в південних регіонах є чітко виражена сезонна закономірність, яка характеризується збільшенням його концентрації в літній і осінній періоди (рис. 18).

Підвищення концентрацій діоксиду азоту в повітрі цих регіонів підсилюється фотохімічними реакціями перетворення оксидів азоту. Так, наприклад, рівень забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту в південних містах перебуває в прямій залежності від умісту аміаку в атмосфері (коефіцієнт кореляції 0,7-0,8) та сумою прямої сонячної радіації (рис. 19, 20).

У динаміці річних концентрацій NO₂ переважає тенденція росту рівня забруднення в зв'язку з нарощуванням останніми роками викидів автотранспорту (рис. 21).

Безумовно, у формуванні рівня забруднення атмосферного повітря має значення вертикальний і горизонтальний перенос повітряних мас. Спільний аналіз умісту діоксиду азоту в товщі атмосфери з приземними концентраціями свідчить

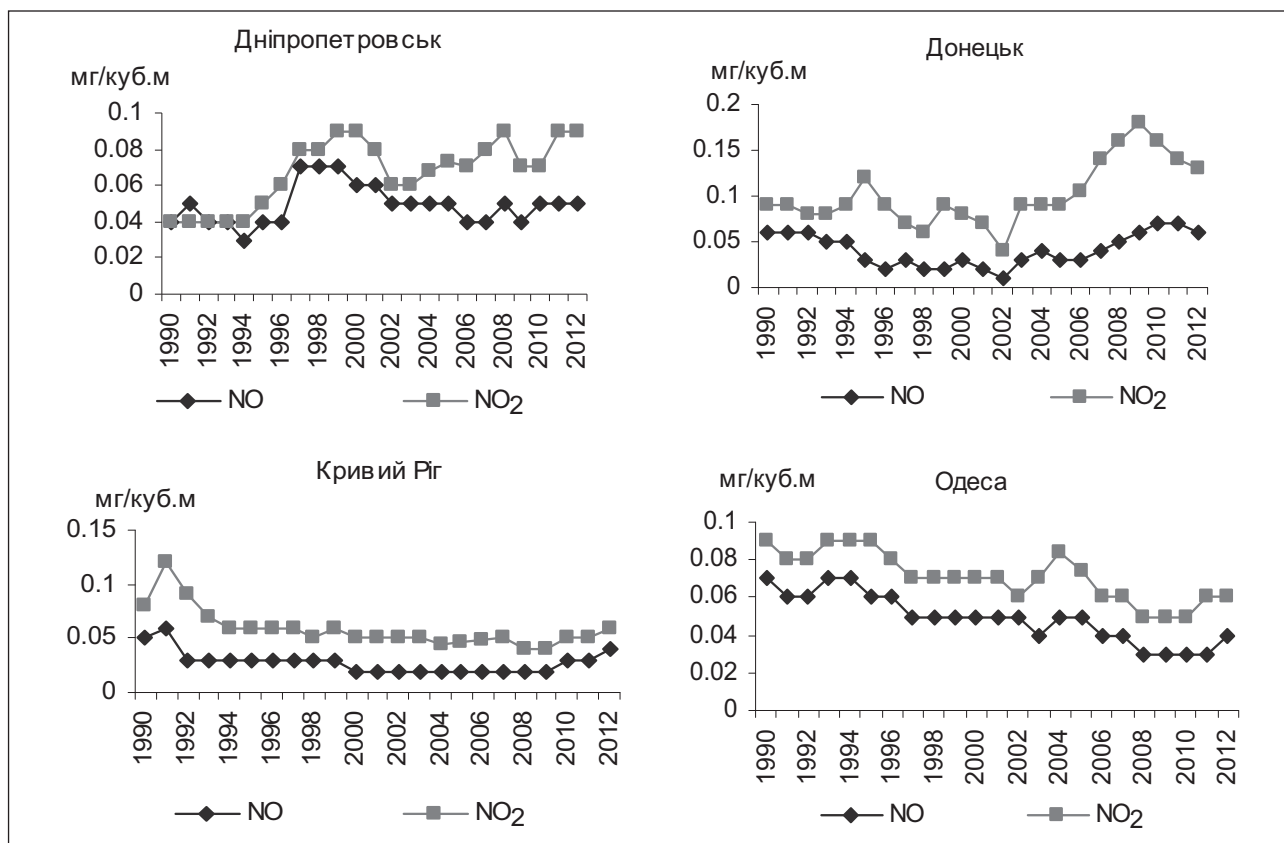


Рис. 17. Динаміка концентрацій (мг/м³) оксидів азоту (NO, NO₂) в атмосферному повітрі міст Донецько-Придніпровського регіону

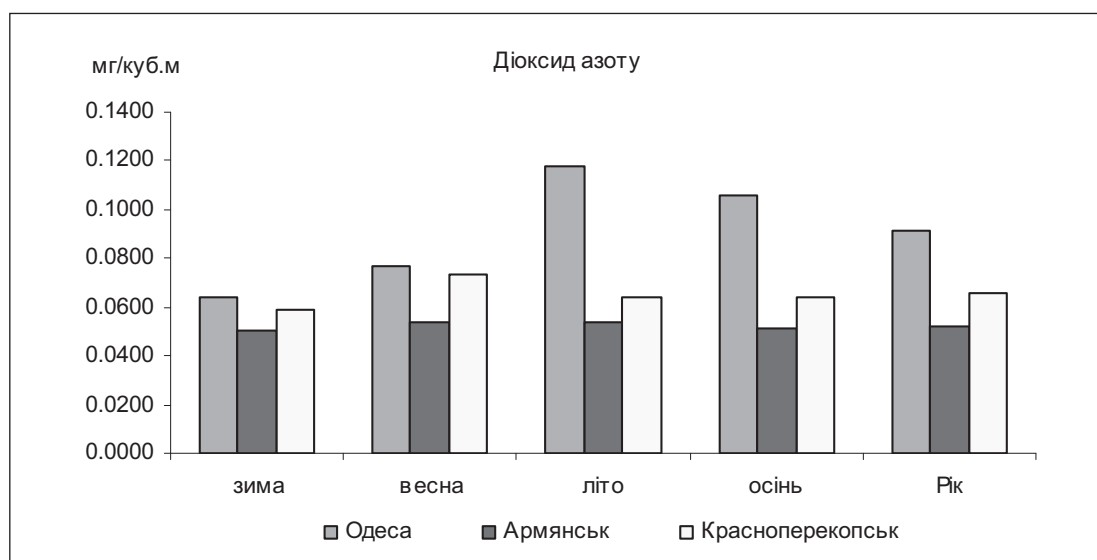


Рис. 18. Сезонний хід концентрації (мг/м³) діоксиду азоту

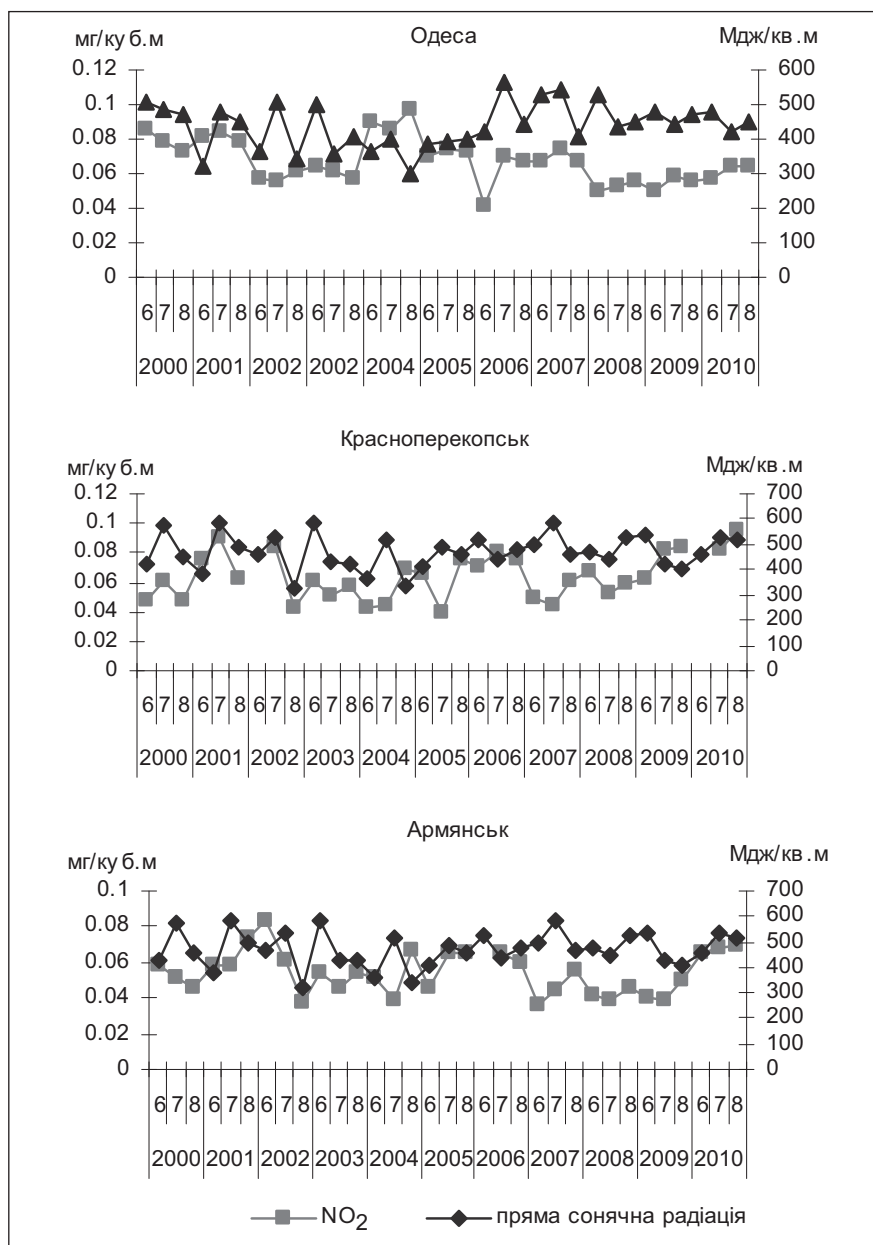


Рис. 19. Хід концентрації (mg/m^3) діоксиду азоту та суми (Мдж/кв.м) прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню в літній період

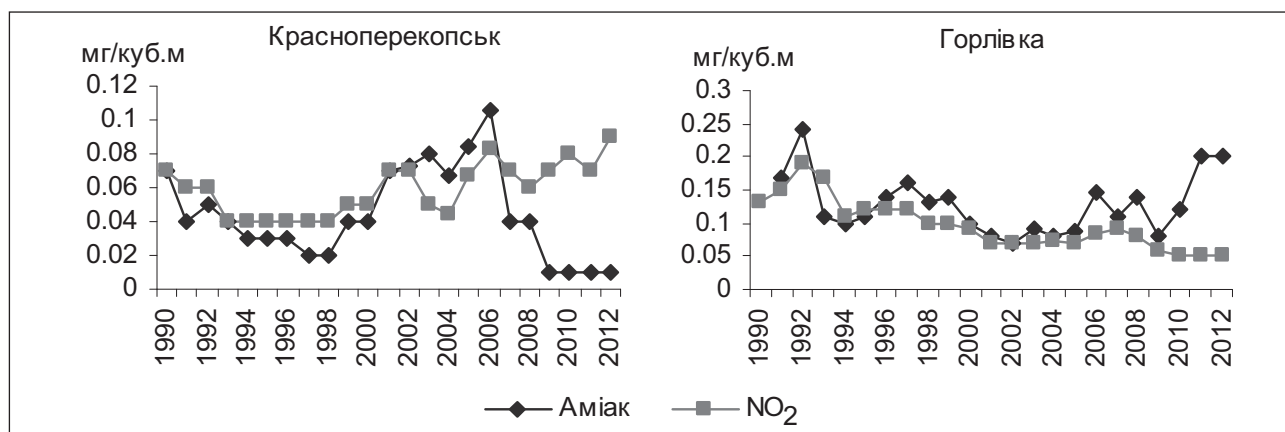


Рис. 20. Динаміка зміни концентрації (mg/m^3) діоксиду азоту й аміаку

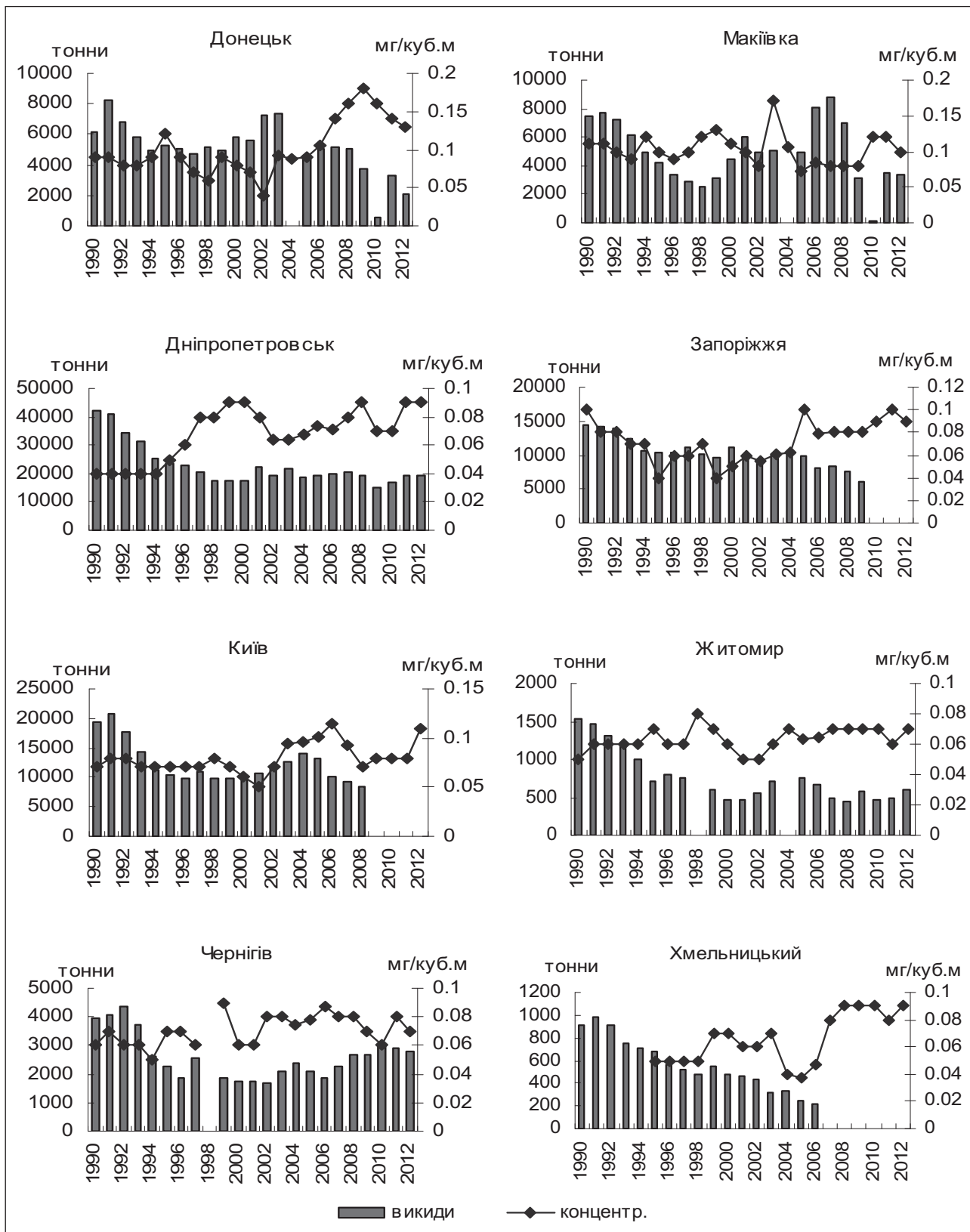


Рис. 21. Динаміка викидів (т) від промислових джерел та концентрації (мг/м³) діоксиду азоту в атмосферно-повітряні міст

про їх взаємозв'язок, що є наслідком певного антропогенного впливу на його рівень в атмосфері (рис. 22).

Як видно з рисунка, мінливість вмісту діоксиду азоту над територією України за супутниковими даними незначна, за середньої величини близько 4×10^{15} молекул/см² середнє квадратичне відхилення протягом місяця дорівнює 0,10-0,20 $\times 10^{15}$ молекул/см². Найбільший вміст спостерігається над територією Донецької області. Річний хід приземних концентрацій діоксиду азоту в атмосферному повітрі деяких міст змінюється аналогічно до його вмісту в товщі атмосфери.

У районах з високим потенціалом забруднення залежність між цими даними характеризується високим коефіцієнтом кореляції (0,8-0,9).

Збільшення концентрацій оксидів азоту, бенз(а)пірену, формальдегіду з нарощуванням викидів автотранспорту може призвести до зростання вмісту озону в атмосфері [2, 3]. Сумісний аналіз впливу антропогенних чинників на загальний вміст озону (ЗВО) в атмосферному повітрі деяких міст України не виявив чіткої залежності між його вмістом і приземними концентраціями діоксиду азоту(рис. 23).

Одночасно, як показали дослідження, саме

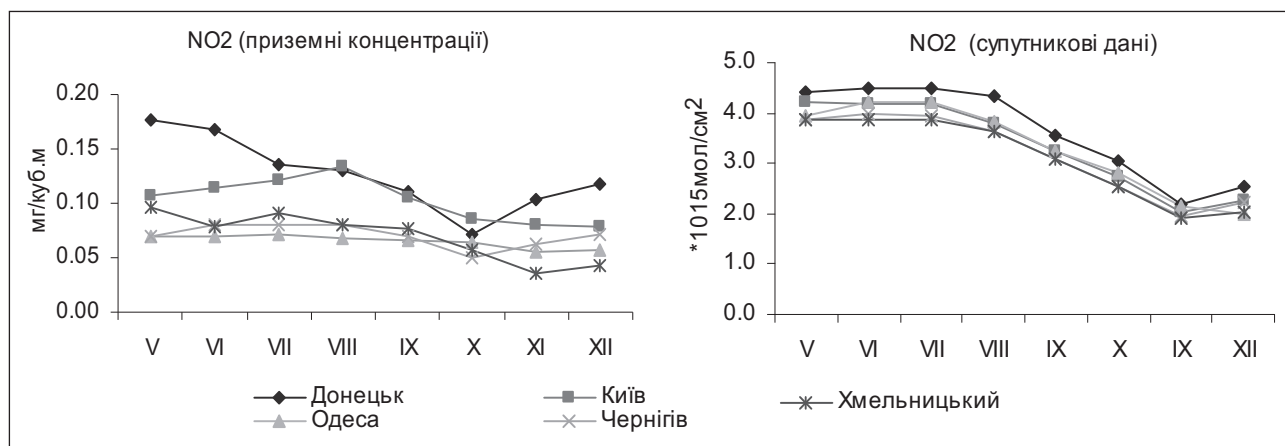


Рис. 22. Уміст діоксиду азоту в товщі атмосфери та в приземному шарі 2013 р.

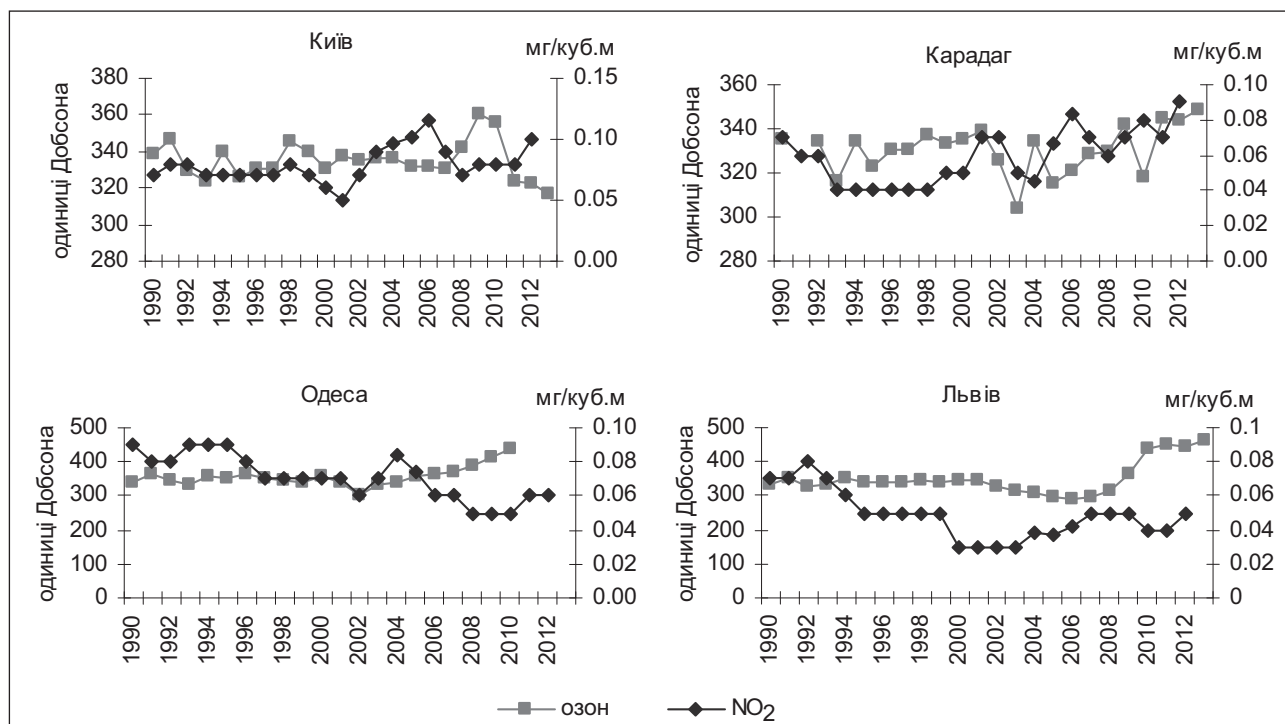


Рис. 23. Динаміка приземних концентрацій (мг/м³) діоксиду азоту й загального вмісту озону (одиниці Добсона) в атмосферному повітрі міст

діоксид азоту, оксид вуглецю та інші газоподібні домішки є попередниками приземного озону. Під впливом ультрафіолетової радіації взаємодія цих газів сприяє утворенню й накопиченню приземного озону [3, 5].

Спільний аналіз даних спостережень приземного озону та приземних концентрацій діоксиду азоту й оксиду вуглецю в м. Києві (період 2000-2001 рр.) свідчить про те, що їхні зміни перебувають у кореляційній залежності (коефіцієнт кореляції 0,5) – рис. 24.

Стан забруднення атмосферного повітря специфічними домішками та тенденції їх змін

У структурі викидів забруднювальних речовин 30 % становлять специфічні домішки, уміст яких в атмосферному повітрі залежить від специфіки виробництва. До переліку найпоширеніших належать такі сполуки, як бенз(а)пірен, фенол, формальдегід, аміак. Найтоксичнішими є поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), індикатором яких є бенз(а)пірен (БП). Утворюються вони як побічні продукти термічної переробки органічної сировини.

Найбільші концентрації БП і фенолу спостерігаються в атмосферному повітрі міст Донбасу та Придніпров'я. Основними джерелами надходження цих домішок є підприємства чорної й кольорової металургії та коксохімії. Високі рівні забруднення БП визначаються в містах, де є алюмінієві заводи.

Найвищі (2-3 ГДК с.д.) середні концентрації бенз(а)пірену протягом 2000-2010 рр. спостерігались у Донецьку, Дніпропетровську, Запоріжжі, Макіївці, Маріуполі, Слов'янську.

Крім міст Донецько-Придніпровського регіону, підвищеними концентраціями бенз(а)пірену характеризуються міста на півдні Криму (Ялта), а також на заході країни (Луцьк).

Фенол (сильно отруйна речовина) міститься в повітрі міст, де зосереджені підприємства, які використовують кам'яновугільну смолу, продукти переробки цих смол, продукти перегонки деревини, торфу та ін.

Концентрації фенолу вище ГДК с.д. (0,003 мг/м³) відмічено в Горлівці, Дзержинську, Єнакієвому (Донецька обл.), Дніпродзержинську (Дніпропетровська обл.), Запоріжжі та Одесі (рис. 25).

Рівень забруднення атмосферного повітря фенолом протягом усього періоду характеризувався тенденцією до зменшення. Найбільші концентрації фенолу (0,01-0,02 мг/м³) у повітрі міст спостережено в період 1991-1995 рр. (рис. 26).

Серед токсичних речовин в атмосферному повітрі міст особливе значення має *формальдегід*. Він утворюється в результаті термічної переробки органічної сировини на підприємствах деревообробної та целюлозно-паперової, хімічної й нафтохімічної промисловостей, під час виготовлення штучних смол, пластмаси та інші. В останній період у великих містах основним джерелом забруднення атмосферного повітря є автотранспорт, вихлопні гази якого містять високі концентрації формальдегіду, що утворюється за неповного згорання рідкого палива.

Дослідження низки авторів підкреслюють, що формальдегід надходить в атмосферу не тільки від промислових і природних (лісні пожежі) джерел, але й утворюється як вторинний продукт у результаті комплексу фотохімічних реакцій у взаємодії з метаном, оксидами азоту та іншими вуглеводневими сумішами, які є в забрудненій атмосфері [3].

В Україні рівень забруднення атмосферного повітря формальдегідом значно перевищує ГДК с.д. (0,003 мг/м³). В останній десятирічний період концентрація формальдегіду, особливо

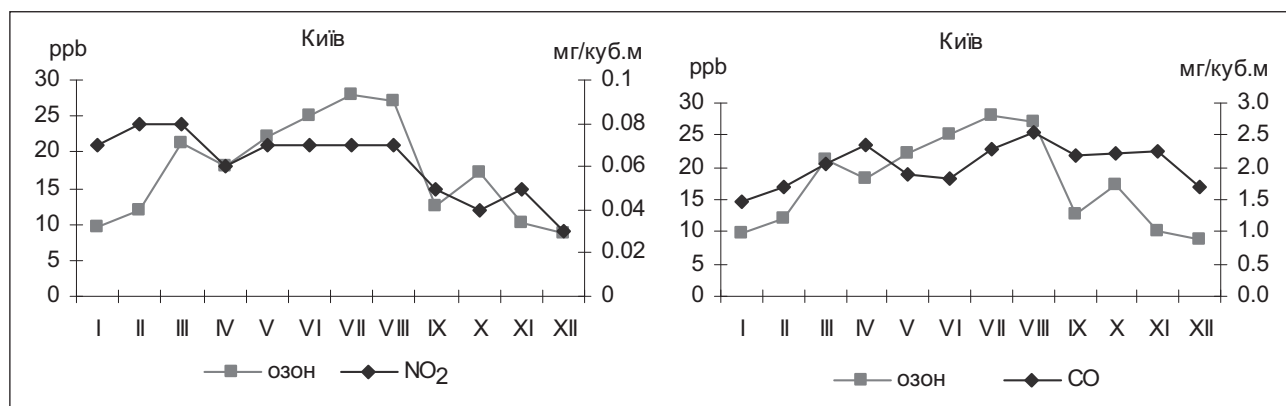


Рис. 24. Річний хід концентрацій (мг/м³) діоксиду азоту, оксиду вуглецю та озону (ppb). Київ, 2000-2001 рр.



Рис. 25. Концентрація (мг/м³) фенолу в атмосферному повітрі міст України

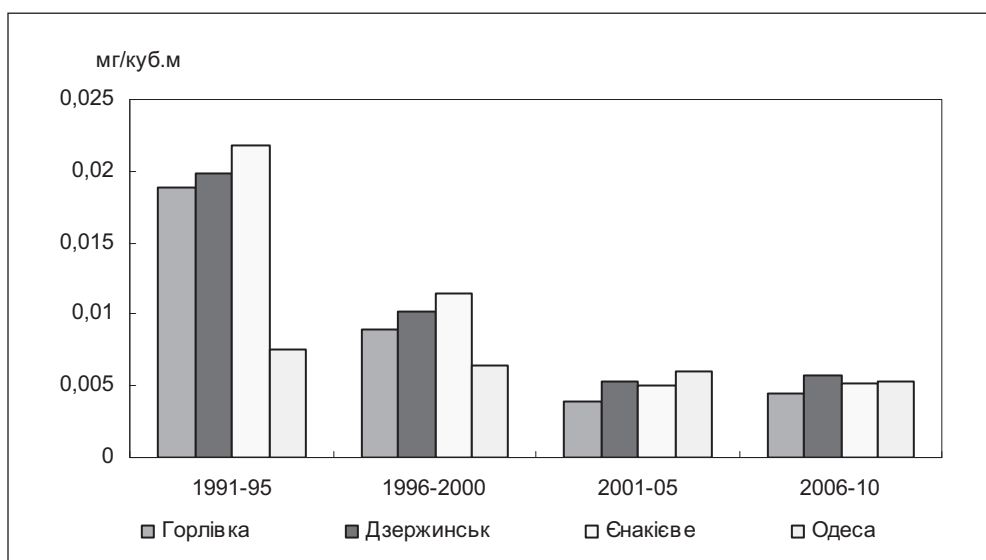


Рис. 26. Середня концентрація (мг/м³) фенолу за окремі п'ятиріччя

в містах Донецько-Придніпровського регіону та в містах з інтенсивним транспортним потоком (Київ), відзначається динамікою зростання (рис. 27).

Зони високих (0,012-0,018 мг/м³) концентрацій формальдегіду сформувались на території Донецько-Придніпровського регіону, на півдні країни (Одеса), на півночі Криму (Армянськ, Красноперекопськ), у районі міста Світловодськ Кіровоградської області (рис. 28).

Підвищені (0,010-0,012 мг/м³) концентрації формальдегіду спостережено в повітрі міст на заході країни (Луцьк, Ужгород). Найменші (0,003 мг/м³) концентрації цієї домішки відмічено в повітрі таких міст, як Алчевськ, Керч, Полтава, Тернопіль та Харків.

Значне зростання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міст в останній період суттєво залежить від зміни метеорологічних умов. Порівняно з іншими домішками проявляється

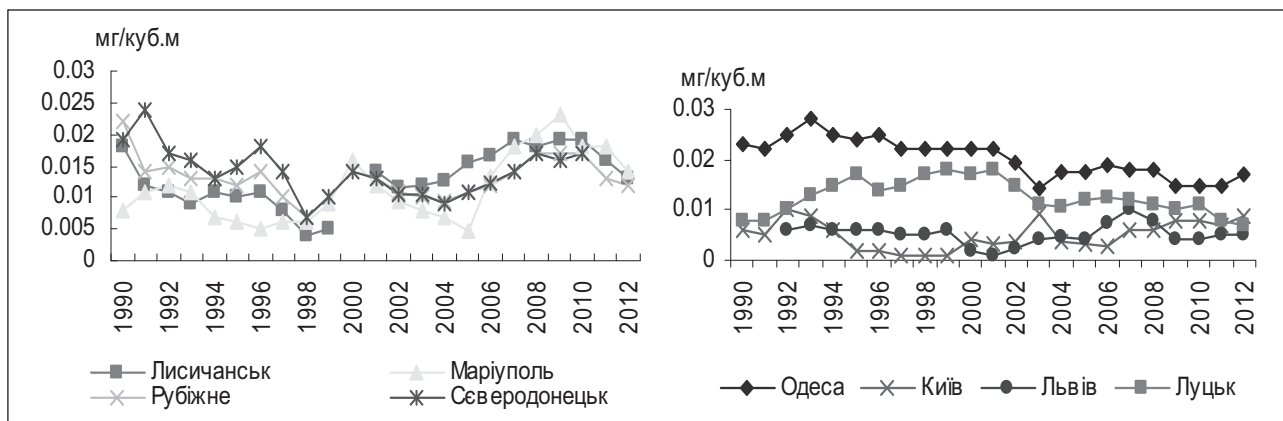


Рис. 27. Динаміка концентрації (мг/м³) формальдегіду в атмосферному повітрі міст

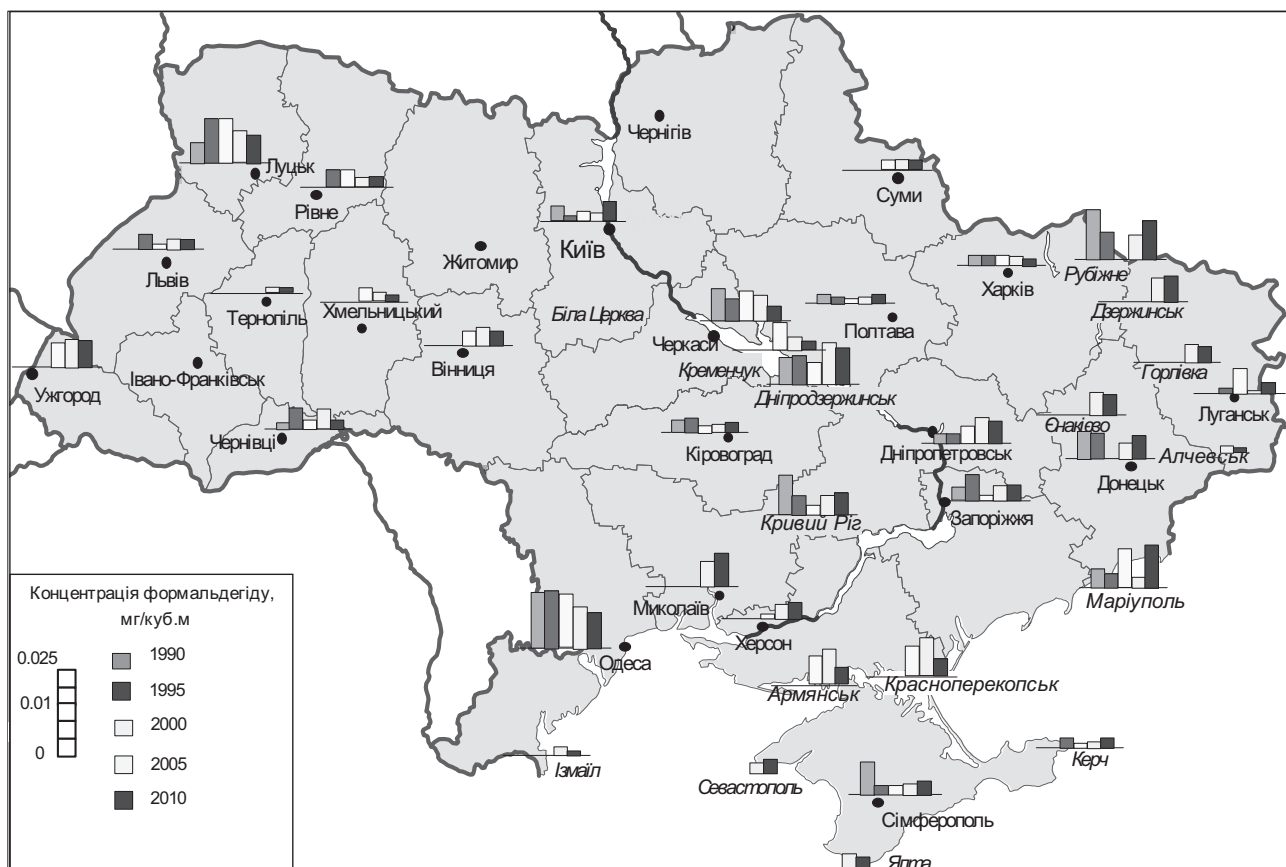


Рис. 28. Концентрація (мг/м³) формальдегіду в атмосферному повітрі міст України

найчіткіша закономірність його сезонного ходу, яка характеризується збільшенням концентрації в літній період. Хід місячних концентрацій формальдегіду змінюється залежно від температури повітря й інтенсивності прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню (рис. 29, 30).

Аміак у забрудненому повітрі прискорює фотохімічні процеси окислення газових сполук оксиду азоту в діоксид азоту, сірки в сірчану кислоту та сульфати, легко вступає в реакцію з сірчаною кислотою, що призводить до виникнення

сульфату амонію, який є важливим компонентом смогу й атмосферних аерозолів [1, 4].

Концентрації аміаку вище ГДК с.д. спостережувалися в атмосферному повітрі міст Донецько-Придніпровського регіону, а також в Черкасах та в містах Криму (Армянську, Красноперекопську) – рис. 31.

В останній 5-річний період кількість аміаку в повітрі Горлівки Донецької області зростає і становить 2-3 ГДК с.д. (рис. 32).

Уміст аміаку в атмосфері в результаті його

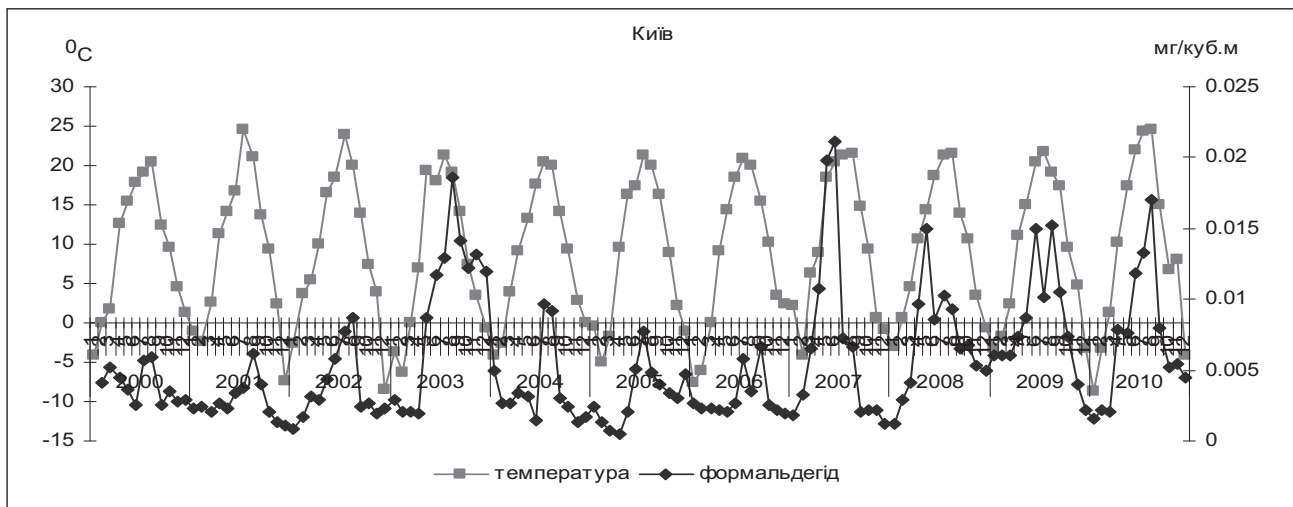


Рис. 29. Місячний хід температури повітря (°C) і концентрації (мг/м³) формальдегіду, Київ

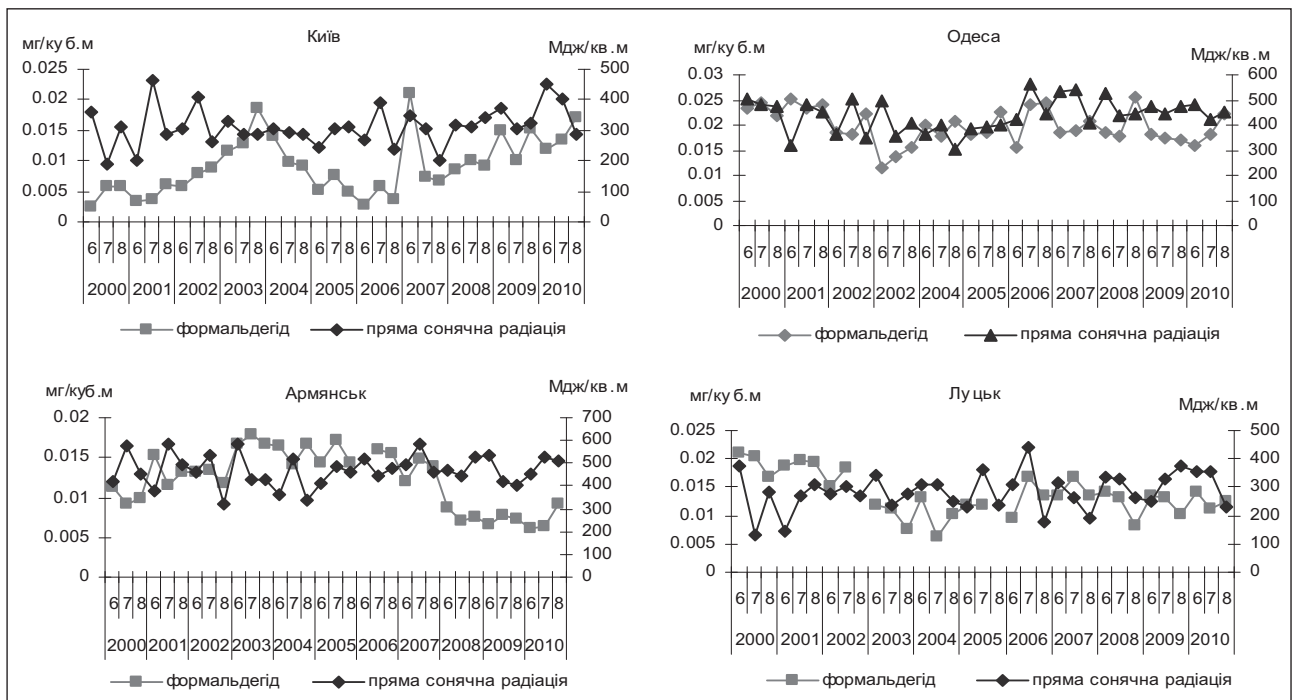


Рис. 30. Хід концентрації (мг/м³) формальдегіду та суми (Мдж/м²) прямої сонячної радіації в літні місяці за період 2000-2010 рр.

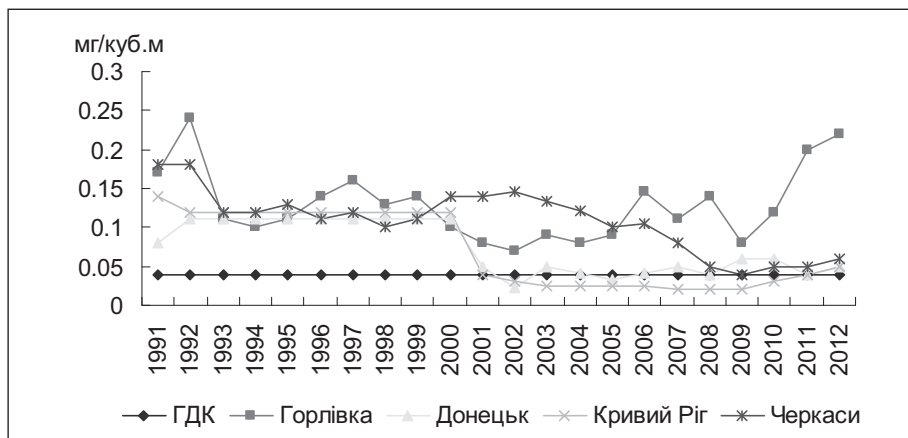


Рис. 31. Динаміка концентрації (мг/м³) аміаку в атмосферному повітрі міст України

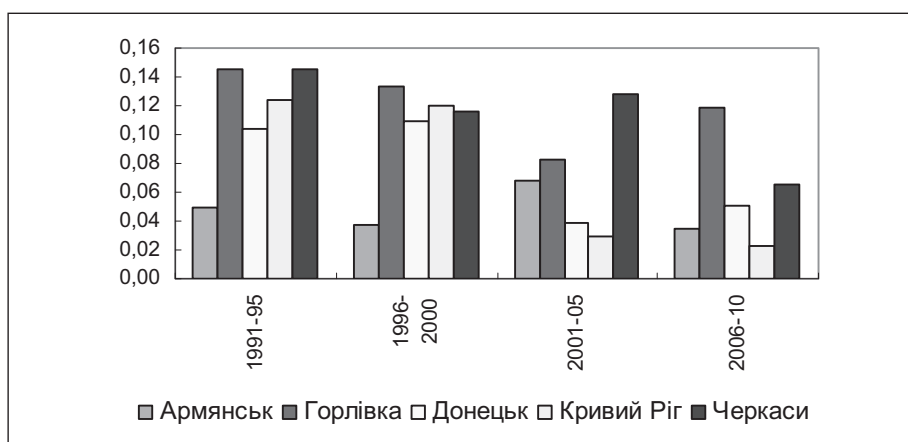


Рис. 32. Середня концентрація (мг/м³) аміаку за окремі п'ятиріччя

хімічного окислення призводить до збільшення концентрацій оксидів азоту. В атмосферному повітрі, де вміст аміаку вище ГДК с.д., спостерігаються високі концентрації діоксиду азоту (рис. 20).

Крім вищезгаданих специфічних домішок, в атмосферному повітрі багатьох міст є інші токсичні речовини. Наприклад, у Слов'янську й Краматорську протягом 1990-2010 рр. в атмосферному повітрі стабільно утримувався найбільший вміст фтористого водню (0,012 мг/м³), в Єнакієвому, Дзержинську та Горлівці (Донецька область) – найвищі концентрації сірководню.

Атмосферне повітря міст на півночі Криму (Армянськ, Красноперекіпськ), крім основних домішок, забруднено фтористим і хлористим воднем, сірчаною кислотою.

У повітрі Одеси спостерігаються підвищені середні концентрації фтористого водню і значна кількість сажі (у 1,5 рази вище ГДК с.д.), Чернів-

цях – близький до рівня ГДК с.д. вміст хлористого водню.

У результаті фотохімічних перетворень первинних забруднювальних речовин (SO₂, NO_x) в атмосферному повітрі утворюються такі вторинні домішки, як озон, аерозолі сульфатів.

Сульфати (SO₄) утворюються в атмосфері не тільки внаслідок окислення SO₂, але й надходять під час спалювання палива. Найбільша кількість розчинних сульфатів була в атмосферному повітрі Одеси, Сум, Керчі, Кременчука, Кіровограді, Олександрії та Світловодську, на заході країни – в Хмельницькому, Ужгороді – рис. 33.

Концентрація сульфатів (SO₄) в атмосферному повітрі промислових міст залежить від рівня забруднення діоксидом сірки (рис. 34). У повітрі Одеси можливе надходження аерозолів природного походження – сульфати морської солі. Співвідношення SO₄/SO₂ у повітрі міст різне. Вищі концентрації сульфатів порівняно з діоксидом

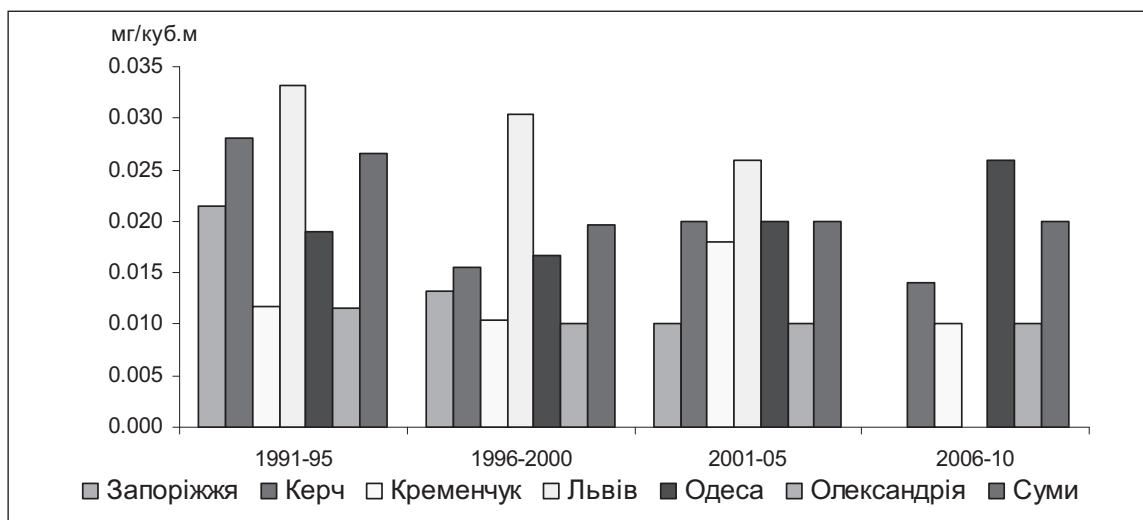


Рис. 33. Середня концентрація (мг/м³) розчинних сульфатів в атмосферному повітрі міст за окремі п'ятиріччя

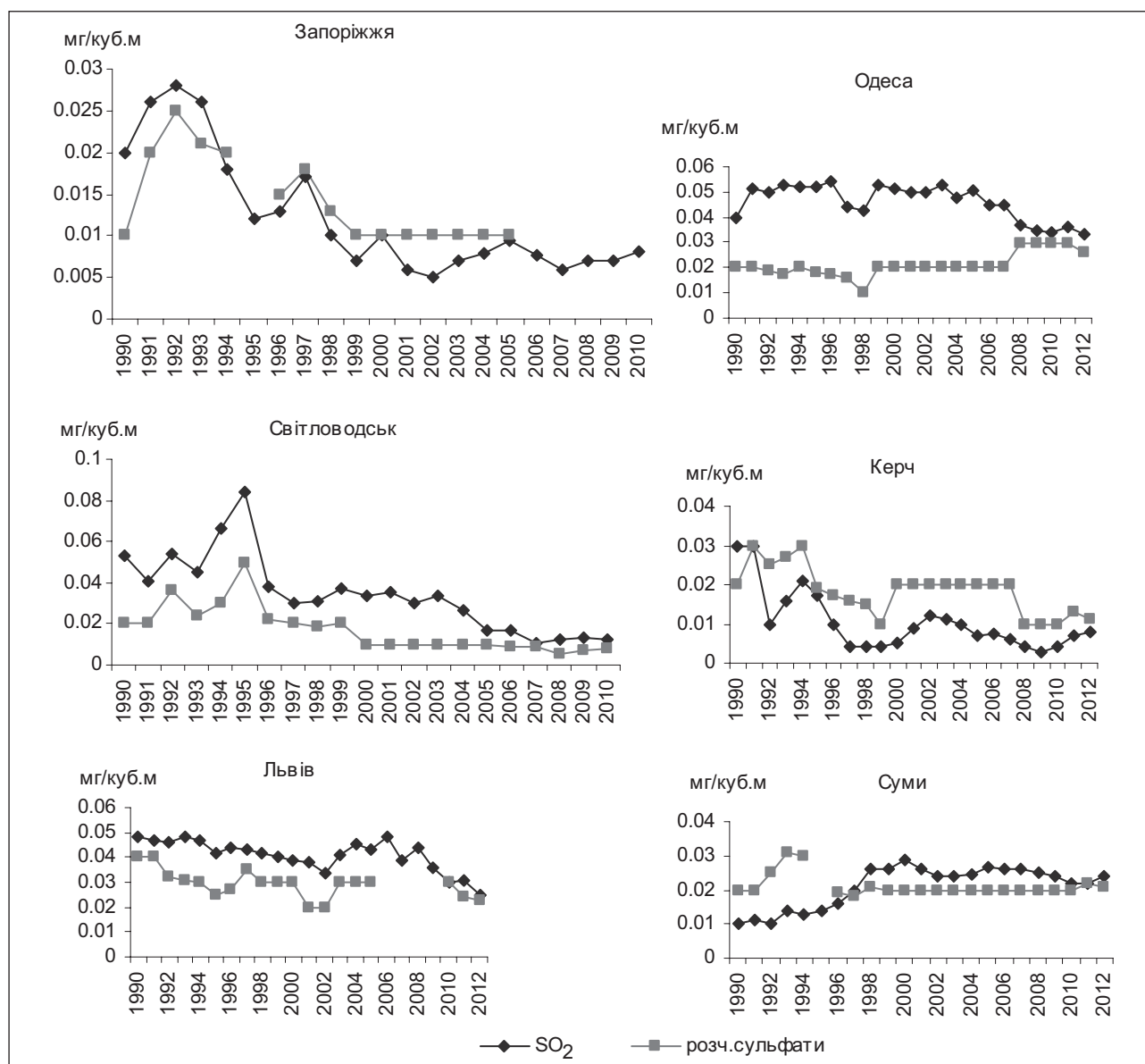


Рис. 34. Концентрації (мг/м³) сульфатів і діоксиду сірки в атмосферному повітрі міст

сірки спостерігаються в містах південного регіону й Криму завдяки такому природному чиннику, як фотохімічне окислення SO_2 , яке посилюється в умовах інтенсивної сонячної радіації, нечастих опадів і наявності в атмосфері оксидів азоту, аміаку, вуглеводневих сполук, що впливають на швидкість окислення SO_2 [4].

У промислових містах високий рівень сульфатів визначається здебільшого через велике скупчення промислових підприємств, які викидають значну кількість діоксиду сірки в засушливих умовах, і тому сульфатів очікується не менше ніж SO_2 (через недостатній механізм видалення). Між концентраціями цих домішок відмічено тісну кореляційну залежність (0,7-0,8).

І навпаки, в умовах збільшеної кількості опадів сульфати значно швидше вимиваються опа-

дами і тому їх рівень в атмосферному повітрі міст на заході країни менший, ніж діоксиду сірки. В окремі роки збільшений уміст сульфатів у повітрі міст на заході та північному сході можливий за рахунок переносу їх із сусідніх держав.

В атмосферному повітрі деяких міст (Горлівка й Армянськ) зафіксовано високі концентрації *сірчаної кислоти* (H_2SO_4), що обумовлюють забруднення опадів на локальному рівні (через відсутність даних про хімізм опадів доказів немає). Наприклад, у період 1990-1999 рр. в атмосферному повітрі Горлівки спостерігались концентрації H_2SO_4 вищі ГДК с.д. (0,10 мг/куб. м) – рис. 35.

Динаміка зростання вмісту сірчаної кислоти в атмосферному повітрі на півночі Криму в останні роки спостерігається на фоні збільшеної кількості опадів (рис. 36).

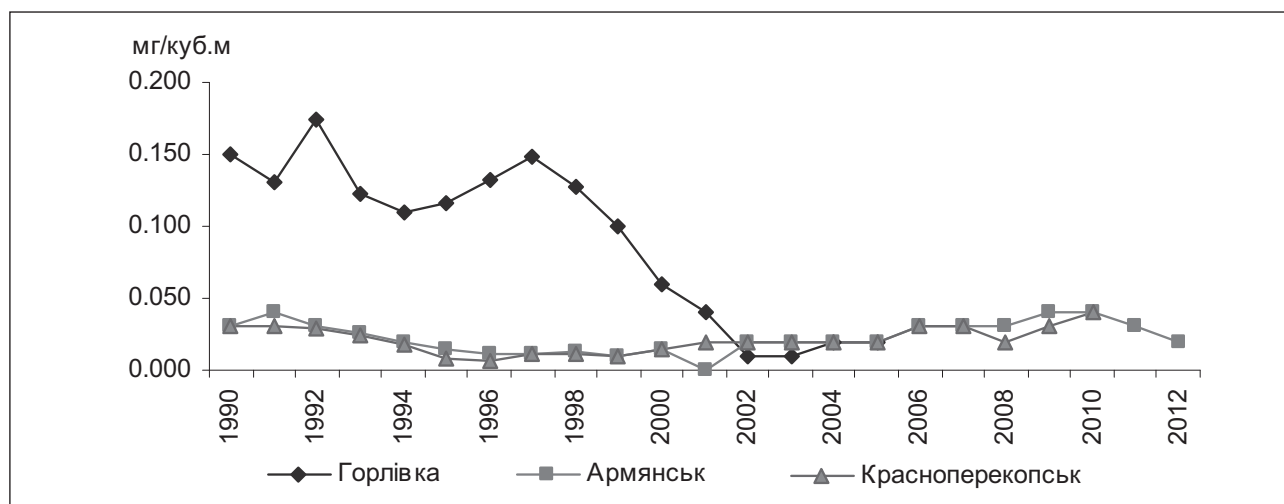


Рис. 35. Динаміка вмісту (мг/м³) сірчаної кислоти в атмосферному повітрі міст

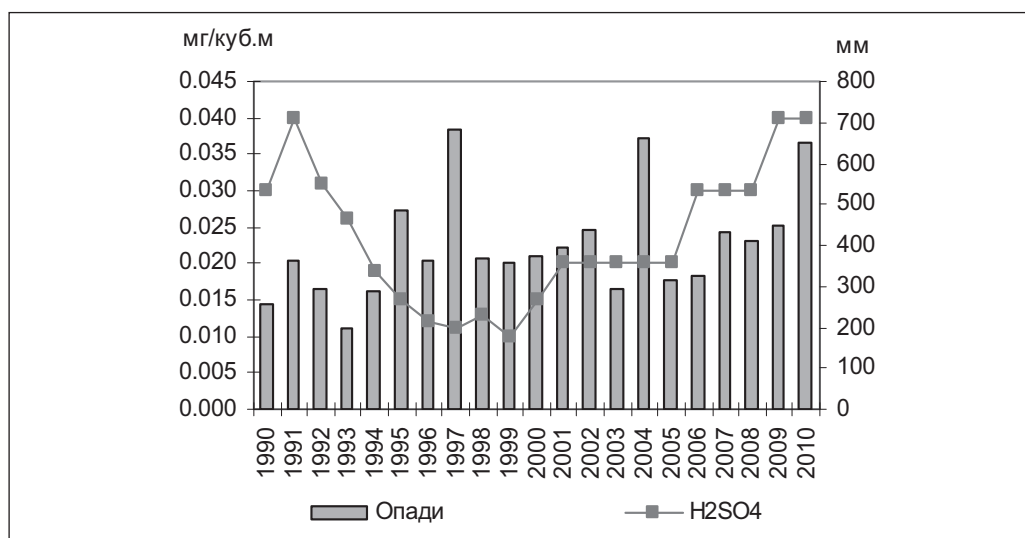


Рис. 36. Концентрація (мг/м³) сірчаної кислоти й кількість (мм) опадів. Армянськ

У містах, де розташовані нафтопереробні підприємства, у повітрі є вуглеводневі сполуки. За даними спостережень вуглеводневих сполук (насичених), у Кременчуку останніми роками простежується тенденція до збільшення їх кількості.

Від підприємств кольорової металургії в атмосферне повітря з викидами твердих домішок надходить широкий спектр токсичних важких металів (Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn, Cd). Рівень важких металів у повітрі міст характеризується величинами, меншими за ГДК с.д. Найбільша питома вага в повітрі заліза (75 %), цинку (11 %), міді (6 %), їхні річні концентрації значно мінливі, і в окремі роки величини наближаються до рівня ГДК с.д. Уміст інших важких металів значно менший і близький до фонових значень.

Найбільша кількість важких металів спостерігається в атмосферному пилу Вінниці, Івано-Франківська, Черкасах, Макіївці, Маріуполі та в інших містах Донецько-Придніпровського регіону. Наприклад, збільшена кількість заліза відмічається в атмосферних аерозолях Вінниці та Івано-Франківська, міді й свинцю – Донецька (рис. 37).

На заході країни (Хмельницький, Ужгород, Івано-Франківськ, Вінниця) та в Донецькій області (Макіївка, Маріуполь, Донецьк) у повітрі були підвищені концентрації цинку, а в Єнакієвому – кадмію.

Висновки

У результаті проведеного аналізу якості атмосферного повітря в містах України зроблено такі висновки:

- рівень забруднення атмосферного повітря багатьох міст характеризується підвищеним фоном;
- атмосферне повітря міст України значно забруднено формальдегідом і діоксидом азоту (середні річні концентрації характеризуються величинами вище ГДК с.д. з динамікою зростання рівнів);
- на території Донецько-Придніпровського району сформувалась регіональна зона високого забруднення атмосферного повітря;
- найзабрудненіші міста Донецької області (Горлівка, Донецьк, Дзержинськ, Єнакієве, Макіївка), Луганської області (Лисичанськ), міста Криму (Армянськ і Красноперекіпськ), Кривий Ріг й Одеса;
- уміст формальдегіду в повітрі переважної більшості міст України перебуває за межами ГДК с.д. і має чітко виражений сезонний хід з максимальним рівнем у літньо-осінній період.

Необхідно підкреслити, що збільшення концентрацій оксидів азоту і вуглеводнів (БП, формальдегіду) призводить до зростання вмісту озону в тропосфері завдяки фотохімічним реакціям. Оскільки озон, оксиди азоту й сірки, а також продукти їх перетворень є радіаційно-активними домішками атмосфери, збільшення їх вмісту в повітрі може впливати на радіаційний баланс Землі і призвести до кліматичних змін як у глобальному, так і регіональному масштабі.

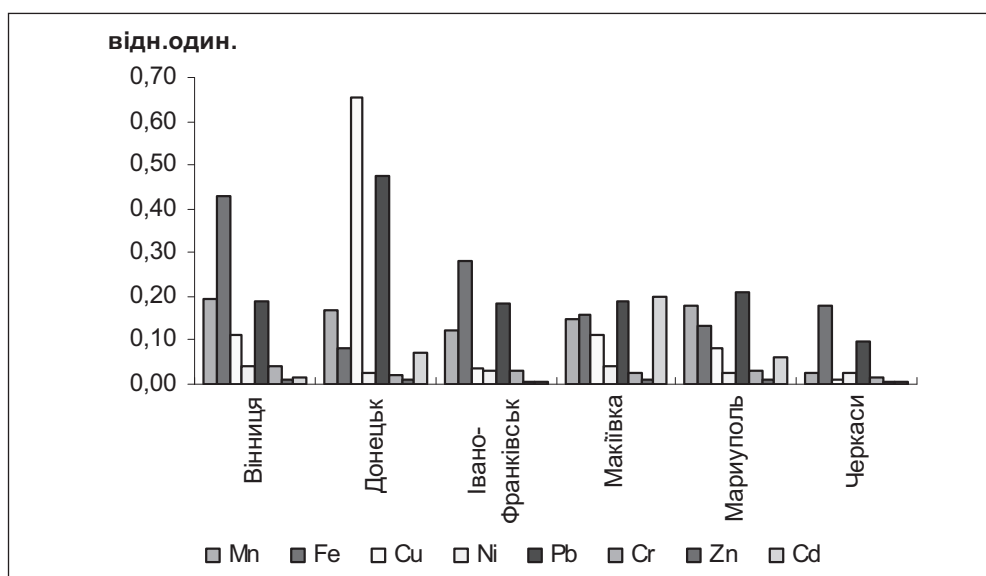


Рис. 37. Концентрація (у частках ГДКс.д.) важких металів в атмосферному повітрі найзабрудненіших міст України

* *

1. Химия нижней атмосферы / Под ред. С.Расула. — М.: Мир. — 1976. — 408 с.
2. Ровинський Ф.Я., Егоров В.И. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере. — Л.: Гидрометеоиздат. — 1986. — 182 с.
3. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. — С.Пб.: Астерион. — 2008. — 200 с.
4. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. — Л.: Гидрометеоиздат. — 1986. — 200 с.
5. Блюм О.Б., Будак І.В., Дячук В.А., Сосонкін М.Г., Шавріна А.В. Приземний озон у Києві, умови його утворення і стоку // Наук. пр. УкрНДГМІ. — 2002. — Вип. 250. — С. 61-77.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Баштанник М.П., Жемера Н.С., Киптенко Е.Н., Козленко Т.В.

Состояние загрязнения атмосферного воздуха над территорией Украины

Представлены результаты исследования пространственно-временных закономерностей распределения выбросов и концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе над территорией Украины на протяжении 1990-2012 гг. Дана оценка качества атмосферного воздуха в 53 промышленных городах согласно предельно допустимым концентрациям (ПДК). Отмечено, что колебание средних

уровней загрязнения характеризуются долгопериодными изменениями, которые проявились в последние 20 лет в связи с резким уменьшением промышленных выбросов и увеличением автотранспортных. Рассмотрена зависимость концентраций некоторых примесей от температуры воздуха, солнечной радиации и осадков.

Ключевые слова: качество, выбросы, загрязняющие вещества, концентрации, динамика, коэффициент корреляции.

M. Bashtannik, N. Zhemera, E. Kiptenko, T. Kozlenko

Air pollution state the territory of Ukraine

The results of the spatial and temporal patterns of emissions and concentrations distribution of pollutants in the air over the territory of Ukraine throughout 1990 - 2012 are presented. Air quality in 53 industrial cities according to the maximum permissible concentration was evaluated. It was found that changes in the mean levels of contamination characterized long range changes that have emerged in the past 20 years due to a sharp decrease in industrial emissions and increased in vehicles emissions. Dependence of some contaminants concentrations on air temperature, solar radiation and precipitation was considered.

Keywords: emissions, pollutants, contaminants, concentration, dynamics, correlation coefficients.