

Ворон В. П., д.с.-г.н., (Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, м. Харків. 52corvus@gmail.com), **Фізик І. В., к.с.-г.н., доцент,** **Івашинюта С. В., к.с.-г.н., ст. викладач,** **Грицюк І. І., ст. викладач,** **Ціпан Ю. Р., ст. викладач** (Надслучанський інститут Національного університету водного господарства та природокористування, м. Березне, i.v.fizyk@nuwm.edu.ua, s.v.ivashyniuta@nuwm.edu.ua, i.i.hrytsiuk@nuwm.edu.ua, y.r.tsipan@nuwm.edu.ua)

АЕРОТЕХНОГЕННІ ЗМІНИ ЛІСІВ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ М. РІВНЕ

Наведено теоретичні узагальнення та результати змін лісів зеленої зони м. Рівне, що піддаються дії аеротехногенного забруднення. Дослідження базувалися на принципах порівняльної екології та проведені за загальноприйнятими в лісівництві, лісовій таксації, ґрунтознавстві. Визначено тенденції й маркери забруднення снігового покриву та ґрунтів у зонах забруднення викидами SO_2 , NO_x , NH_4 , і цементних виробництв. Виявлено аномалії накопичення в ґрунтах важких і лужних металів у зоні цементних виробництв. Вивчено динаміку надходження опадів й формування лісової підстилки та зміни біоциркуляції в лісових екосистемах в умовах аеротехногенного забруднення. Оцінено вплив техногенного забруднення на санітарний стан сосняків і виявлено особливості змін горизонтальної та вертикальної структури лісових насаджень унаслідок дії техногенного забруднення.

Ключові слова: деревостан; аеротехногенне забруднення; важкі метали; біоциркуляція; крона; радіальний приріст.

Постановка проблеми. Ліси зелених зон міст відіграють важливу санітарно-гігієнічну роль в створенні сприятливих умов для відпочинку та оздоровлення жителів. Створені як буферні та рекреаційні середовища навколо міст, ліси зелених зон зазнають впливу комплексу несприятливих факторів. При цьому спостерігається деградація та зниження захисних функцій лісів.

Площа лісів зеленої зони м. Рівне складає майже 31 тис. га, в т. ч. лісопаркова та лісогосподарська частини лісів 6 і 25 тис. га. Серед

антропогенних факторів, що негативно впливають на ліси зеленої зони міста Рівне, особливу небезпеку представляє, перш за все, забруднення атмосфери викидами Рівненських ВАТ «Азот» і «Волиньцемент».

Однією з глобальних проблем сучасності є забруднення атмосфери. Обсяг сумарних щорічних викидів у біосферу згідно з розрахунками О.О. Мартинюка сягає – 4–22 млрд т.

На початку 1990-х років майже 50 % площі лісів у Центральній Європі було пошкоджено забрудненням. Після цього ЄЕС було прийнято рішення про зменшення обсягу викидів. За період з 1980 по 2004 роки викиди оксидів сірки в Європі зменшилися в 4,2, оксидів азоту – в 1,4 та аміаку – в 1,3 рази [1].

Хоча і в Україні обсяг викидів знизився у 2 рази, вона залишається однією з країн з великим об'ємом викидів в атмосферу, які спричиняють деградацію лісів. Функціонування сучасної промисловості України, в якій домінує паливно-енергетичний, металургійний, хімічний комплекси, не дає змоги знизити забруднення атмосфери викидами до допустимого рівня

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У низці робіт щодо аеротехногенного пошкодження лісів України відмічається, що воно має переважно локальний і регіональний характер. Встановлено основні тенденції трансформації сосняків у Західному Поліссі [2; 3; 4], Лісостепу [5] та Степу України [6; 7], лісостанах Прикарпаття [8; 9].

Отримані дані часто є суперечливими і потребують уточнень. Це пов'язано з тим, що дослідження проводили у стислі періоди в зоні одного або двох джерел забруднення, тоді як інтегральну оцінку реакції лісових екосистем можливо одержати лише за тривалий період досліджень. Цього вдалося досягти завдяки створенню в 1980-х роках мережі постійних пробних площ, дослідження на яких автор здійснював до кінця 2010-х років.

Дослідження попередників були присвячені переважно деревостану, залишаючи поза увагою інші складові лісових екосистем. Водночас необхідним залишається диференційований підхід щодо екологічної оцінки наслідків антропогенної діяльності, з урахуванням конкретних природо-кліматичних і лісорослинних умов.

Мета завдання та методика досліджень. Мета роботи – виявити аеротехногенні зміни лісів зеленої зони м. Рівне.

Методи дослідження. Дослідження базувалися на принципах порівняльної екології та проведені шляхом оцінювання стану лісових насаджень в умовах аеротехногенного впливу та на контролі. Стан компонентів лісових насаджень оцінювали за загальноприйнятими в лісівництві, лісовій таксації та ґрунтознавстві методами та методами біоіндикації. Отриманий матеріал опрацьовували методами математичної статистики.

Об'єктами досліджень слугували лісові насадження зеленої зони м. Рівне. Серед антропогенних факторів, що негативно впливають на ліси зеленої зони міста Рівне, особливу небезпеку представляє забруднення атмосфери викидами Рівненського ВАТ «Азот» і «Волиньцемент».

У викидах РВАТ «Азот» гази та аерозолі кислот складають майже 80%. Всі вони токсичні для рослин. Серед сірковмісних газів особливу небезпеку представляють сірчаний та сірчистий ангідриди, азотовмісних – оксиди азоту та аміак. За винятком NH_4^+ , всі гази є кислотними. Найбільша кількість викидів фітотоксикантів зареєстровано в середині 70-х років, абсолютний максимум – 75,1 тис. т у 1978 р. Після екологічної катастрофи 1979 р. було вжито заходів щодо зменшення атмосферних забруднювачів і до середини 80-х років їх кількість зменшилася у 3–4 рази.

Потужним джерелом забруднення атмосфери в Західному Поліссі є також Рівненське ВАТ «Волиньцемент» (колишній Здолбунівський цементно-шиферний комбінат), який забруднює атмосферу викидами сильно лужного цементного пилу, а також оксидами азоту та сірки. В середині 80-х років сумарна величина викидів в атмосферу перевищувала 30 тис. т/рік, в тому числі викиди пилу складали біля 23 тис. т/рік. Починаючи з кінця 80-х, коли була проведена реконструкція величина викиду забруднювачів в атмосферу постійно зменшується. В 1999 р. загальний обсяг викидів порівняно з 1985 р зменшився на 91,4%.

В основу досліджень аеротехногенних змін у лісових екосистемах узято методи порівняльної екології. Впливу антропогенних чинників на лісостани вивчали на 25 постійних пробних площах (ППП), закладених згідно з прийнятими у лісівництві та лісовій таксації методиками ППП [10] ще в 1982–1987 рр., і складали три екологічні ряди та розміщені на відстані від 4 до 25 км від підприємства. Ліси техногенної зони ВАТ «Волиньцемент»

представлені вісьмома невеликими різноманітними урочищами Здолбунівського лісництва, які розташовані приблизно на однаковій віддалі від джерела забруднення. Вони відрізняються породною і віковою структурою і умовами місцезростання. Оскільки підібрати екологічний ряд за різним ступенем впливу техногенного забруднення, не є можливим було закладено дві ПП в ялинових деревостанах на віддалі 4,5 і 12 км від цементного виробництва [11].

Одним із найбільш інформативних методів забруднення екосистем є моніторинг хімічного складу снігового покриву [12]. Проби снігу відбирали стандартним снігоміром у період досягнення максимуму вологозапасу за методиками Назарова. Хімічний аналіз зразків снігу визначали згідно з інструкціями контролю [13]. Під час вивчення ґрунтів використані методичні підходи Л.А. Гришиної [14]. Ґрунти вивчали за Д.В. Воробйовим і описували за М.К. Крупським із відбором зразків за генетичними горизонтами та їхнім аналізом [15].

Дослідження змін біокругообігу_ вивчали згідно з [16], а також за коефіцієнтом, запронованим Ю. Чернобаєм [17].

Стан окремих дерев і деревостанів оцінювали згідно із «Санітарними правилами в лісах України» (2016) з доповненнями для сосни звичайної, розробленими лабораторією екології УкрНДІЛГА з урахуванням методичних положень і методик європейської (ICP-FORESTS) та американської (Forest Health Monitoring) систем моніторингу лісів.

Темпи росту дерева, його стан здоров'я та конкурентна спроможність характеризуються значною мірою розмірами та формою його крони. Ширину крон вимірювали за чотирма радіусами (Пн, Пд, Сх, Зх). Довжину, або протяжність крон (L) вираховували як різницю між висотою дерева (H) та висотою до першої нижньої живої гілки. Форму крон встановлювали за співвідношенням $L/D_{кр.}$, а симетричність крон – відповідно до методики IUFRO [18].

Потужність фотосинтезуючого шару встановлювали за діапазоном $H_{max}-H_{min}$, а механізми порушення розвитку – за класами Крафта в межах ПП та на екопрофілі з урахуванням індексів стану дерев і лісівничо-таксаційної характеристики деревостанів.

Виклад основних результатів досліджень. Небезпека аеротехногенного забруднення для лісових екосистем полягає в тому, що поряд із забрудненням повітря відбувається забруднення –

снігу, підстилки та ґрунтів, тобто фактично всіх компонентів довкілля від яких залежить їх нормальний розвиток.

В період інтенсивного забруднення в техногенній зоні обох виробництв встановлено підлюговування атмосферних опадів. В техногенній зоні РВАТ «Азот» незважаючи на перевагу в їх емісіях кислих викидів причиною цього є викиди аміаку, цементного виробництва викиди сильнолужного пилу. Із зниження рівня викидів відбулося суттєве покращення хімізму снігового покриву. Вже на початку 90-х років концентрації іонів у ньому були незначними. Проведені в 2005 році дослідження хімізму снігу в техногенній зоні ВАТ «Азот» засвідчили, що його склад близький до фонового в Поліссі.

Для забруднення характерним є зростання забруднення снігового покриву зі збільшенням періоду лежання снігу, а також у міру наближення до джерела викидів. Радіус поширення поля забруднення збільшується у міру зростання обсягу й висоти викидів. Поле забруднення витягнуте переважно в напрямку переважаючих вітрів.

У районах із домінуванням у викидах SO_2 , NO_x , NH_3 незважаючи на значне переважання в їхніх емісіях кислих викидів, відбувалося підлюговування атмосферних опадів і довкілля (табл. 1). Причиною цього є викиди сильнолужного аміаку. Значне ($\text{pH} \geq 8$) підлюговування опадів відмічається в радіусі 3 км. Рівень підлюговування та забруднення іонами амонію визначається ступенем нейтралізації його кислими іонами.

Під час дослідження змін хімізму опадів за такого типу забруднення важливими показниками мають бути не тільки кислотність і концентрація NH_4^+ , але й сума та співвідношення іонів.

Доведено наявність тісного взаємозв'язку між об'ємом викидів і рівнем забруднення снігового покриву. В періоди сильного забруднення підлюговування може поширюватися сягати на десятки кілометрів, а введення нових потужностей або збільшення висоти труб викиду посилює забруднення та й розширює його радіус поширення.

Зміни хімізму снігу в період максимального забруднення

Показники	Т и п з а б р у д н е н н я	
	РВАТ «Азот»	РВАТ «Волиньцемент»
pH	Зростає до 7,0 і більше, а в санітарно-захисній зоні (СЗЗ) більше 8,0	Сильне підлугування до 8,0–9,0*
Ca ²⁺	Суттєво не змінюється	Значне зростання*.
NH ₄ ⁺	Зростання*. Основна причина підлугування	Не змінюється
HCO ₃ ⁻	Незначне зростання	Зростає *
CO ₃ ²⁻	Відсутній	При високому рівні забруднення*
SO ₄ ²⁻	Значне зростання	Не змінюється
NO ₃ ⁻	Зростає	Не змінюється
Співвідношення катіонів	Зростає відсоток іонів	Абсолютне домінування Ca ²⁺ (до 80%)
Співвідношення аніонів	Зростає відсоток сульфатів і нітратів	Зростає вміст гідрокарбонатів, а при сильному забрудненні карбонатів
Мінералізація	Зростає	Сильне зростання*
Інші показники		Значне зростання вмісту пилу*.
Переважає тип седиментації	Вологий	Сухий

Примітка:* Яскраво виражена просторова залежність зростання вмісту з наближенням до джерела забруднення та з аномальними значеннями в санітарно-захисній зоні та на території виробництва.

Надходження забруднювачів у ґрунт призводить до змін його фізико-хімічних властивостей (табл. 2), ступінь і характер яких залежать як від типу і тривалості надходження забруднювачів, так і від властивостей ґрунтів. Спільною рисою техногенних змін ґрунтів є порушення ґрунтово-вбирного комплексу (ВКГ), гальмування мікробіологічної діяльності і, як наслідок, зниження вмісту гумусу та елементів живлення рослин.



Таблиця 2

Зміни та діапазон коливань показників ґрунтів їх при
аеротехногенному забрудненні

Властивості ґрунтів	Показники	тип забруднення	
		РВАТ «Азот»	РВАТ «Волиньцемент»
Кислотні	1) рН водний	5,67–3,60	4,56–8,20
	2) Н ⁺ , мг-екв/100гг	незначно збільшується	0,72–0,10
	3) Нг, мг-кв/100гг	4,29–17,3	5,37–0,28
Іонно-сольовий Режим	Склад водної витяжки, мг-екв/100гг	вміст катіонів зменшується, аніонів – збільшується	Ca ²⁺ -0,05–1,66 Mg ²⁺ 0,02–0,60 K ⁺ 0,01–0,24 HCO ₃ ⁻ 0,03–1,62 SO ₄ ²⁻ 0,05–0,64 Поява CO ₃ ²⁻
Катіонно-обмінні	Ca ²⁺ , мг-екв/100гг	3,45–2,37	0,66–18,70
	Mg ²⁺ , - // -	0,50–0,20	0,001–1,46
	K ⁺ , - // -	не змінюється	0,03–2,22
	Na ⁺ , - // -	не змінюється	0,05–0,61
	H ⁺ і Al ³⁺ , - // -	Збільшується	H ⁺ -0,72–0,05
Σ вбирних ос-нов, - // -V, %	7,6–1,4 64–7	2,40–23,00 31–95	
Агрохімічні (рухомі)	NO ₃ ⁻ , мг/100гг	1,78–3,03	Не змінюється
	NH ₄ ⁺ , мг/100гг	1,54–2,11	5,5–82,0
	N, що легкогідролізуємий, мг/100гг	18,4–23,15	
	P ₂ O ₅ , мг/100гг	12,65–6,10	
	K ₂ O, мг/100гг	не змінюється	
Агрохімічні (валові),	N негідролізуємий, мг/100гг	34,66–79,3	н.в.
	N валовий, %	0,08–0,14	не змінюється
	P ₂ O ₅ , %		0,05–0,08
	K, %	незначне зменшення	не змінюється
	C/N, умов.од.	121–46	

Примітки: * – перша цифра – фонове значення показника, друга цифра – значення показника в зоні максимального техногенного навантаження; н.в. – не визначалось; V – ступінь насиченості ґрунтів основами.

В результаті надходження забруднювачів в період сильного

забруднення в першій половині 80-х років відмічено значні зміни хімізму ґрунтів. Визначено тенденції й маркери забруднення снігового покриву та ґрунтів у зонах агломерацій і виробництв із домінуванням у викидах SO_2 , NO_x , NH_4 , і цементних виробництв. В техногенній зоні РВАТ «Азот» – це зростання кислотності в радіусі 11 км до екстремально кислого рівня, що призвело до суттєвих порушень ґрунтово-поглинаючого комплексу. Відмічено не лише зростання в ґрунтово-поглинаючому комплексі відсотку іонів водню, але й вимивання лужних катіонів. В 7-км зоні від РВАТ «Азот» вміст сульфатів в водній витяжці ґрунту в 3,6 рази вищим ніж на контролі.

Надходження азотутримуючих токсикантів зростання вмісту загального азоту не компенсує його втрати внаслідок зниження мікробіологічної діяльності. Це погіршує забезпечення рослин азотом, оскільки зменшується частка його доступних форм і порушується співвідношення аміачної та нітратної форм азоту в бік останньої.

В просторовому відношенні спостерігалось зростання рівня негативних змін з наближенням до РВАТ «Азот». однак особливо високий вміст сульфатів виявлено в сосняку на віддалі 7 км від «Азоту». на цій ППП поряд з високим вмістом сульфатів в верхньому гумусовому горизонті ще вищий рівень (7–14 раз більший ніж на 15 км) відмічено на глибині 70–130 см, тобто в 60-см шарі ґрунту вище щільного шару мергелю. Така акумуляція сульфатів відбувається в умовах сильно лужної реакції та високого вмісту гідрокарбонатів.

Зміни хімізму ґрунтів в лісах техногенної зони ВАТ «Волиньцемент» мають протилежний характер. Внаслідок седиментації цементного пилу накопичуються аномальні рівні лужних металів (особливо кальцію), і ґрунти сильно підлугуюються. рН гумусового горизонту може на 2–3 одиниці перевищувати природний рівень. При цьому порушується співвідношення лужних металів у ґрунті. Якщо на контролі є такий порядок розташування: $K > Na > Ca > Mg$, то в зоні сильної седиментації: $Ca > K > Na > Mg$. У ВКГ іон водню майже повністю заміщується кальцієм, який становить >80% суми поглинених основ.

Забруднення ґрунтів лужними металами має поверхневий характер максимальний вміст лужних елементів накопичується у верхньому ґрунтовому горизонті. Глибина підлугування залежить від рівня седиментації та механічного складу ґрунтів. Особливо

високий рівень підлуговування ґрунтів встановлюється в періоди жаркої сухої погоди.

Особливістю досліджуваних сірих опідзолених ґрунтів техногенної зони ВАТ «Волиньцемент» є наявність приблизно на глибині 120 см твердого шару мергелю, який є бар'єром для проникнення забруднювачів в ґрунтові води. В 30-см шарі ґрунту вище від нього рН досягає рівня 7,85–8,25, сума поглинутих основ в 2,6–3,0 рази більше, ніж в карбонатному лесі, особливо сильно зростає вміст обмінного кальцію, а у водній витяжці іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} .

У важких металів ці тенденції особливо виражені. Так уміст Cr в гумусованому шарі підстилки у 12–14 разів більший, ніж в опаді, Cu – в 14–19, Zn – у 7–11, Sr – у 8–13, Pb – у 13–18 разів, причому загальний уміст і перевищення нижніх горизонтів над вище розташованими за профілем зростають у міру наближення до джерела забруднення довкілля.

Унаслідок акумуляції забруднювачів у підстилці в техногенній зоні досліджуваних джерел забруднення в ланці опад – підстилка гальмується інтенсивність біокругообігу. Про це свідчать два негативні процеси, які відмічаються в техногенній зоні – зменшення надходження опадів, насамперед його основної складової – хвої, та зростання маси підстилки. І без того загальмований біокругообіг, який характерний для сосняків, за сильного забруднення стає сильно загальмованим.

Таблиця 3

Маса підстилки, опадів і ПОК у сосняках зони РВАТ «Азот»

Відстань, км	Підстилка по горизонтам			Загальна		ПОК
	L	F	H	Підстилки	Опадів	
4	7,06	7,17	18,60	32,83	5,41	6,06
7	6,47	6,80	16,80	30,07	5,96	5,04
9	6,37	6,38	14,90	27,65	6,38	4,34
25	5,05	5,80	9,90	20,75	6,80	3,06

У результаті накопичення забруднювачів у хвої порушується динаміка надходження хвої – літом її осипається значно більше, особливо в посушливі роки.

Трансформація опаду та підстилки у сосняках у зоні
РВАТ «Азот»

Відстань, км	K_L	K_F	K_H	Вік опаду	T_L	T_F	T_H	TM_L	TM_F	TM_H
4	1,30	1,33	3,44	0,50	0,65	0,66	1,72	1,15	1,82	3,53
7	1,09	1,14	2,82	0,55	0,60	0,63	1,55	1,15	1,77	3,32
9	1,00	1,00	2,34	0,53	0,53	0,53	1,24	1,06	1,59	2,83
25	0,74	0,85	1,46	0,58	0,43	0,49	0,84	1,01	1,51	2,35

Природно як в опадовому, так і у ферментативному шарах підстилки сосняків Полісся переважають процеси розкладання мортмаси, а в шарі гуміфікації – накопичення. Однак вже в ослабленому сосняку у верхніх шарах підстилки процеси розкладання й накопичення мортмаси урівноважені, а в шарі гуміфікації домінують процеси накопичення. В сильно пошкодженому сосняку накопичення фітодетриту повністю домінує в усіх шарах.

Аналіз динаміки стану сосняків у зоні «Азот» засвідчив, що він залежить від рівня аеротехногенного навантаження. У 1970-ті роки обсяг викидів зростав і в 1978 р. досяг максимуму – 75 тис. т. Апогеєм була катастрофа 1979 р., коли викид навесні призвів до гострого пошкодження понад 500 га хвойних лісів.

У першій половині 1980-х обсяг викидів зменшився до 20–25 тис. т на рік, але стрес від гострого пошкодження був таким сильним, що цього виявилось недостатньо для відновлення сосняків. Синергетична дія забруднення і посух 1983, 1987 та 1990 рр. різко погіршила стан сосняків. За 13 років площа пошкоджених лісів різко збільшилася: від 0,5 тис. га в 1979 р. до 2,5 тис. га у 1984 р., 4,7 – у 1988 р. і 23,4 тис. га у 1991 р. Радіус сильного ослаблення сосняків північно-східного екоряду розширився від 5,5 до 10 км, ослаблених – від 7 до 15 км, а у північно-західному напрямку – сильного ослаблення лісів до 6,5 км, а ослаблених – до 21 км.

Найгірший стан мали хвойні деревостани, особливо старших вікових груп. Індекс стану достовірно зростає зі збільшенням повноти ($r = -0,813$, $t_{\text{факт}} = -2,791$ при $t_{0,05} = -2,776$ і $k = 4$).

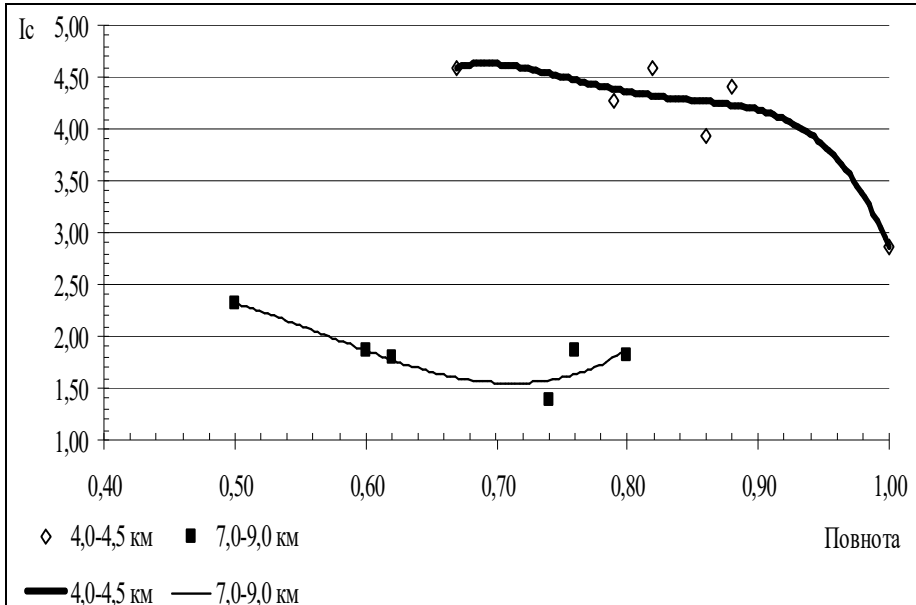


Рисунок. Залежність індексу стану від повноти сосняків в зоні РВАТ«Азот»

Стан лісостанів відновлювався надзвичайно повільно. Зменшення дефоліації та покращення стану сосняків відмічені лише у другій половині 90-х років, а значні позитивні зміни – лише у 2001–2003 рр., коли обсяг викидів знизився до 2,4–3,2 тис. т /рік. Однак і у 2013 р. більшість сосняків ослаблені.

У пошкоджених сосняків значно менші розміри біогоризонту фотосинтезу деревного намету. Його товщина в техногенній зоні становить 13,4–15,0 м, а на контролі – 20 м.

На початку 1980-х років в епіцентрі гострого пошкодження сосняків найгіршим був стан надпанівних і панівних дерев. У сосняків із хронічним пошкодженням стан дерев погіршувався від верхньої до нижньої частини намету.

Більш відчутний негативний вплив забруднення на дерева I–II класів Крафта виявляється у зменшенні не лише розмірів стовбура і крони, але й їхнього представництва в деревостані. В техногенній зоні збільшуються частки панівних і співпанівних дерев і зменшуються частки надпанівних і пригнічених дерев.

У контролі дерева мають середньоовальну крону, а відношення довжини крони до її ширини становить від 2 до 3. Унаслідок дії забруднення це співвідношення зменшується в зоні сильного

пошкодження до 1,42. При цьому крона має вигляд парасольки, що характерно для старих дерев. Такі візуальні зміни крони є підтвердженням передчасного аеротехногенного старіння дерев.

Таблиця 5

Розподіл дерев за вертикальною формою крони в сосняках у зоні РВАТ «Азот», %

Форма крони	Відстань до «Азоту», км			
	4,5	7	9	25
вузькоконусоподібна	0,0	2, 3	6, 7	1,9
ширококонусоподібна	4, 0	8,0	4,0	1,9
овальна	9,0	19,3	13,3	22,3
яйцеподібна	8,0	28,4	10,7	13,6
оберненояйцеподібна	9,0	13,6	8,0	12,6
ромбоподібна	4,0	2,3	1,3	2,9
парасолькоподібна	29,0	9,1	25,3	15,5
кулеподібна	7,00	9,09	0,00	5,83
неправильна	20,00	7,95	30,67	23,30

Порівнювали також стан різних насадження техногенної зони ВАТ «Волиньцемент» основної лісотвірної породи – дуба (ПП2), соснове насадження (ПП1), змішане кленово-осикове насадження в урочищі Новомильськ, які є найбільш техногенно порушеними як в результаті розробки родовища мергелю, так і впливу техногенного забруднення.

Дещо інша ситуація у дуба звичайного. З одного боку, ця порода є середньо стійкою до забруднення атмосфери і повинна витримувати умови техногенного забруднення. Однак, в даному випадку розвиток дубових насаджень лімітується товщиною ґрунтів, адже дуб має потужну кореневу систему з глибоким стержневим коренем. Саме тому стан чистого дубового насадження оцінюється як сильно ослаблений.

Стан соснового насадження кращий, ніж чистого дубового, або дубово-ялинового. В чистому дубовому деревостані є 5% свіжого сухостою і більше 20% всихаючих дерев.

Доволі складна ситуація склалася в змішаному кленово-грабово-осиковому деревостані. У віці 50 років стан осики є сильно ослаблений. Це пояснюється, з одного боку, тим, що ця порода є швидкоростучою, тобто у такому віці такий стан є цілком закономірним, з іншого боку, осика має потужну кореневу систему і погано росте на малопотужних ґрунтах. Стан інших листяних порід ослаблений, індекс стану не перевищує 2,00. Слід відмітити низький індекс стану у клена гостролистого та явора. Ці породи можна використовувати як другорядні при створенні лісових культур, оскільки вони мають поверхневу кореневу систему, тобто можуть переносити близьке залягання мергелевого шару. Основною проблемою лісовідновлення у цьому районі є вибір головних порід.

Дуб недоцільно використати, оскільки через потужну кореневу систему він погано росте в цих умовах. Серед хвойних поверхневу кореневу систему має ялина звичайна, але вона є малостійкою до техногенного забруднення, особливо лужного. З цієї ж причини повинно бути обмежене використання сосни звичайної. Вона, при своїй невимогливості до родючості ґрунтів, буде мати обмеження розвитку через рівень техногенного забруднення та потужну кореневу систему. При вирощуванні її на таких неглибоких ґрунтах, особливо обмежених мергелями, доцільно використовувати екотип сосни, який росте на крейдяних відкладеннях.

Розподіл дерев за категоріями санітарного стану в лісових насадженнях техногенної зони
ВАТ «Волиньцемент»

Ліс-во – кв./ вид., віддаль, км	Склад насаджень	Середній ІС (насадження / 1-го ярусу)	Деревні породи	Розподіл дерев по категоріях стану, %						ІС
				I	II	III	IV	V	VI	
3 – 9/3; 5,4	1-й яр.: 9Сз1Бст 2-й яр.: 8Клг1Гз1Лпд	2,4 / 2,3	Сосна звичайна	0	50	47	2	1	0	2,54
			Берест	8	61	23	0	0	8	2,46
			Клен гостролистий	0	43	57	0	0	0	2,33
3 – 9/4; 5,4	1-й яр.: 10Дз од.Ос,Вз 2-й яр.: 8Гз2Клг +Лпд	2,2 / 3,2	Дуб звичайний	1	11	59	23	5	1	3,22
			Граб звичайний	43	39	12	3	2	1	1,86
			Клен гостролистий	11	71	16	2	0	0	2,09
3 – 10/6; 5,7	6Яле4Дз +Сз	2,4	Ялина європейська	3	67	28	0	1	1	2,31
			Дуб звичайний	0	37	58	1	0	4	2,76
3 – 12/1; 4,5	1-й яр.: 6Ос3Клг1Кля 2-й яр.: 8Гз2Бст	2,3 / 2,7	Осика	2	25	42	16	11	4	3,19
			Клен гостролистий	15	85	0	0	0	0	1,84
			Клен явір	45	44	11	0	0	0	1,67
			Граб звичайний	16	72	12	0	0	0	1,96
			Берест	29	41	24	6	0	0	2,06
3 – 27/2; 12,8	7Яле3Дз +Брхт	2,0	Ялина європейська	59	12	8	7	6	8	2,13
			Дуб звичайний	67	17	4	8	2	2	1,67
			Бархат амурський	27	55	18	0	0	0	1,91



Перспективною породою при створенні лісових культур може стати сосна чорна (*Pinus nigra* Arn.) або сосна кримська (*Pinus palassiana* D. Don), які, як відомо, хоча й мають якість деревини дещо гіршу, ніж у сосни звичайної, але можуть успішно зростати на сухих кам'янистих ґрунтах і непогано рости на вапнякових ґрунтах.

Перспективною породою міг би бути бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.), ця порода, як відомо, має потужну кореневу систему, переносить досить мілкі кам'янисті ґрунти та добре росте на вапнякових ґрунтах. Тобто сосну чорну та бук лісовий можна було б використовувати як головні, а граб, клен гостролистий, явір – як другорядні породи. На більшій віддалі від джерела забруднення можна використовувати також сосну звичайну та ялину звичайну.

Висновки:

1. Серед абіотичних чинників в окремі роки на досліджувані ліси негативно впливали посухи, серед біотичних – шкідливі комахи і збудники хвороб. Особливо небезпечним антропогенним чинником є викиди в атмосферу РВАТ «Азот» і «Волиньцемент». Небезпека їх для лісів полягає також у тому, що забруднюються не лише аеротоп (повітря, опади), а і трофотоп (підстилка та ґрунт) екосистеми.

2. Хімічний склад снігу відбиває якісні та кількісні характеристики техногенного забруднення. У період інтенсивного забруднення сніговий покрив підлуговувався у техногенній зоні РВАТ «Азот» викидами аміаку, ВАТ «Волиньцемент» сильнолужного пилу. Забруднення снігу зростає у міру збільшення обсягу викидів, висоти їхнього поширення, періоду лежання снігу та зменшення відстані до джерела викидів. Підлуговування снігу відбувається за рахунок лужних і важких металів, але рівень підлуговування нівелюється аніонами SO_4^{2-} і NO_3^- .

3. Під впливом техногенного забруднення тривалість життя хвої сосни зменшується від 3 до 1,6 років, особливо в посушливі роки. Втрати асиміляційної поверхні однорічної та дворічної хвої в сильно пошкоджених сосняках становлять 25 і 40%, унаслідок гальмування росту хвої втрачається ще 20–50%. Загальні втрати асиміляційної поверхні сягають 63%, у т.ч. однорічної хвої – 52%, трирічної – 100%.

4. У сильно пошкодженому сосняку фітодетрит накопичується в усіх шарах підстилки, а загальний час формування запасу мортмаси на 0,9–3,0 роки більший, ніж на контролі, де в опадовому та

ферментативному шарі підстилки переважають процеси розкладання мортмаси. Зольність і вміст лужних і важких металів в опаді соснових лісостанів у техногенних зонах значно вищі, ніж у хвої. Вміст металів зростає від верхнього (опадового) до нижнього (гумусованого) шару підстилки. Унаслідок забруднення в ланці опад – підстилка гальмується інтенсивність біоциркуляції, за якого зменшується надходження опадів та зростає маса підстилки.

5. Ступінь і характер техногенних змін ґрунтів залежать від виду токсикантів, тривалості забруднення та властивостей ґрунтів. Спільною рисою цих змін є порушення ґрунтово-вбирного комплексу (ВКГ), гальмування мікробіологічної діяльності і, як наслідок, зниження вмісту гумусу та елементів живлення.

6. У зоні виробництва, які викидають кислі сірко- і азототримуючі забруднювачі, порушується кислотний баланс через вимиваються лужних металів, зменшується, ємкість вбирання і насиченість основами, що максимально виражено в Поліссі. Максимальний вміст лужних металів накопичується у верхньому ґрунтовому горизонті. Глибина підлугування є найбільшою у легкосуглинкових і піщаних ґрунтах. Внаслідок седиментації викидів цементних виробництв формуються території з аномальним вмістом важких металів, що має локальний.

7. Визначено основні закономірності реакції деревостанів на техногенне забруднення:

- уразливість сосняків є значно більшою, ніж листяних порід;
- пошкодження дерев зростає з віком, зі зменшенням зімкненості намету, у міру наближення до джерела викидів, найсильніше потерпають домінуючі дерева, особливо на узліссях у напрямку пануючих вітрів;
- наслідки гострого пошкодження є більш небезпечними, ніж хронічного, призводячи до різкого припинення росту та всихання деревостану.

8. Діагностичними показниками порушення структури деревостанів під впливом техногенного забруднення є: зменшення потужності біогоризонту фотосинтезуючого деревного намету; спрощення структури деревостанів внаслідок вирівнювання за висотою дерев I, II і III класів Крафта; звуження діапазонів max-min значень показників стовбура ($D_{1,3}$, H) та крони (Dкр., Lкр., Sкр.); зменшення відносної довжини крони (Lкр./Hдер.); зменшення показника стрункості крони; зміна форми крони: молодняків – на

туповершинну, середньовікових насаджень – на плосковершинну (парасолькоподібну). У випадку зрідження сосняків до повноти меншої 0,5 деякі стійкі особини розвиваються за типом вільностоячого дерева з характерним більш інтенсивним розвитком крони в ширину, ніж у висоту.

1. Inventory Review 2006. 2. Пастернак П. С., Ворон В. П., Мазепа В. Г., Приступа Г. К. Зміни деяких структурних особливостей лісового біогеоценозу в умовах аеротехногенного забруднення навколишнього середовища. *Екологія*. 1990. № 3. С. 7–13. 3. Івашинюта С. В. Сучасний стан лісів зеленої зони м. Рівне та заходи щодо посилення їх еколого-захисних функцій : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Держ. ком. лісового госп-ва України, НАН України, Укр. НДІ лісового госп-ва та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького. Х., 2007. 256 с. 4. Ворон В. П., Івашинюта С. В., Коваль І. М., Бондарук М. А. Ліси зеленої зони м. Рівне та їх еколого-захисні функції. Харків : Нове слово, 2008. 14 с. 5. Чемерис І. А. Формування екологічного стану лісових біогеоценозів в зоні впливу хімічних підприємств м. Черкаси : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 / Національний ун-т водного господарства та природокористування. Рівне, 2007. С. 295. С. 208–230. 6. Коваль І. М. Динаміка радіального приросту і санітарного стану соснових деревостанів в умовах аеротехногенного забруднення в Поліссі та Лісостепу : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03. Х., 2002. 18 с. 7. Распопіна С. П. Аеротехногенна трансформація соснових екосистем середньої течії басейну р. Сіверський Донець : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Укр. НДІ лісового госп-ва та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького. Х., 2003. 169 с. С. 141–162. 8. Ворон В. П. Стійкість лісових насаджень до впливу забруднення атмосфери викидами цементного і калійного виробництва в умовах. Харків, 1983. 16 с. 9. Ворон В. П., Коваль І. М., Воронцова О. І. Динаміка санітарного стану соснових деревостанів та радіальний приріст *Pinus sylvestris* L. в умовах аеротехногенного забруднення в лісовій зоні України. 2001. *Проблеми лесоведения и лесоводства* : сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель : ИММСНАНБ. Вип. 53. С. 315–317. 10. Гром М. М. Лісова таксація : підручник. Вид. 2-ге. Львів : Вид-во НЛТУ України, 2007. 416 с. 11. Ворон В. П., Івашинюта С. В. Аеротехногенні зміни довкілля та трансформація лісів техногенної зони РВАТ «Волиньцемент». *Науковий вісник УДЛТУ* : зб. наук.-техн. праць. Львів : УДЛТУ. 2004. Вип. 14.5. С. 162–171. 12. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Ворон В. П., Лучникова Є. В., Моніторинг забруднення снігового покриву важкими металами в зонах сталих аеротехногенних емісій забруднювачів. *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. Біологія*. Вип. 26. С. 111–121. 13. Крайнюков О. М. Моніторинг довкілля : підручник. Харків : ХНУ ім. В. Н.

Каразіна, 2009. 176 с. **14.** Назаренко І. І., Польшина С. М., Нікорич В. А. Грунтознавство : підручник. Чернівці : Книги – XXI, 2004. 400 с. **15.** Родин Л. Е., Базилевич Н. І. Динаміка органічних речовин та біологічний кругообіг в основних типах рослинності земної кулі. М.-Л. : Наука, 1965. 253 с. **16.** Чернобай Ю. М. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах. Львів : Вид-во ДПМ НАН України, 2000. 352 с. **17.** Шпарик Ю. С. Структура букового пралісу Українських Карпат. Снятин : Вид-во «Прутпринт», 2010. 143 с.

REFERENCES:

1. Inventory Review 2006.
2. Pasternak P. S., Voron V. P., Mazepa V. H., Prystupa H. K. Zminy deiakykh strukturnykh osoblyvostei lisovoho bioheotsenozu v umovakh aerotekhnohennoho zabrudnennia navkolyshnoho seredovyshcha. Ekolohiia. 1990. № 3. S. 7–13.
3. Ivashyniuta S. V. Suchasnyi stan lisiv zelenoi zony m. Rivne ta zakhody shchodo posylennia yikh ekolohozakhysnykh funktsii : dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.03.03 / Derzh. kom. lisovoho hosp-va Ukrainy, NAN Ukrainy, Ukr. NDI lisovoho hosp-va ta ahrolisomelioratsii im. H.M. Vysotskoho. Kh., 2007. 256 s.
4. Voron V. P., Ivashyniuta S. V., Koval I. M., Bondaruk M. A. Lisy zelenoi zony m. Rivne ta yikh ekolohozakhysni funktsii. Kharkiv : Nove slovo, 2008. 14 s.
5. Chemerys I. A. Formuvannia ekolohichnoho stanu lisovykh bioheotsenoziv v zoni vplyvu khimichnykh pidpriemstv m. Cherkasy : dys. ... kand. biol. nauk : 03.00.16 / Natsionalnyi un-t vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Rivne, 2007. S. 295. S. 208–230.
6. Koval I. M. Dynamika radialnoho pryrostu i sanitarnoho stanu sosnovykh derevostaniv v umovakh aerotekhnohennoho zabrudnennia v Polissi ta Lisostepu : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.03.03. Kh., 2002. 18 s.
7. Raspopina S. P. Aerotekhnohenna transformatsiia sosnovykh ekosystem serednoi techii baseinu r. Siverskyi Donets : dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.03.03 / Ukr. NDI lisovoho hosp-va ta ahrolisomelioratsii im. H. M. Vysotskoho. Kh., 2003. 169 s. S. 141–162.
8. Voron V. P. Stiikist lisovykh nasadzhzen do vplyvu zabrudnennia atmosfery vykydamy tsementnoho i kaliinoho vyrobnytstva v umovakh. Kharkiv, 1983. 16 s.
9. Voron V. P., Koval I. M., Vorontsova O. I. Dynamika sanitarnoho stanu sosnovykh derevostaniv ta radialnyi pryrist Pinus sylvestris L. v umovakh aerotekhnohennoho zabrudnennia v lisovii zoni Ukrainy. 2001. *Problemyi lesovedeniya i lesovodstva* : sb. nauch. tr. In-ta lesa NAN Belarusi. Gomel : IMMSNANB. Vyp. 53. S. 315–317.
10. Hrom M. M. Lisova taksatsiia : pidruchnyk. Vyd. 2-he., Lviv : Vyd-vo NLTU Ukrainy, 2007. 416 s.
11. Voron V. P., Ivashyniuta S. V. Aerotekhnohenni zminy dovkillia ta transformatsiia lisiv tekhnohennoi zony RVAT «Volyntsement». *Naukovyi visnyk UDLTU* : zb. nauk.-tekhn. prats. Lviv : UDLTU. 2004. Vyp. 14.5. S. 162–171.
12. Samokhvalova V. L., Fatieiev A. I., Voron V. P., Luchnykova Ye. V.,



Monitorynh zabrudnennia snihovoho pokryvu vazhkymy metalamy v zonakh stalykh aerotekhnohennykh emisii zabrudniuvachiv. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Ser. Biolohiia*. Vyp. 26. S. 111–121. **13.** Krainiukov O. M. Monitorynh dovkillia : pidruchnyk. Kharkiv : KhNU im. V. N. Karazina, 2009. 176 s. **14.** Nazarenko I. I., Polchyna S. M., Nikorych V. A. Hruntoznavstvo : pidruchnyk. Chernivtsi : Knyhy – XXI, 2004. 400 s. **15.** Rodyn L. E., Bazylevych N. I. Dynamika orhanychnykh rehovyn ta biolohichni kruhoobih v osnovnykh typakh roslynnosti zemnoi kuli. M.-L. : Nauka, 1965. 253 s. **16.** Chornobai Yu. M. Transformatsiia roslynnoho detrytu v pryrodnykh ekosystemakh. Lviv : Vyd-vo DPM NAN Ukrainy, 2000. 352 s. **17.** Shparyk Yu. S. Struktura bukovoho pralisu Ukrainykykh Karpat. Sniatyn : Vyd-vo «Prutprynt», 2010. 143 s.

Voron V. P., Doctor of Agricultural Sciences (Research Institute of Forestry and Forest melioration named after G. M. Vysotsky, Kharkiv), **Fyzik I. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,** **Ivashyniuta S. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Lecturer;** **Hrytsiuk I. I., Senior Lecturer;** **Tsipan Yu. R., Senior Lecturer** (Nadsluchansky Institute the National University of Water and Environmental Engineering, Berezne)

AEROTECHNOGENIC CHANGES OF FORESTS IN THE GREEN ZONE, M. RIVNE

The work contains theoretical generalizations and research results on changes caused by industry-related air pollution in forest ecosystems in the main natural zones of the plain part of Ukraine. The research was based on comparative ecology principles and carried out using the standard methods generally accepted in forestry, forest inventory, soil science, and dendrochronology.

The research was based on the principles of comparative ecology and was carried out by assessing the state of forest plantations under conditions of aerotechnogenic influence and under control. The obtained material was processed by the methods of mathematical statistics.

Trends and markers of snow and soil pollution have been identified in the zones of agglomerations and factories with dominance of SO₂, NO_x, and NH₄ in emissions, as well as thermal

power plants and cement productions. The study revealed anomalies in heavy metal accumulation in the soil in thermal power plant zones as well as alkali metal accumulation in the cement production zones. The litter fall income dynamics and formation of forest litter were studied. Changes in biological circulation in Ukrainian forest ecosystems were identified as a result of industry-related air pollution. Changes in morphological and anatomical parameters of pine needles, shoots, wood, and bark of Scots pine under the influence of man-made air pollution were analyzed. The effect of industry-related air pollution on the health condition of pine stands was assessed and peculiarities of horizontal and vertical forest structure changes were revealed as a result of the pollution. Specificities of radial growth dynamics under the influence of industry-related air pollution were found. Recommendations for increasing the resilience of forests damaged by industry-related air pollution have been developed.

Keywords: stand; industry-related air pollution; heavy metals; biological circulation; crown; radial growth.