

УДК 58.085

МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ НБС У 2007-2010 Р. Р. ЗА ДОПОМОГОЮ ФІТОІНДИКАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Н. В. Рудь

Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України

Встановлений рівень забруднення приземних шарів атмосферного повітря та вплив аеротехногенних полутантів на рослинний покрив ботанічного саду фітоіндикаційними методами досліджень. Визначені інформативні біомаркери забруднення атмосферного повітря.

Ключові слова: *фітоіндикатор, показник флуктуючої асиметрії, дефоліація, забруднення, атмосферне повітря, ботанічний сад.*

Rud N. V. Monitoring of pollution of territory of a botanical garden of N. N. Grishko methods of phytoindicator researches. *Levels of pollution and influences aerotehnogenykh pollutantov on a vegetative cover of a botanical garden are investigated by phytoindicator methods of researches. Informative biomarkers of pollution of atmospheric air are defined. It is established (installed), that essential and dangerous infringements on an indicator fluctuation of asymmetries in territory NBS are observed in points supervision of monitoring: Naddneprjansky highway, "Paklenovaja an oak grove", "Crimea", "Caucasus"; critical - Naddneprjansky highway, "Crimea".*

Keywords: *the phytoindicator, an indicator fluctuation of asymmetries, defoliation, pollution, atmospheric air, a botanical garden.*

Вступ

Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України знаходиться в центрі Києва з майже трьохмільйонним населенням, виконує функцію не лише рекреації, а являється своєрідним природним очисним комплексом та урбокомпенсаційною зоною центральної частини міста. При цьому рослини, що зростають в ботанічному саду, знаходяться в щільному колі підприємств та автомагістралей і тому потребують комплексного моніторингу екологічного стану території.

Фітотоксичний ефект промислових емісій вперше був досліджений і описаний в 1849 р., вже через сто років в промислових районах Німеччини, Польщі та Чехії почалось масове всихання лісів, що згодом досягло катастрофічних розмірів. Ю.А. Штекгард вперше встановив зв'язок між пошкодженнями лісу і техногенним навантаженням металургійних комбінатів, а саме між підвищенням вмістом свинцю, миш'яку та сірки в хвої та наявністю "димової шкоди" [10].

Пошук інформативних високочутливих біомаркерів видів-індикаторів забруднення навколишнього середовища є одним із ключових завдань системи фітомоніторингу урбоєкосистем.

Фітоіндикатори дають змогу оцінити біологічно значимі ефекти забруднення, дозволяють визначити швидкість змін, що відбулися, шляхи та джерела надходження та розсіювання полутантів. Фітоіндикатор – це біологічний сенсор, що реагує на дію сукупності забруднюючих речовин, адже забруднення лише однією речовиною вкрай рідкісне явище. Ступінь забруднення атмосферного повітря є визначаючим фактором для росту, розвитку, продуктивності рослин і екологічного благополуччя наземних екосистем в цілому. Коли вміст деяких складових газового середовища перевищує критичний рівень адаптації і стійкості, настає стресова реакція і порушується функціонування найбільш чутливих компонентів системи. Концентрація будь-якої речовини, досягнувши порогової стає причиною стресу [4].

Дослідження впливу полутантів на рослинність на екосистемному рівні дозволили виділити три класи їх прояву: при низькому вмісті домішок (взаємодія класу I) рослинність і ґрунт лісових екосистем функціонує без пошкоджень; при середньому вмісті (взаємодія класу II) деякі види дерев і окремі особи зазнають негативного впливу, який полягає у порушенні балансу і обміну поживних речовин, зниженні імунітету; високий вміст домішок (взаємодія класу III) викликає різке зниження імунітету або загибель деяких особин [5].

За коефіцієнтом комбінованої дії діоксиду азоту+діоксиду сірки+формальдегіду на території НБС спостерігались рівні забруднення атмосферного повітря від стаціонарних та пересувних джерел:

- у 2007 р. – 0,7-16,3 ГДК для рослинності;

- у 2008 р. – 0,7-16,7 "-";
- у 2009 р. – 2,5-13,0 "-";
- у 2010 р. – 0,7-10,7 "-".

Найнижчі рівні забруднення діоксидами азоту та сірки і формальдегіду спостерігались протягом усього періоду спостережень у північній частині НБС, а найвищі у південно-східній, біля Наддніпрянського шосе.

Матеріали і методи

Розрахунок приземних концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері від стаціонарних та пересувних джерел здійснювався за допомогою автоматизованої системи розрахунку забруднення атмосфери "ОНД-86 Калькулятор" (версія 1.0). Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин в атмосферне повітря зроблений з урахуванням метеорологічних характеристик району й коефіцієнтів, що визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. Розрахунок розсіювання викидів забруднюючих речовин зроблений по кожній речовині [6].

Графічні карти полів забруднення приземного шару атмосфери шкідливими речовинами представлені у вигляді ізоліній концентрацій у частках ГДК для населення та для рослинності.

Забруднення атмосфери від пересувних джерел визначався методом підрахунку автомобілів різних типів. Вимірювання проводили на протязі 10 днів щоквартально о 8-й, 13-й і 18-й год. Визначення викидів забруднюючих речовин від автотранспорту по кожній речовині проводили за "Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов" (1999). Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин від автотранспорту проводили за "Правила расчета загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от мобильных источников выбросов" (2010).

Зразки листків видів-індикаторів відбирались у першій декаді вересня за методикою Маргайлик (1961) в точках моніторингової сітки.

При приведенні моніторингу, а саме при аналізі макроскопічних змін листків оцінювали пошкодженість листової пластинки у відсотках від загальної площі листка при цьому використовувались шкали, розроблені Е.Н. Кондратюком (1980), В.П. Кучерявим (1981, 1992), В.П. Тарабриним (1986). Класифікацію уражень листків проводили з використанням схеми, запропонованої Р. Шубертом (1988) [6, 12, 13, 14].

Ступінь дефоліації крони оцінювався у відсотках. При цьому враховувались не лише кількісні показники, але й локалізація вогнищ дефоліації та характер розповсюдження у кроні у відповідності до європейської методики (Manual on Methodologies..., 1994).

Аналізувались також показники і стан пігментного фотосинтетичного комплексу. Показники забарвлення (відтінок зеленого, червоного та синього кольору) визначались за допомогою програми Paint за методикою С.Н. Гашева (2003) [3].

Показник флуктуючої асиметрії використовувався для визначення загального порушення стабільності розвитку організму (Захаров, 1987) і визначався згідно методик Калузької школи (Шестакова, 1997; Захаров, 2000; Методические..., 2003). Об'єм вибірки складав по 100 листків з кожної точки дослідження. Ступінь порушення стабільності розвитку оцінювався за п'ятибальною шкалою В.М. Захарова (1996).

Також були використані методи картографічної візуалізації даних та методи статистичної обробки результатів.

Оцінка та класифікація ризиків впливу на навколишнє природне середовище проводилась через встановлення зв'язку індексів забруднення компоненту навколишнього середовища із прийнятним рівнем екологічного ризику за методикою Г.А. Статюхи (2010).

На території НБС було закладено 74-компонентну моніторингову сітку. Крок координатної моніторингової сітки визначався згідно з п. 2.19 ОНД-86 залежно від класу небезпечності викидів підприємств: 1-й і 2-й класи – 250 м, 3-й – 100 м, 4-й – 50 м, 5-й – 25 м (Руденко, 2008).

Результати обговорення

Пошкодження листових пластинок *Tilia cordata* та *Acer negundo* полютантами на території НБС

Для оцінки токсичного впливу полютантів, що надходять до приземного шару атмосферного повітря НБС нами проведено визначення пошкодження листових пластинок видів-індикаторів некрозами різного типу.

За картами сумарного забруднення приземних шарів атмосферного повітря рис. 1-8 нами визначено рівень забруднення за речовинами у кожній точці моніторингових досліджень за період з 2007 по 2010 роки.

Через те, що ефект сумачії мають діоксиди сірки і азоту та формальдегід, для цих речовин у кожній точці моніторингових досліджень був обрахований сумарний показник забруднення. Для діоксидів сірки та азоту обрахований сумарний показник без врахування впливу формальдегіду, бо діоксиди сірки та азоту мають подібний вплив на некротизацію листової поверхні, а даних щодо впливу формальдегіду на ушкодження листової пластинки некротичного характеру немає.

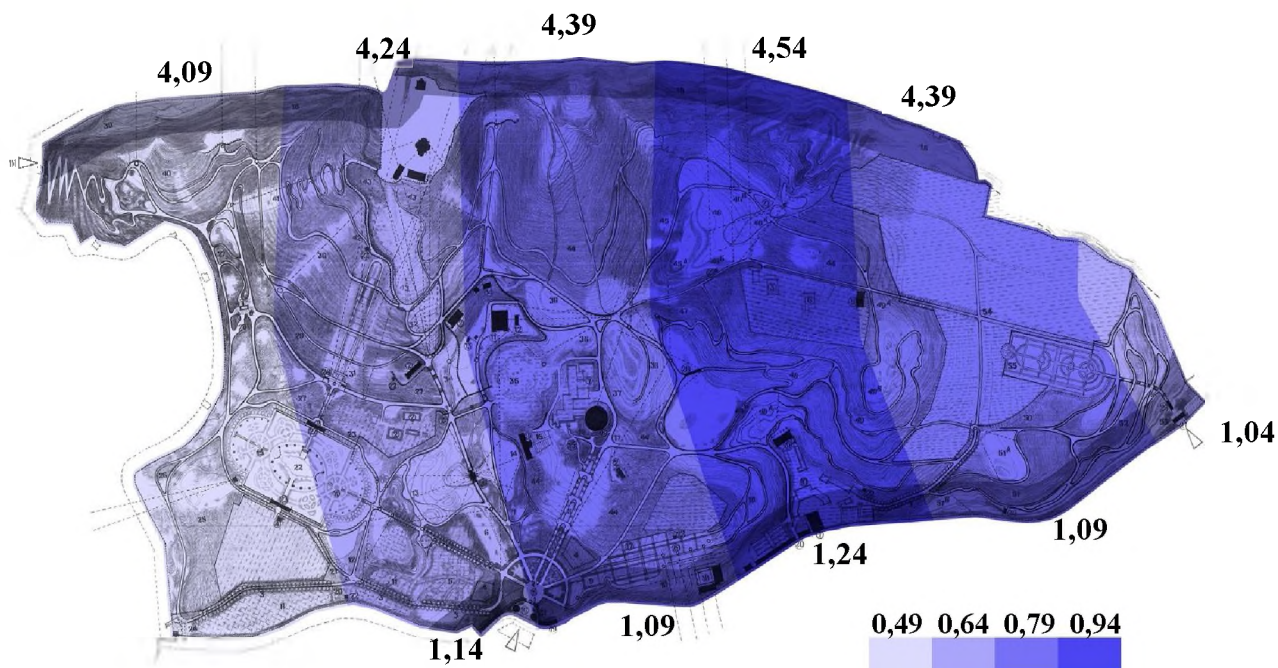


Рис. 1. Рівень забруднення діоксидом азоту приземних шарів атмосферного повітря у 2007-2010 р.р. на території НБС від стаціонарних та пересувних джерел (у частках ГДК для рослинності).

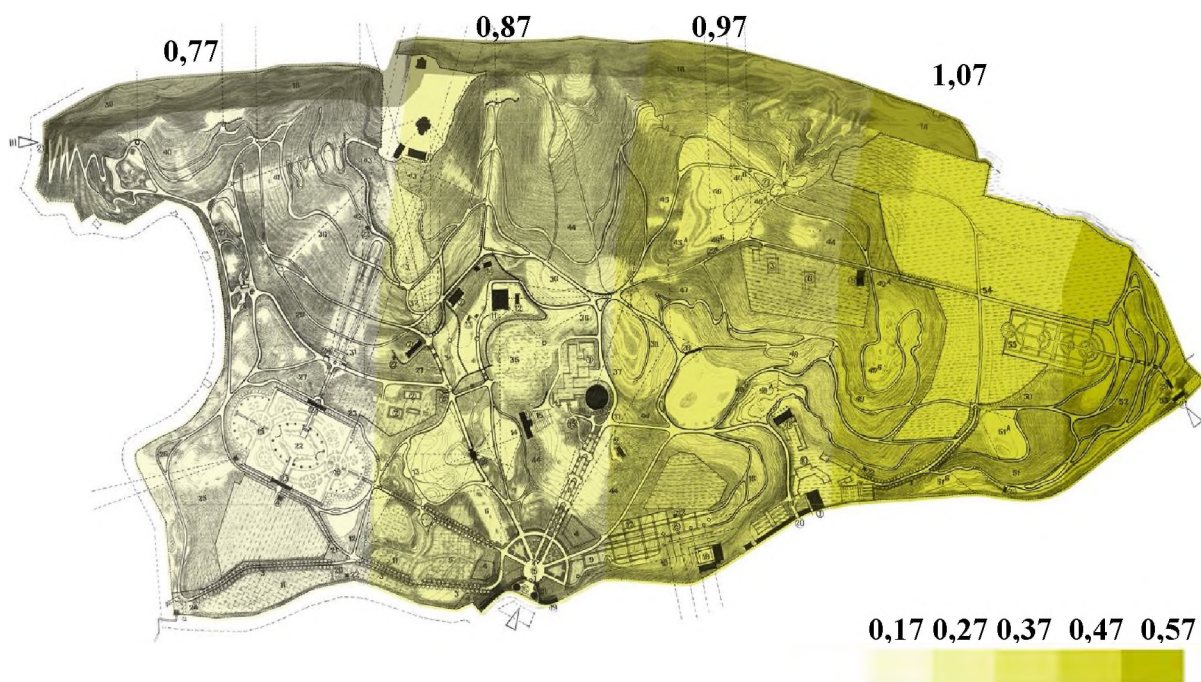


Рис. 2. Рівень забруднення діоксидом сірки приземних шарів атмосферного повітря на території НБС у 2007 р. від Асфальтобетонного заводу та автотранспорту (у частках ГДК для рослинності).

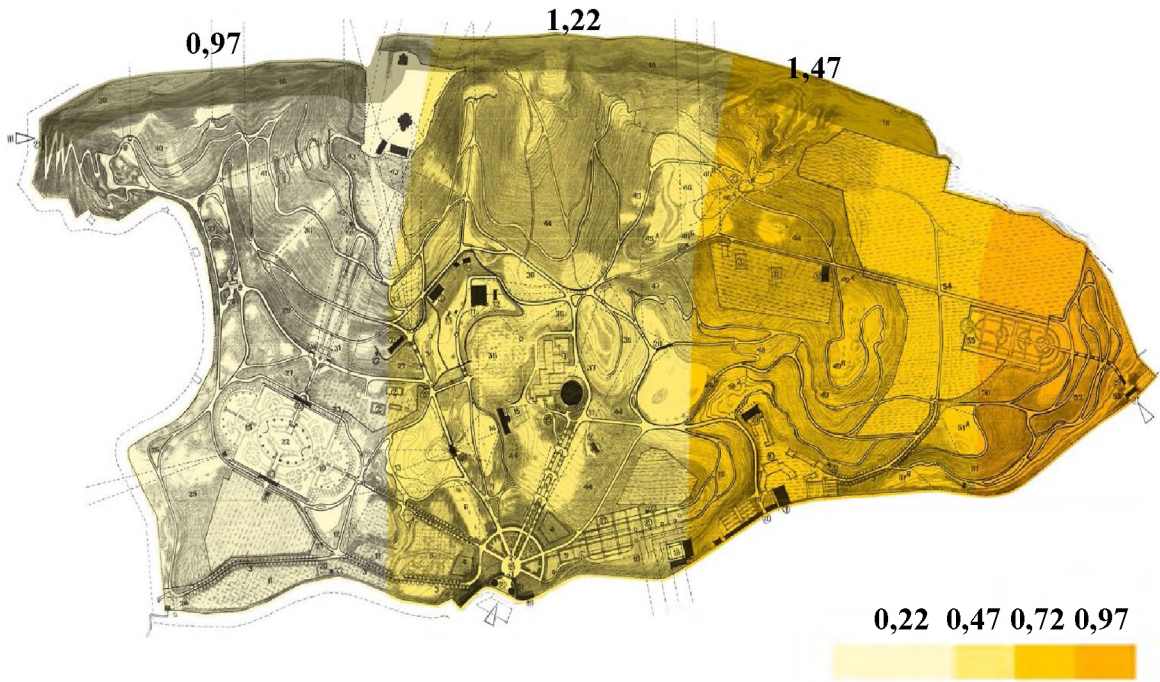


Рис. 3. Рівень забруднення діоксидом сірки приземних шарів атмосферного повітря на території НБС у 2008, 2010 р.р. від Асфальтобетонного заводу та автотранспорту (у частках ГДК для рослинності)

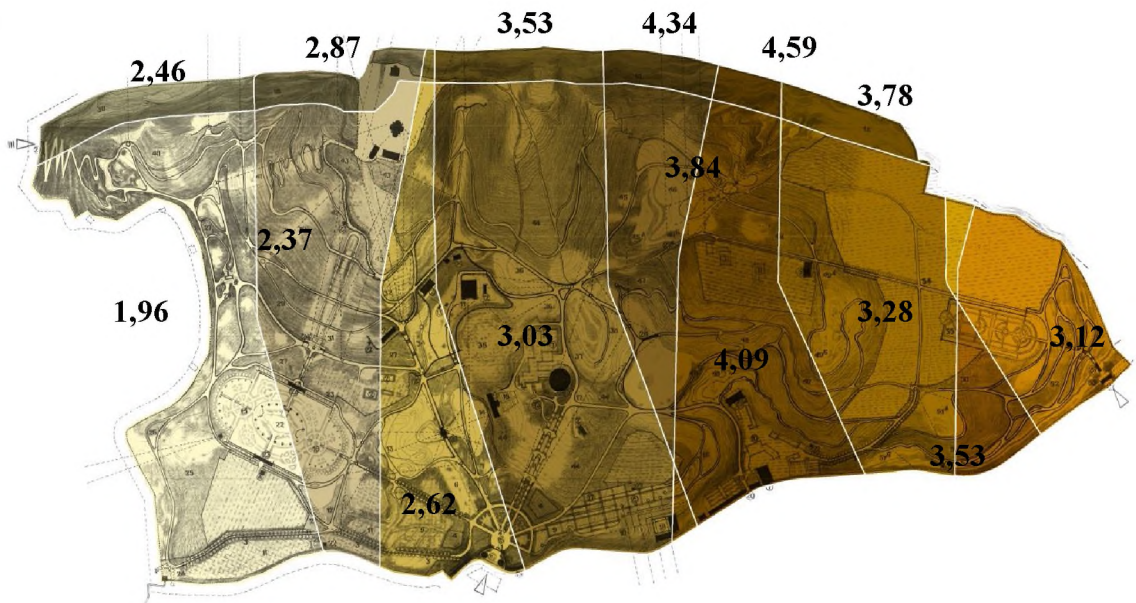


Рис. 4. Рівень забруднення діоксидом сірки приземних шарів атмосферного повітря на території НБС у 2009 р. від ТЕЦ-5, Асфальтобетонного заводу та автотранспорту (у частках ГДК для рослинності).

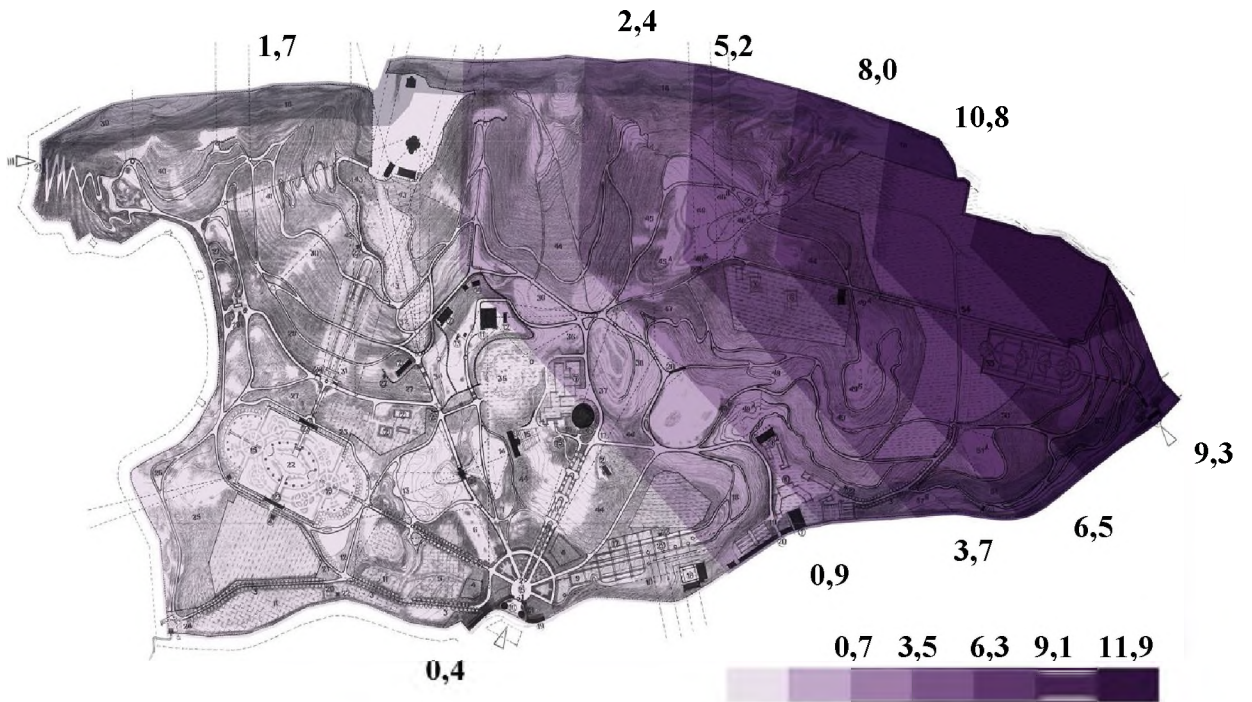


Рис. 5. Рівень забруднення формальдегідом приземних шарів атмосферного повітря на території НБС у 2007-2008 р.р. від заводу деревинностружкових плит “Аверс” та автотранспорту (у частках ГДК для рослинності).



Рис. 6. Рівень забруднення формальдегідом приземних шарів атмосферного повітря на території НБС у 2009-2010 р.р. від заводу деревинностружкових плит “Аверс” та автотранспорту (у частках ГДК для рослинності).

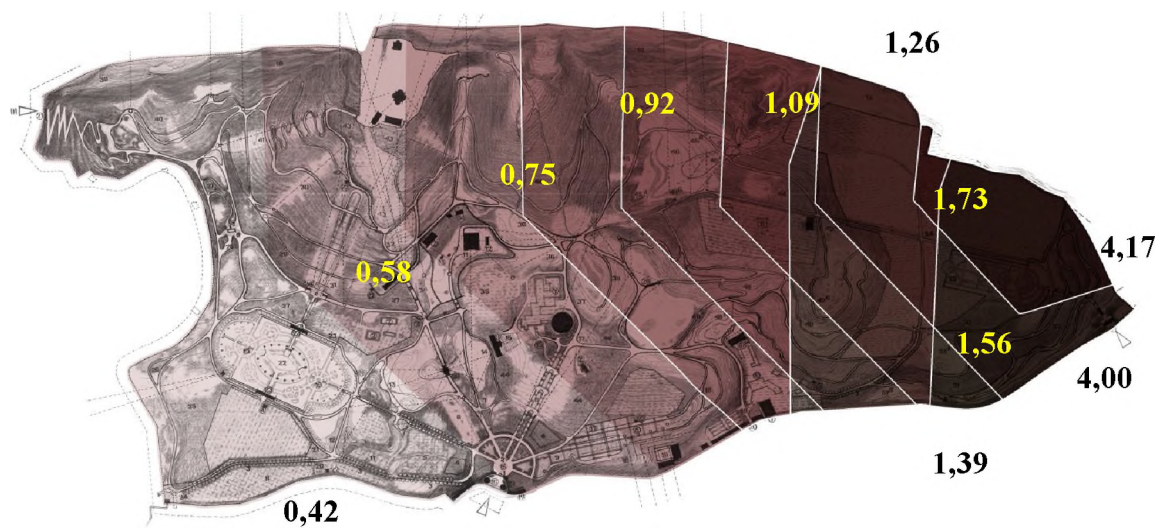


Рис. 7. Рівень забруднення пилом приземних шарів атмосферного повітря на території НБС у 2007 р. від заводу деревинностружкових плит “Аверс” та Асфальтобетонного заводу (у частках ГДК для рослинності).

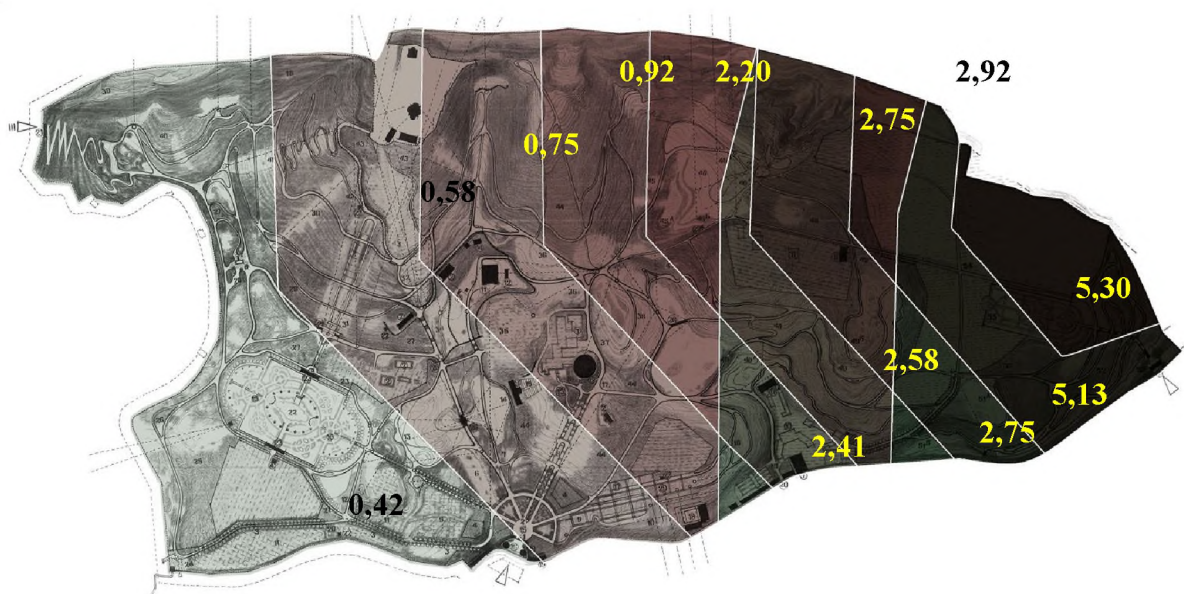


Рис. 8. Рівень забруднення пилом приземних шарів атмосферного повітря на території НБС у 2008 р. від заводу деревинностружкових плит “Аверс” та Асфальтобетонного заводу (у частках ГДК для рослинності).

Серед уражень листової пластинки липи серцелистої за період спостережень було виявлено такі типи некрозів (рис. 9.): точкові, плямисті (перфоровані та неперфоровані), крайові та верхівкові. Серед деформацій листків на території НБС у фітоіндикатора липи серцелистої спостерігались: скручування листових пластинок, запилення та наліт сажі на поверхні листків (рис. 10, 11).

Найбільш ураженими ділянками НБС (з середнім показником некротизації листкової пластинки – 30% і значною ступінню дефоліації) були ділянки:

2007 рік

- вул. Bastionna біля центрального входу;
- ботаніко-географічна ділянка “Кавказ”;
- “-“ “Крим”;
- схили Наддніпрянського шоссе вниз від ботаніко-географічної ділянки “Степи”.

2008 рік

- схили Наддніпрянського шоссе вниз від ботаніко-географічної ділянки “Степи”;
- ботаніко-географічна ділянка “Крим”;

2009 рік – вся територія НБС.

2010 рік

- вул. Bastionna біля центрального входу;
- ботаніко-географічна ділянка “Крим”;
- ботаніко-географічна ділянка “Алтай та Західний Сибір”;
- схили Наддніпрянського шоссе вниз від ботаніко-географічної ділянки “Степи”.

У деяких точках моніторингових досліджень окрім некротизації спостерігається висока ступінь периферійної дефоліації (рис. 10) при невисокому ступені ушкодження листкових пластинок. Такі ушкодження спостерігались у 2009 році при значному перевищенні середньорічного ГДК для рослинності у 2,5-8,3 рази у всіх точках моніторингових досліджень, а також у інші роки спостережень у точках біля Наддніпрянського шоссе, де рівень забруднення становив 5-6 ГДК для рослинності.

Через те, що ступінь ураження листкових пластинок при надвисокому рівні ГДК не є прогностичним, ці результати нами виключені з аналізу некротичних уражень і встановлення взаємозв'язку між відсотком некротичних поверхонь дистка та рівнем забруднення атмосфери.

Нами встановлена лінійна кореляція між відсотком ураження листкової пластинки липи серцелистої та рівнем сумарного забруднення приземних шарів атмосферного повітря діоксидами сірки та азоту (у частках ГДК для рослинності). Коефіцієнт кореляції між цими двома показниками становить – 0,7542, при цьому розрахунковий критичний коефіцієнт кореляції (Мюллер, 1982) дорівнює для такого числа ступенів вільності – 0,3147 (з ймовірністю 95%). Тому, ми можемо зробити висновок про наявність лінійного кореляційного зв'язку між ступінню ушкодження листкової пластинки і рівнем забруднення атмосферного повітря.



1



2

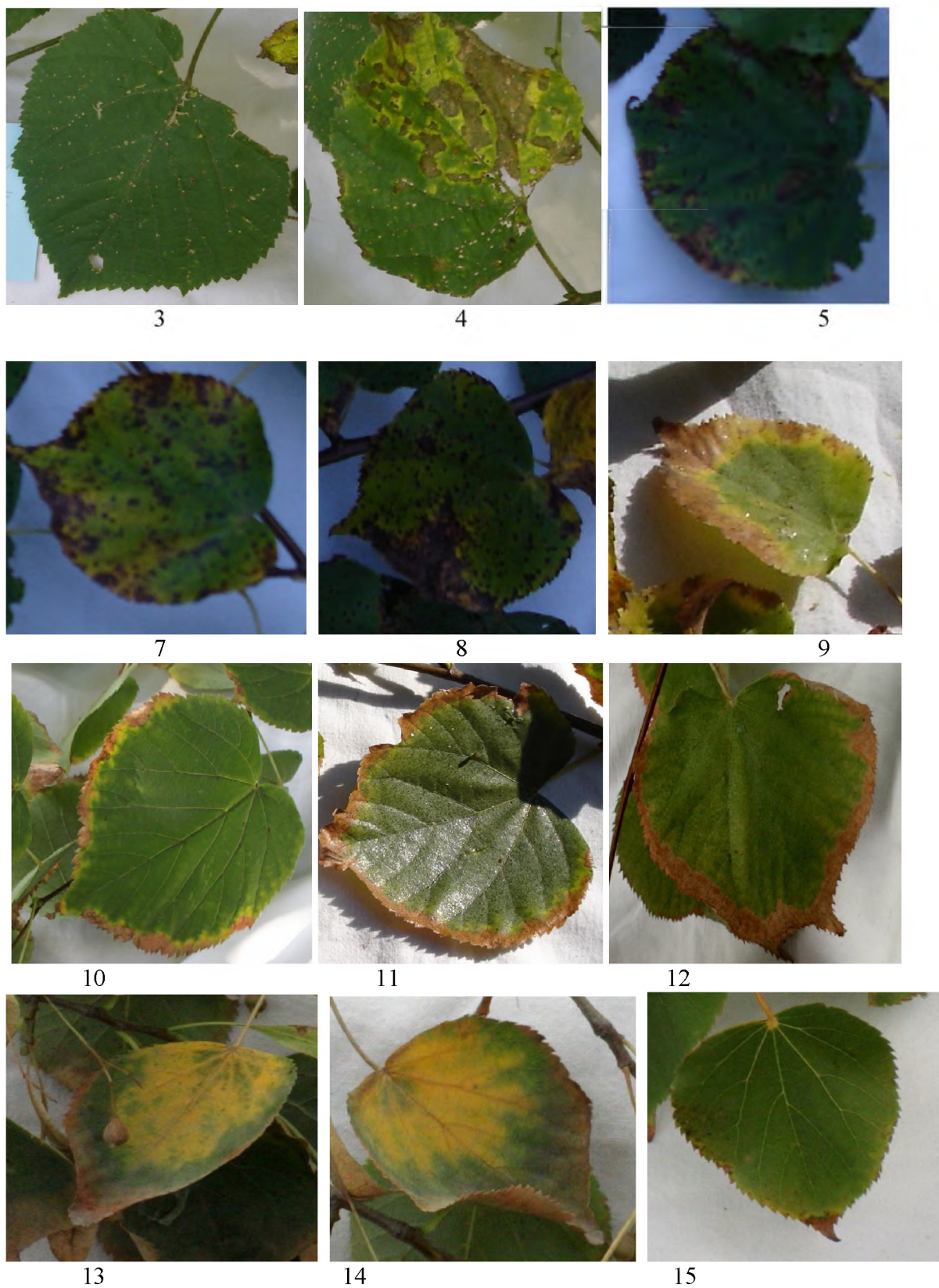


Рис. 9. Характер ушкоджень листкових пластинок *Tilia cordata* на території НБС у 2007-2010 р.р.:
 1, 2 – точкові та плямисті некрози; 3 – крайові та плямисті некрози; 4 – перфоровані точкові некрози; 5 –
 перфоровані точкові та плямисті некрози; 6-8 – плямисті та точкові некрози; 9-14 – крайові некрози; 15 –
 верхівковий некроз.



1



2

Рис. 10. Значний ступінь периферійної дефоліації *Tilia cordata* (1) та гілка без ознак дефоліації



1



2



3

Рис. 11. Скручування листків (1), запиленість (2) та сажа (3) на поверхні листків *Tilia cordata* на території НБС у 2007-2010 р.р.

При підвищенні забруднення атмосферного повітря діоксидами азоту та сірки зростає рівень ушкодження листкової пластинки, при цьому максимальні середні значення ушкодження листків дорівнюють 35%. Такий кореляційний зв'язок прослідковується до рівня 2,5 ГДК для рослинності за вмістом діоксидів сірки та азоту. Рівняння залежності пошкодження листкових пластинок липи серцелистої від забруднення приземних шарів атмосферного повітря діоксидами сірки та азоту (у частках ГДК для рослинності) – $y = 0,6521 + 0,0345 x$.

Кореляції між ушкодженням листкових пластинок липи серцелистої та вмістом в атмосферному повітрі формальдегіду чи пилу немає.

Протягом періоду досліджень найчастіше у точках моніторингових спотережень трапляються некрози плямистого та крайового типу, інколи вони поєднуються разом з точковими некрозами. Верхівкові некрози зустрічають вкрай рідко. У 2009 році у період найвищих рівнів забруднення приземних шарів атмосферного повітря на жодній точці моніторингових досліджень не траплялись точкові та верхівкові некрози. Напевно вони притаманні низьким рівням забруднення атмосфери діоксидами сірки та азоту.

На рис. 12-14 представлено відсоток некротичного пошкодження листкової пластинки липи серцелистої в залежності від сумарного забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту та діоксидом сірки у частках ГДК для рослинності у 2007-2010 р.р. на території НБС.

У 2007 році (рис. 12) для рівнів забруднення атмосферного повітря діоксидами сірки та азоту 0,7-0,9 ГДК для рослинності характерним було середнє значення ураження листкової пластинки некрозами на рівні 5-10%, для рівня забруднення 1,1-1,2 ГДК – 15-20%; 1,3-1,6 ГДК – 25-30%.

У 2008 році значення ураження листкової пластинки поллютантами були значно менше. Так при рівні забруднення діоксидами сірки та азоту у 0,7-0,8 ГДК ступінь ушкодження листкової пластинки був на рівні 3-5%, 1,3-1,6 – 10-20%, 1,8-2,1 ГДК – 25-30%. У 2010 році ступені ураження листкової пластинки діоксидами сірки та азоту були на рівні, що і у 2007 році.

Як видно з рис. 12.-14. у 2007 та 2010 роках спостерігалось підвищення ступеня ураженості листкових пластинок поллютантами в середньому на 33%, порівняно з 2008. Це пояснюється тим, що у 2007 і 2010 роках склались несприятливі для розсіювання забруднюючих атмосферу речовин кліматичні умови –підвищення середньорічної температури повітря, що не лише підвищує рівень забруднення атмосферного повітря, але й рівень ушкодження рослинних об'єктів, крім того у 2010 – спостерігалась найбільша кількість приземних інверсій та штилів.

Кореляційного зв'язку між ступінню забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту і сірки, формальдегідом та деформаціями листкових пластинок не виявлено. Спостерігається зв'язок між сублетальними та летальними рівнями забруднення (у 2009 році) і деформаціями листкових пластинок та між запиленістю та нальотом з сажі та деформацією листків липи серцелистої. Перевищення рівнів ГДК за вмістом пилу в атмосферному повітрі, наявність пилу та сажі на поверхні листків призводить до появи скручувань та деформацій.

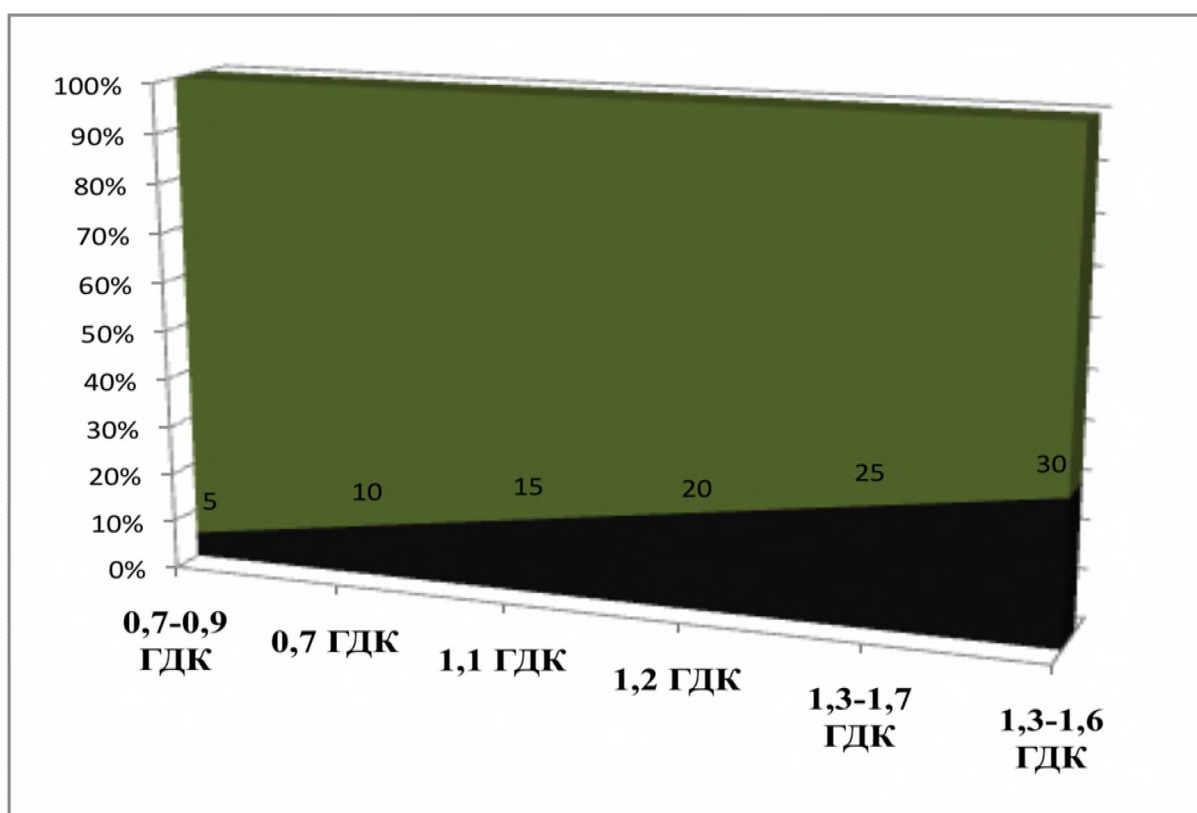


Рис. 12. Відсоток пошкодження листкової пластинки *Tilia cordata* в залежності від сумарного забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту та діоксидом сірки у частках ГДК для рослинності у 2007 році на території НБС.

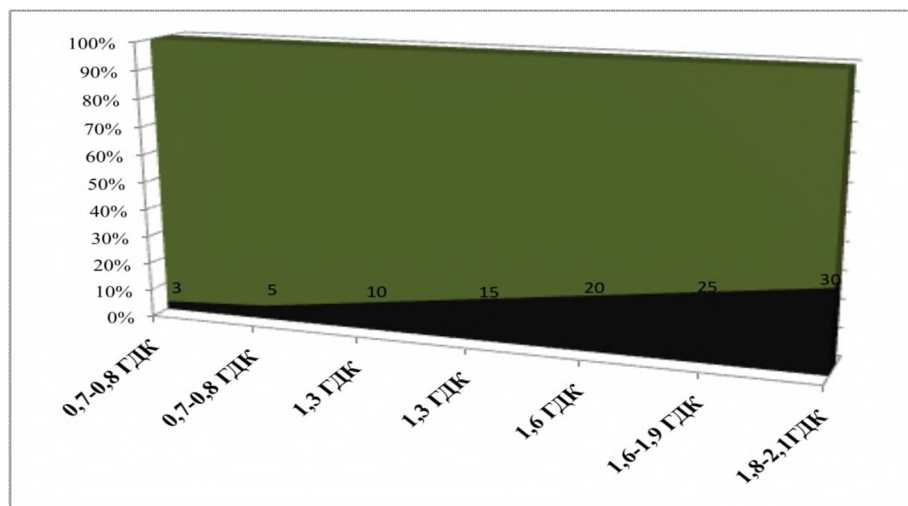


Рис. 13. Відсоток пошкодження листкової пластинки *Tilia cordata* в залежності від сумарного забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту та діоксидом сірки у частках ГДК для рослинності у 2008 році на території НБС.

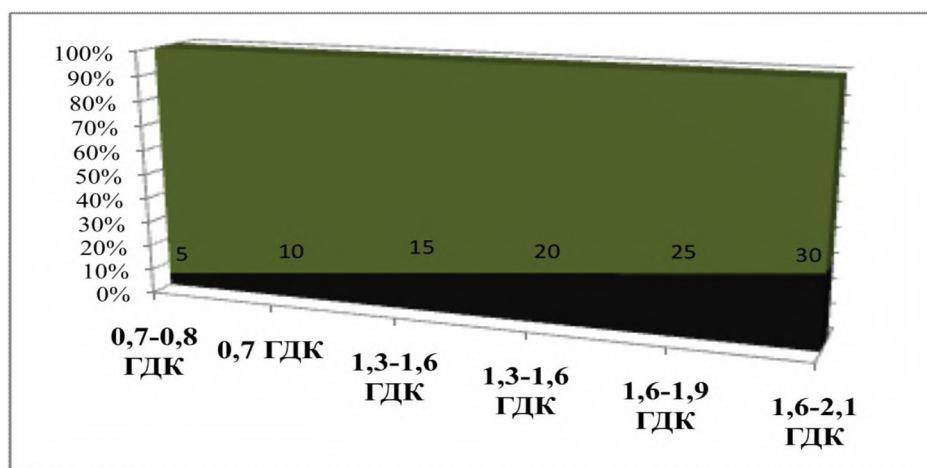


Рис. 14. Відсоток пошкодження листкової пластинки *Tilia cordata* в залежності від сумарного забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту та діоксидом сірки у частках ГДК для рослинності у 2010 році на території НБС.



Рис. 15. Залежність ступеню некротичного пошкодження листкових пластинок *Tilia cordata* від сумарного вмісту діоксидів азоту та сірки в приземних шарах атмосферного повітря.

Клен ясенелистий – чутливий індикатор до впливу вихлопних газів, саме тому, особини виду-індикатора клена ясенелистого, що включені у сітку моніторингових досліджень розміщені обабіч проїздної частини вул. Тімірязєвська та Наддніпрянського шоссе.

Серед уражень листкової пластинки за період спостережень (2007-2010 р.р.) було виявлено такі типи некрозів (Рис. 16.):

- крайовий;
- плямистий.

Ступінь ушкоджень листкових пластинок некротичного характеру коливається в межах 3-20% та трапляються некрози плямистого та крайового типу. Майже у всіх точках моніторингових спостережень у клена ясенелистого на листкових пластинках спостерігається наліт з сажі та пилу.

У особин-індикаторів, що розташовані біля вул. Тімірязєвська, де в середньому за годину у роки спостережень проходить 360 автомобілів різних типів спостерігається пошкодження листкової пластинки на рівні 3-5%, при цьому переважають лише крайові типи некрозів.



Рис. 16. Характер ушкоджень листкових пластинок *Acer negundo* на території НБС у 2007-2010 р.р.: 1 – крайові некрози; 2 – плямисті некрози.

У особин клена ясенелистого, що розташовані обабіч Наддніпрянського шоссе, де за період 2007-2010 р.р. в середньому проходить 3500 автомобілів за годину ступінь ушкодження листкових пластинок становить 20% і переважають крайові та плямисті типи некрозів. У 2007 р. та 2010 р. ступінь ушкодження листкових пластинок клена ясенелистого зріс з 14 до 19% (на 26%), це пов'язано з тим, що у ці роки спостігалось підвищення середньорічної температури повітря, та у 2010 – найбільша кількість приземних інверсій та штилів.

Нами встановлена лінійна кореляція між відсотком ураження листкової пластинки клена ясенелистого та кількістю автомобілів, що проходять за годину по даній магістралі (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,9221).

При зростанні кількості автомобілів, що проходять по магістралям зростає рівень ушкодження листкової пластинки *Acer negundo*.

Кореляції між ушкодженням листкових пластинок *Acer negundo* та вмістом в атмосферному повітрі діоксидів азоту та сірки, формальдегіду чи пилу немає.

Визначення ступеню аеротехногенного забруднення території НБС за рівнем дефоліації *Tilia cordata* та *Acer negundo*

Дефоліація спостерігається після появи некрозів чи хлорозів та призводить до скорочення асиміляційної площі та згодом до загибелі дерева. Розрізняють периферійний та верхівковий тип дефоліації крони. Показник максимальної щільності крони для “нормального” дерева клена і липи становить 90% [11].

Периферійне відмирання крони пов'язане з усиханням гілок, яке починається з верхньої частини крони і продовжується в напрямку до основи живої крони. Його визначають як частку сухих гілок по периферії крони. В нормі у здорових дерев цей показник дорівнює нулю [11].

Дефоліація крони у 2007-2010 роках спостігалась не у всіх особин фітоіндикаторів у точках моніторингових спостережень. У 2007, 2008, 2010 роках дефоліація спостігалась на особинах липи сердцелистої у 18 точках моніторингових досліджень, у 2009 році дефоліація спостігалась у всіх точках моніторингових досліджень, через значне підвищення рівня забруднення.

За шкалою Міжнародної спілки лісових дослідницьких організацій при дефоліації вище 60% деревний вид відносять до сильнопошкоджених. На території НБС близько 60% дефоліації викликано

сумарним забрудненням приземних шарів атмосферного повітря діоксидами азоту та сірки у 5 ГДК і вище.

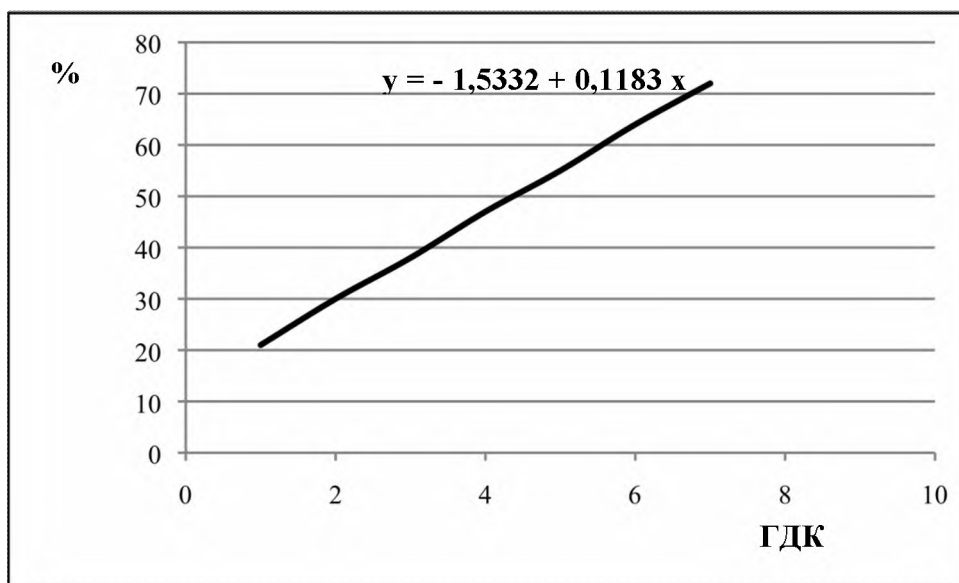


Рис. 17. Залежність відсотка дефоліації крони *Tilia cordata* від сумарного вмісту діоксидів азоту та сірки (в частках ГДК для рослинності) в приземних шарах атмосферного повітря НБС.

Найбільш забрудненими ділянками за ступенем пошкодження крони (до 60% дефоліації): у 2007-2010 р.р. – були схили Наддніпрянського шоссе вниз від ботаніко-географічної ділянки “Степи”, а у 2009 р. – це ще ділянка “Алтай та Західний Сибір” і “Крим”.

Залежності ступеня дефоліації крони липи серцелистої від забруднення атмосферного повітря на території НБС формальдегідом та пилом не виявлено.

Нами встановлена лінійна залежність між відсотком дефоліації липи серцелистої та рівнем забруднення атмосфери діоксидами сірки та азоту. Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,9121, тобто відмічена висока щільність зв'язку цих двох факторів. Рівняння залежності $y = -1,5332 + 0,1183 x$ (рис. 17.).

На території НБС у 2007-2010 р.р. переважали верхівкові та периферійні типи дефоліації крони липи серцелистої на одній особині. Лише периферійні типи дефоліації спостерігались у 2007, 2008, 2010 р.р. у точках моніторингових спостережень на вул. Bastionnii (1БА-2БА), а лише верхівкові типи у ці ж самі роки спостерігались на ділянках: “Алтай та Західний Сибір”, “Пакленова діброва”, “Кавказ”. Це явище пов'язане із джерелами забруднення та шляхами переносу забруднюючих речовин.

Через перепад висот від території ТЕЦ-5 та Асфальтобетонного заводу до ділянок “Алтай та Західний Сибір”, “Пакленова діброва”, “Кавказ” (біля 100 м), на цих ділянках переважає верхівковий тип дефоліації крони, що пов'язаний з шляхами переносу забруднюючих речовин. На вул. Bastionna, де превалює забруднення атмосферного повітря від пересувних джерел спостерігається лише периферійний тип дефоліації.

Через недостатню кількість спостережень у 2007, 2008, 2010 р.р. складно встановити вплив кліматичних факторів на ступінь дефоліації в залежності від рівня забруднення атмосфери.

З підвищенням рівня забруднення атмосферного повітря у 2009 році на всіх точках моніторингових досліджень спостерігались верхівкові та периферійні типи дефоліації на одній особині.

Дослідження рівня дефоліації *Acer negundo* показало, що цей показник знаходиться в межах 0-10%, що є абсолютною нормою [11]. Таким чином, забруднення приземних шарів атмосферного повітря вихлопними газами не викликають дефоліацію крони у *Acer negundo*.

Визначення ступеню аеротехногенного забруднення території НБС за рівнем дехромації листових пластинок липи серцелистої та клена ясенелистого

Втрата зеленого забарвлення, що супроводжується пожовтінням, а іноді навіть побілінням листків відбувається через інтенсивне руйнування хлорофілу, викликане активізацією ферментних систем деградації зеленого пігменту, вивільнення хлорофілу із зв'язаного стану. Інколи пожовтіння настає в результаті гальмування синтезу хлорофілу. Коли ж листя біліє, то руйнується не тільки хлорофіл, а й жовті пігменти – каротиноїди. Пожовтіння може бути суцільним або мозаїчним [1,2]

Так як, у точках моніторингових досліджень, де вміст діоксидів азоту та сірки вище 1 ГДК для рослинності, біомаркерами забруднення атмосферного повітря є відсоток пошкодження листової

пластинки та дефоліації крони липи серцелистої, нами визначався рівень дехромації листкових пластинок у точках моніторингових досліджень, де сумарний рівень забруднення приземних шарів атмосферного повітря за вмістом діоксидів азоту та сірки не перевищував 1 ГДК для рослинності.

У контролі, на території м. Боярки Київської області, що є відносно “чистим” регіоном, у липи серцелистої середній показник RGB дорівнює 13/83/2 (де перше число – показник червоного кольору, 83 – зеленого, 2 – блакитного). При збільшенні абсолютного значення показника зеленого кольору зменшується кількість зеленого пігменту у листках, а при збільшенні значення червоного кольору збільшується кількість жовтого пігменту.

Середня значення показника блакитного кольору у контролі та у точках моніторингових досліджень не змінюється. Кореляції зміни показників зеленого та червоного кольору у забарвленні листків липи серцелистої в залежності від забруднення приземних шарів атмосферного повітря формальдегідом і пилом не виявлено.

Середні значення змін забарвлення листків липи серцелистої (зеленого та жовтого пігменту) в залежності від забруднення атмосфери діоксидами азоту та сірки подані на рис. 18.

Як бачимо з рис. 18. при забрудненні приземних шарів атмосферного повітря діоксидами азоту та сірки на рівні 0,7-0,8 ГДК для рослинності збільшується вміст зеленого пігменту у листках липи серцелистої (на 26-32 одиниці RGB), через те, що при низьких концентраціях виявляється компенсаторна здатність рослинних організмів і збільшується кількість хлорофілу (Михайлова, 2000; Казанцева, 2003). При цьому зростає вміст жовтого пігменту у листках, порівняно з контролем на 8-13 одиниць.

При дозі діоксидів азоту та сірки 0,9 ГДК для рослинності вміст зеленого пігменту у листках липи серцелистої зменшується на 37 одиниць, порівняно з контролем, водночас зростає вміст жовтого – на 51 одиницю. Тобто при дозі 0,9 ГДК спостерігається зміна компенсації – ушкодженням.

Нами встановлена лінійна залежність між вмістом діоксидів азоту та сірки в атмосферному повітрі (у частках ГДК для рослинності) та відтінком червоного листків липи серцелистої: коефіцієнт кореляції 0,7639.

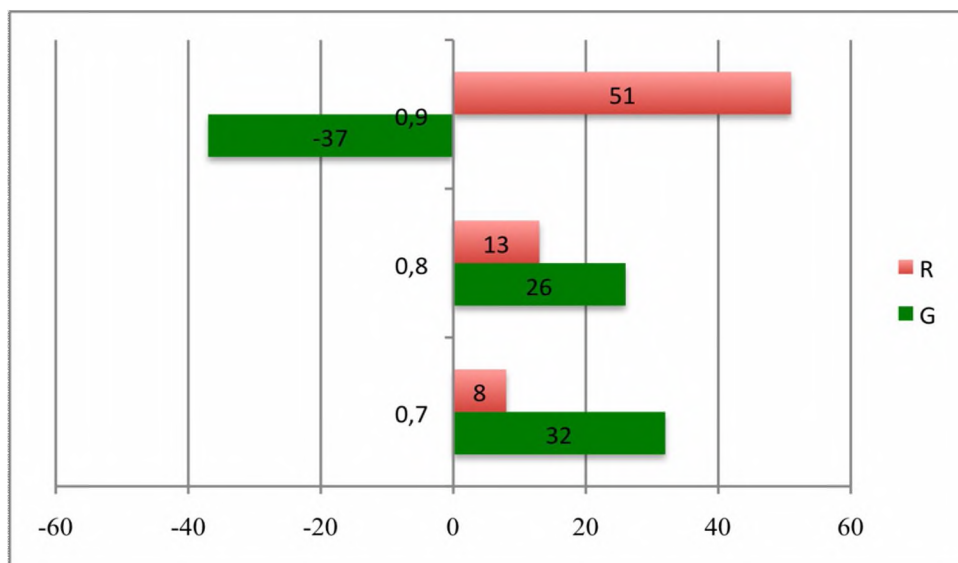


Рис. 18. Середні показники зміни забарвлення листків *Tilia cordata* в залежності від забруднення атмосферного повітря діоксидами азоту та сірки у частках ГДК для рослинності.

Нами визначався рівень дехромації листкових пластинок *Acer negundo* у точках моніторингових досліджень.

У контролі, на території м. Боярки Київської області у клена ясенелистого середній показник RGB дорівнює 15/128/3 (де перше число – показник червоного кольору, друге – зеленого, третє – блакитного).

При забрудненні приземних шарів атмосферного повітря вихлопними газами при кількості автомобілів за годину від 335 до 403 вміст зеленого пігменту у листках клена ясенелистого змін не зазнає. При цьому зростає вміст жовтого пігменту у листках, порівняно з контролем на 5 одиниць.

У особин клена ясенелистого, що зростає обабіч Наддніпрянського шоссе, де за годину проходить 3315-3702 автомобілів, вміст зеленого пігменту у листках клена ясенелистого зменшується на 50 одиниць, порівняно з контролем, водночас зростає вміст жовтого – на 23 одиниці.

Таким чином, при забрудненні приземних шарів атмосферного повітря вихлопними газами у кількості 360 автомобілів за годину у особин-індикаторів клена ясенелистого не спостерігається суттєвих змін у пігментному комплексі.

При забрудненні пересувними джерелами у кількості 3500 автомобілів вміст зеленого пігменту в листках істотно зменшується і зростає вміст жовтого.

Висновки

Згідно моніторингових досліджень, проведених у 2007-2010 р.р. на території НБС встановлена лінійна залежність між відсотком ураження листкової пластинки липи серцелистої та рівнем сумарного забруднення приземних шарів атмосферного повітря діоксидами сірки та азоту (у частках ГДК для рослинності). Коефіцієнт кореляції між цими двома показниками становить – 0,7542. Рівняння залежності пошкодження листкових пластинок липи серцелистої від забруднення приземних шарів атмосферного повітря діоксидами сірки та азоту (у частках ГДК для рослинності) – $y = 0,6521 + 0,0345 \cdot x$. Відсоток ураження листкових пластинок липи серцелистої може слугувати біомаркером сумарного забруднення приземних шарів атмосферного повітря діоксидами азоту та сірки до 2,5 ГДК для рослинності. Кореляції між ушкодженням листкових пластинок липи серцелистої та вмістом в атмосферному повітрі формальдегіду чи пилу немає.

Найчастіше трапляються некротичні ушкодження листкових пластинок *Tilia cordata* плямистого та крайового типу, інколи вони трапляються разом з точковими некрозами, верхівкові некрози зустрічають вкрай рідко. Точкові та верхівкові некрози притаманні низьким рівням забруднення атмосфери діоксидами сірки та азоту.

При підвищенні середньорічної температури повітря та кількості приземних інверсій та штилів спостерігається підвищення ступеня ураженості листкових пластинок полютантами в середньому на 33%.

Перевищення рівнів ГДК за вмістом пилу в атмосферному повітрі, наявність пилу та сажі на поверхні листків призводить до появи скручувань та деформацій.

За період спостережень було виявлено крайовий та плямистий типи некрозів листкової пластинки *Acer negundo*, ступінь ушкоджень коливається в межах 3-20%. При навантаженні магістралі (біля вул. Тімірязевська) у 360 автомобілів спостерігається пошкодження листкової пластинки *Acer negundo* на рівні 3-5%, при цьому переважають лише крайові типи некрозів; Наддніпрянського шосе (3500 автомобілів за годину) ступінь ушкодження листкових пластинок становить 20% і переважають крайові та плямисті типи некрозів. У 2007 р. та 2010 р. ступінь ушкодження листкових пластинок клена ясенелистого зріс з 14 до 19%, це пов'язано з підвищенням середньорічної температури повітря та кількості приземних інверсій та штилів.

Нами встановлена лінійна кореляція між відсотком ураження листкової пластинки клена ясенелистого та кількістю автомобілів, що проходять за годину по даній магістралі (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,9221). При зростанні кількості автомобілів, що проходять по магістралям зростає рівень ушкодження листкової пластинки *Acer negundo*.

Кореляції між ушкодженням листкових пластинок *Acer negundo* та вмістом в атмосферному повітрі діоксидів азоту та сірки, формальдегіду чи пилу немає.

Рівень дефоліації крони липи серцелистої є єдиною високоінформативною ознакою при високих рівнях забруднення атмосферного повітря діоксидами азоту та сірки.

Рівень дефоліації на території НБС коливався від 25 до 65% в залежності від забруднення приземних шарів атмосферного повітря на рівні 1-8 ГДК для рослинності за забрудненням діоксидами сірки та азоту. Встановлена лінійна залежність між відсотком дефоліації липи серцелистої та рівнем забруднення атмосфери діоксидами сірки та азоту. Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,9121. Залежності ступеня дефоліації крони липи серцелистої від забруднення атмосферного повітря на території НБС формальдегідом та пилом не виявлено.

На території НБС у 2007-2010 р.р. переважали верхівкові та периферійні типи дефоліації крони липи серцелистої на одній особині. Лише периферійні чи лише верхівкові типи дефоліації пов'язані із джерелами забруднення та шляхами переносу забруднюючих речовин. З підвищенням рівня забруднення атмосферного повітря спостерігаються верхівкові та периферійні типи дефоліації на одній особині.

Забруднення приземних шарів атмосферного повітря вихлопними газами не викликають дефоліацію крони у *Acer negundo* та її рівень знаходиться в межах норми.

Біомаркером забруднення атмосферного повітря на рівні 0,7-0,9 ГДК для рослинності є показник дехромації листкових пластинок липи серцелистої. При забрудненні приземних шарів атмосферного повітря діоксидами азоту та сірки на рівні 0,7-0,8 ГДК для рослинності збільшується вміст зеленого пігменту у листках липи серцелистої (на 26-32 одиниці RGB), через те, що при низьких концентраціях виявляється компенсаторна здатність рослинних організмів і збільшується кількість хлорофілу. При цьому зростає вміст жовтого пігменту у листках, порівняно з контролем на 8-13 одиниць.

При дозі діоксидів азоту та сірки 0,9 ГДК для рослинності вміст зеленого пігменту у листках липи серцелистої зменшується на 37 одиниць, порівняно з контролем, водночас зростає вміст жовтого – на 51 одиницю. Нами встановлена лінійна залежність між вмістом діоксидів азоту та сірки в атмосферному повітрі (у частках ГДК для рослинності) та відтінком червоного листків липи серцелистої: коефіцієнт кореляції 0,7639.

При забрудненні приземних шарів атмосферного повітря вихлопними газами при кількості автомобілів за годину від 335 до 403 вміст зеленого пігменту у листках клена ясенелистого змін не зазнає. При цьому зростає вміст жовтого пігменту у листках, порівняно з контролем на 5 одиниць.

У особин клена ясенелистого, що зростає обабіч Наддніпрянського шоссе, де за годину проходить 3315-3702 автомобілів, вміст зеленого пігменту у листках клена ясенелистого зменшується на 50 одиниць, порівняно з контролем, водночас зростає вміст жовтого – на 23 одиниці.

Таким чином, при забрудненні приземних шарів атмосферного повітря вихлопними газами у кількості 360 автомобілів за годину у особин-індикаторів клена ясенелистого не спостерігається суттєвих змін у пігментному комплексі. При забрудненні пересувними джерелами у кількості 3500 автомобілів вміст зеленого пігменту в листках істотно зменшується і зростає вміст жовтого.

Література

1. Бессонова В. П. Вплив важких металів на пігментну систему листка / В. П. Бессонова // Український ботанічний журнал. – 1992. – Т. 49, № 2. – С. 63 - 66.
2. Бессонова В. П. Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля: Навчальний посібник з великого практикуму / В. П. Бессонова. – Запоріжжя: ЗДУ, 2001. – Ч. 1. – 196 с.
3. Гашев С. Н. Новые методические подходы к определению цветовых характеристик биологических объектов / С. Н. Гашев // Успехи современного естествознания. – 2003. – №1. – С. 23.
4. Зеркалов Д. В. Екологічна безпека: управління, моніторинг, контроль. Посібник / Д. В. Зеркалов. – К.: Основа, 2007. – 412 с.
5. Зеркалов Д. В. Екологічна безпека: управління, моніторинг, контроль / Д. В. Зеркалов. – К.: Основа, 2007. – 412 с.
6. Кондратюк Е. Н. Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, Б. П. Тарабин, В. И. Бакланов. – К.: Наукова думка, 1980. – 256 с.
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ и выбросов предприятий. ОНД–86. Госкомгидромет. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – 68 с.
8. Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності / Державний комітет статистики України. Наказ №293 від 06.09.2000 р. м. Київ [Електронний ресурс] Режим доступу: http://uazakon.com/documents/date_3q/pg_gmcmxg.htm
9. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур. – М., 2003. – 24 с.
10. Паничева Д. М. Состояние хвойных насаждений зоны широколиственных лесов и репродукция сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения: на примере северо-западной части Брянской области: автореф. дис. на соиск. уч. степени кандидат сельскохозяйственных наук: спец. 06.03.03 “Лесоведение и лесоводство” / Д. М. Паничева. – Брянск, 2009. – 21 с.
11. Пивовар Т. С. Межі природних змін показник стану крон деревних порід / Т. С. Пивовар. – Харків: УкрНДІЛГА, 2008. – Вип. 112. – С.208-217.
12. Тарабин В. П. Засухоустойчивость древесных растений и их размещение в городских насаждениях / В. П. Тарабин, А. Ф. Рубцов // Зеленое строительство в степной зоне УССР. – К.: Наукова думка, 1970. – С.40-48.
13. Тарабин В. П. Механизмы устойчивости растений к загрязнению среды тяжелыми металлами / В.П. Тарабин // Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. – К.: Наукова думка, 1984. – С. 35-36.
14. Тарабин В. П. Устойчивость древесных растений в условиях промышленного загрязнения окружающей среды / В. П. Тарабин: автореф. дис. д-ра биол. наук. – К., 1974. – 54 с.
15. Тарабин В. П. Физиологическая устойчивость древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами / В. П. Тарабин // Микроэлементы в окружающей среде. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 17-19.
16. Тарабин В. П. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей/ В.П. Тарабин, Е.Н. Кондратюк, В.Г. Башкатов – К.: Наукова Думка, 1986. – 216 с.

Стаття поступила до редакції 02.09.2012 р.; прийнята до друку 30.09.2012 р.

Рудь Н. В. – провідний інженер лабораторії екології та захисту рослин Національного ботанічного саду ім.М.М. Гришка НАН України (м. Київ).

Рецензент: доктор біологічних наук, старший науковий співробітник відділу ландшафтного будівництва НБС ім. М. М. Гришка **Булах П. Є.**