

**Бессонова В.П., Денисенко А.В.**

**ЗАХИСНІ ЗЕЛЕНІ НАСАДЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ  
ПІДПРИЄМСТВ ЗАПОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ.  
ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Міністерство освіти і науки України

**В.П. Бессонова, А.В. Денисенко**

**ЗАХИСНІ ЗЕЛЕНІ НАСАДЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ  
ПІДПРИЄМСТВ ЗАПОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ.  
ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ**

Монографія

ДНІПРО

2026

УДК: 502.172:631.961:332.12 (477.64)(043.5)

Рецензенти:

**О.Є. Пахомов** – доктор біологічних наук, професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпровського державного технічного університету;

**К. К. Голобородько** – доктор біологічних наук, професор, головний науковий співробітник НДЛ біомоніторингу НДІ біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

**О. Ф. Рильський.**– доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та прикладної екології і зоології Запорізького національного університету;

Рекомендовано до друку вченою радою Дніпровського державного аграрно-економічного університету (протокол № 7 від 28 березня 2026 р.)

**Бессонова В.П., Денисенко А.В. Захисні зелені насадження промислових підприємств Запорізького регіону. Еколого-біологічний аспект: Монографія. Дніпро. ДДАЕУ Дніпро: 2026. 236 с.**

У монографії узагальнені результати оригінальних досліджень з аналізу екобіологічних характеристик, таксономічного складу, таксаційних показників, життєвого стану та оцінки атмосфероочисної ролі деревних насаджень СЗЗ Запорізького промислового регіону. У межах дослідження розроблено компромісні плани щодо додаткового введення деревних порід до складу захисних зелених насаджень. Запропоновані практичні рекомендації з їх модернізації та подальшої реконструкції.

Монографія буде корисна для фахівців із садово паркового господарства, екології, ботаніки, фізіології рослин, студентам та аспірантам вищих навчальних закладів, спеціалістам державних управлінь зі садово-паркового господарства, а також з екології та природних ресурсів.

**Bessonova V.P., Denysenko A.V. Protective Green Plantations of Industrial Enterprises of the Zaporizhzhia Region. An Ecological and Biological Aspect. Dnipro: Lira, 2026. 236 p.**

The monograph summarizes the results of original research on the analysis of ecological and biological characteristics, taxonomic composition, mensurational indicators, vitality status, and the assessment of the atmospheric purification role of woody plantations within the sanitary protection zones of the Zaporizhzhia industrial region. Within the scope of the study, compromise plans for the additional introduction of tree species into the composition of protective green plantations were developed. Practical recommendations for their modernization and further reconstruction are proposed.

The monograph will be useful for specialists in landscape gardening, ecology, botany, plant physiology, undergraduate and postgraduate students of higher education institutions, specialists of public authorities in landscape gardening, as well as in ecology and natural resources.

УДК: 502.172:631.961:332.12 (477.64)(02)

@ Бессонова В.П., Денисенко А.В.

**ISBN**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1 САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНІ ФУНКЦІЇ ЗАХИСНИХ НАСАДЖЕНЬ СЗЗ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ</b> .....	7
1.1. Пріоритетні джерела викидів полютантів у атмосферне повітря та вимоги до захисних зелених насаджень СЗЗ промислових підприємств.....	7
1.2. Бар'єрно-оздоровча роль деревних захисних зелених насаджень промислових підприємств.....	17
1.3. Несприятлива дія техногенного забруднення на рослинні організми. Групи їх витривалості до полютантів.....	20
<b>РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН У РЕГІОНІ ДОСЛІДЖЕНЬ. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	27
2.1. Екологічна характеристика м. Запоріжжя.....	27
2.2. Опис пробних площ.....	28
2.3. Методи і засоби проведення досліджень.....	29
<b>РОЗДІЛ 3. ВИДОВИЙ СКЛАД ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ САНІТАРНО-ЗАХИСНИХ ЗОН ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ М. ЗАПОРІЖЖЯ ТА ЇХ СТРУКТУРА</b> .....	36
3.1. Таксономічний аналіз та структура захисних насаджень.....	36
3.2. Різноманіття та подібність видового складу захисних деревних насаджень підприємств промисловості м. Запоріжжя .....	71
<b>РОЗДІЛ 4. ТАКСАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ДЕРЕВ САНІТАРНИХ НАСАДЖЕНЬ ЗАВОДІВ М. ЗАПОРІЖЖЯ</b> .....	79
4.1. Аналіз розподілу дерев за висотними характеристиками в СЗЗ промислових об'єктів м. Запоріжжя .....	79
4.2. Аналіз розподілу деревних рослин захисних зелених насаджень промислових підприємств за діаметрами стовбурів .....	93
<b>РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ВІТАЛІТЕТНОГО СТАНУ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ЗАХИСНИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН ЗАВОДІВ</b>	103
5.1. Визначення віталітетного стану деревних рослин та деревостанів.....	103
5.2. Діагностика змін густоти зростання та життєвого стану захисних деревостанів заводів м. Запоріжжя за показниками супутника Landsat.....	123
5.3. Флуктуюча асиметрія листків як індикатор забруднення довкілля та віталітетного стану рослин .....	138
<b>РОЗДІЛ 6. ВКЛАД ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ЗАХИСНИХ НАСАДЖЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ У ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ</b> .....	144
6.1. Акумуляція сірки листками деревних рослин захисних зелених насаджень промислових підприємств .....	145
6.2. Акумуляція хлору листками деревних рослин захисних зелених насаджень промислових підприємств.....	151

6.3. Накопичення у листі деревних рослин захисних зелених насаджень заводів водорозчинних фенолів .....	157
6.4 Накопичення фтору у листі рослин захисних деревних насаджень промислових підприємств .....	162
6.5. Варіанти доповнень захисних зелених масивів підприємств деревами з урахуванням видоспецифічної акумуляції поллютантів у листі.....	168
<b>ПІДСУМКИ</b> .....	<b>184</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	<b>189</b>
<b>ДОДАТКИ</b> .....	<b>212</b>

## ВСТУП

Діяльність потужного комплексу промислових підприємств південно-східного регіону України призводить до суттєвих масштабів емісій в атмосферу оксидів сірки та азоту, сірководня, сполук хлору, формальдегідів, фенолів, важких металів тощо. Рівень викидів оксиду вуглецю, сірчаного газу, оксиду азоту, пилу та інших забруднюючих речовин поблизу підприємств перевищує ГДК від 3,1 до 12,1 разів, а неорганізовані викиди викликають зростання цього показника значніше, ніж у 20 разів (Abdullah, 2015; Voichenko et al., 2016; Какодей, 2011; Фещенко, Каменева, 2016). За таких об'ємів промислових емісій очисні споруди не можуть цілком позбавити від забруднюючих сполук.

Високий індустріальний потенціал має промисловий гігант України місто Запоріжжя – близько 290 підприємств. Це – численні заводи чорної і кольорової металургії, машинобудівні тощо. Комплексний індекс забруднення атмосферного повітря у першому півріччі 2023 року у цьому мегаполісі дорівнював 8, п'яте місце по Україні, AQI становить 56.

Радикальне оздоровлення середовища життя неможливе без тотального переходу на природоохоронні технології. Суттєва роль повинна, безумовно, належати біологічним методам захисту довкілля. Найважливіше значення в цьому належить рослинам, в першу чергу деревним. Вони виступають як універсальні природні фільтри в доочищенні атмосферного повітря, води і ґрунту від промислових забруднювачів (Livesley et al., 2016). Рослини зелених захисних насаджень санітарно-захисних зон заводів спроможні поглинати, акумулювати та переробляти небезпечні речовини (Zhang et al., 2013; Бессонова, 2006; Приседський, 2019;) і завдяки цьому можуть результативно застосовуватися для оптимізації довкілля (Коршиков, 2004; Приседський, Лихолат, 2017). Захисні насадження виконують такі екосистемні послуги у місті, як вплив на міські води, тепло і цикли забруднення у вуличних насадженнях (Livesley et al., 2016). Проте нераціональна діяльність людини, урбанізація, глобальне потепління, забруднення повітря (Liu et al., 2020) та нестача води (Mu et al., 2021) спричиняють падіння продуктивності (Chen et al., 2022), погіршення екосистемних функцій (Li et al., 2020). Недооціненою екосистемною послугою деревних масивів є регулювання температури (Vaz Monteiro et al., 2016), що важливо в умовах її глобального підвищення. Отже, важливий вклад зелені лісосмуги вносять у охолодження повітря, в регулювання мікроклімату (Wang et al., 2021). Оцінюючи велику позитивну роль зелених територій, слід виділити найбільшу цінність міських (Halecki et al., 2022), особливо санітарно-захисних зон, що розмежовують житлові забудови і промислові підприємства.

До озеленення промислових зон необхідно активно залучати види деревних рослин, що обумовлено наявністю масивної крони, яка виконує санітарно-гігієнічну роль, її високими декоративними якостями (Кучерявий, 2003; Романик, 2003). При цьому важливо враховувати такі фактори, як видове різноманіття дерев, яке відіграє позитивну роль у стійкості лісових насаджень (Sakschewski et al., 2016), зменшує негативну дію хвороб і шкідників, а це веде до зниження відсотка загибелі і ураження дерев (Alvey, 2006; Sjöman & Östberg, 2019).

Під час планування зелених насаджень СЗЗ важливо враховувати, що деякі інтродуковані види дерев можуть надзвичайно поширюватися і стати потенційною загрозою для існування інших. Це так звані інвазійні або чужорідні види рослин. Їхнє неконтрольоване поширення являє одну з важливіших загроз для біорізноманіття, веде до небезпечних екологічних і соціальних наслідків (Абдулаев, Карпенко, 2012; Prach et al., 2013; Малиновський, 2018; Zhang et al., 2019). Тому останнім часом в Україні зростає інтерес до питань фітоінвазії (Звягінцева, 2013; Зав'ялова, 2017; Савосько та ін., 2019; Губар, Конякін, 2020;). Це спонукало нас звернути увагу на питання інвазійних видів рослин у зелених лісосмугах СЗЗ промислових підприємств.

Життєвий стан деревних насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств у теперішній час викликає занепокоєння, що пов'язано зі значним віком рослин та тим, що під час їх створення практично не враховувалася стійкість рослин до пріоритетних забруднювачів. У зв'язку з цим необхідні доскональні поглиблені дослідження, які спрямовані на підвищення якості захисних лісосмуг санітарно-захисних зон, розробки шляхів більш раціонального використання здатності рослин для послаблення шкідливого впливу промислових забруднювачів довкілля та оздоровлення атмосферного повітря. Отже, аналіз видового складу деревних насаджень, їх віталітетного стану, санітарно-гігієнічної функції у санітарно-захисних зонах промислових підприємств із подальшим практичним застосуванням отриманих результатів є актуальними.

Метою даної роботи є вивчення і аналіз біоекологічних показників, таксономічного складу, віталітетного стану, таксаційних характеристик та оцінка атмосфероочисної здатності деревних насаджень промислових підприємств СЗЗ Запорізького регіону для створення рекомендацій з їх подальшої модернізації.

Об'єктами досліджень були зелені насадження санітарно-захисних зон заводів Запорізького промислового регіону, їхні таксаційні показники, видове різноманіття, конструкції, віталітетний стан. Основним предметом виконаних досліджень були біолого-екологічні характеристики деревних насаджень СЗЗ промислового регіону м. Запоріжжя та їх газоочисна здатність.

Для досягнення мети були здійснені комплексні еколого-біологічні дослідження зелених насаджень санітарно-захисних зон одинадцяти промислових підприємств Запорізького промислового регіону, серед яких найважливіші гіганти важкої промисловості. Надана всебічна характеристика умовам зростання рослин у СЗЗ. Визначені видове різноманіття їх дендрофлори, структура, розраховані індекси видового багатства та коефіцієнти подібності дендрофлори захисних деревних масивів санітарних зон. Досліджена динаміка змін густоти зростання дерев у зелених насадженнях СЗЗ та їх життєвості у часовому діапазоні (протягом 10 років) за допомогою супутникових знімків. Проаналізовано життєвий стан деревних рослин СЗЗ різних підприємств та ступінь відповідності асортименту екологічним умовам зростання. Визначені відміни в акумуляції газоподібних забруднювачів (сполук фтору, хлору, фенолів й сірки) листям різних видів деревних рослин у досліджуваних СЗЗ заводів, обчислена газопоглинальна здатність деревостанів промислових підприємств. Виявлені найбільш інформативні фітоіндикаторні види деревних рослин забруднення атмосферного повітря газоподібними сполуками хлору, фтору, сірки та фенолів. Спроектована модель доповнення зелених насаджень СЗЗ деревними рослинами. Розроблені рекомендації щодо удосконалення структури і функцій зелених масивів, удосконалення їх видового складу, густоти зростання й стану на санітарно-захисних територіях обстежених заводів Запорізького індустріального регіону для підготовки практичних рекомендацій.

У даній монографії розглянуті результати власних досліджень з аналізу таксономічного складу, таксаційних характеристик, віталітетного стану, екобіологічних показників та атмосферопокращуючої ролі санітарно-захисних деревних насаджень індустріальних підприємств Запорізького промислового комплексу для підготовки практичних рекомендацій з удосконалення структури і функцій санітарно-захисних зелених масивів.

## РОЗДІЛ 1

### САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНІ ФУНКЦІЇ ЗАХИСНИХ НАСАДЖЕНЬ СЗЗ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

#### 1.1 Пріоритетні джерела викидів поллютантів у атмосферне повітря та вимоги до захисних зелених насаджень СЗЗ промислових підприємств

Розвиток промисловості все більше загострює проблему забруднення довкілля, яка стає найактуальнішою у всьому світі. Функціонування потужних промислових підприємств є причиною емісій великих об'ємів викидів в атмосферне повітря сірководня, фенолів, оксидів сірки та азоту, сполук хлору, формальдегідів, суспендованих у вигляді твердих частинок речовин тощо (Farooq et al., 1988; Doganlar et al., 2012; Zhang et al., 2013; Boichenko et al., 2016; Какодей, 2011; Вергун та ін., 2015; Фещенко, Каменева, 2016), важких металів (Onder & Dursun, 2006; Mikhailova et al., 2013; Ugolini et al., 2013; Abdullah, 2015; Кармазиненко та ін., 2014).

Кількість токсичних речовин, що викидають в атмосферу підприємства України, становить понад 2,0 млн т/рік при загальній сумі викидів близько 4,2 млн т/рік. Це в значній мірі визначає екологічну ситуацію не тільки індустріально розвинених центрів України, але й усієї країни (Горохова та ін., 2009). Високий ризик, що пов'язаний із викидами та загрозами викиду небезпечних забруднюючих речовин, має місце в Україні у зв'язку з аваріями. У виробництві зберігається або застосовується більше, ніж 183 тис. т аміаку, 3 тис. т хлору й понад 99 тис. т інших хімічних речовин (Мельниченко та ін., 2020). У Запорізькій області спостерігається підвищений рівень хімічної небезпеки (Аналітичний огляд..., 2016).

Від стаціонарних джерел м. Запоріжжя загальний обсяг емісій поллютантів в атмосферне повітря за 2021 рік складав 180,9 тис. т. Їх характер визначався структурою виробничої діяльності: на викиди коксохімічного та металургійного підприємств припадає понад 45 % (Регіональна доповідь..., 2022»).

За даними Міністерства охорони навколишнього природного середовища України (2021 рік) в середньому по Україні було виявлено перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) в атмосферному повітрі таких забруднювачів: формальдегіду – в три рази, діоксиду азоту – в 1,3, пилу – в 1,2, спостерігалися випадки збільшення сірководню (Регіональна доповідь..., 2022). У грудні 2019 року середньомісячна кількість забруднюючих речовин по місту Запоріжжя в цілому перевищувала ГДК за формальдегідом – у 1,3, діоксидом нітрогену – у 1,5, фенолом – у 1,8 рази (Стан довкілля в Запорізькій області, 2019). В атмосферному повітрі центральної зони України, згідно з даними картографування ГІС, відбувається постійне перевищення в 1,5 рази ГДК концентрацій NO<sub>2</sub> (Kharytonov et al., 2017).

Створено список пріоритетних забруднюючих речовин, який включає 4 класи. До нього увійшли важкі метали й хімічні сполуки. До I класу (надзвичайно небезпечні) віднесено ртуть, ванадій, хром, свинець та його неорганічні сполуки, миш'як, оксид кадмію, вмісні шлаки та пил; до II класу (високонебезпечні речовини) – кобальт, оксид міді, марганець, фенол, сірковуглець, сірководень, формальдегід, сірчана та азотна кислоти; до III класу – діоксид нітрогену, метанол, сірчаний ангідрид, сажа, зважені речовини; до IV класу – метан, оксид карбону, хлориди, аміак (Сніжко, Шевченко, 2011; Белоконь, Яскевіч, 2017; Белоконь, 2018; Белоконь та ін., 2018).

Забруднення атмосферного повітря внаслідок діяльності заводів чорної металургії відбувається переважно викидами доменного, коксохімічного, сталеплавильного, агломераційного та феросплавного виробництв. Майже всі газо-пилові емісії металургійних підприємств включають тверді мікроскопічні дисперсні частки розміром 10 і 2,5 мкм, за обсягом до 80 і 30 % відповідно. Внаслідок ряду виробничих технологій у промислових емісіях присутні частинки нанорозмірів. Переважно хімічними складовими пилю є залізо, алюміній, кремній, та їх оксиди, але в ньому до 25 % за масою становлять ванадій, марганець, хром й інші токсичні метали (Кармазиненко та ін., 2014). На межі санітарно-захисної зони металургійного заводу і в житловій забудові, що розташована поблизу, в атмосферному повітрі виявлено високий вміст твердих часток розміром 10 мкм (Гомонай та ін., 2005). Кількість пилю в емісіях металургійних підприємств, які працюють за застарілими технологіями, становить 50–120 кг на т сталі, що одержують (Шматков, Мінков, 2011; Феценко, Каменва, 2016).

У ході технологічних процесів металургійного виробництва в атмосферу викидаються такі речовини: оксид карбону, сполуки азоту, метан, сполуки сірки, формальдегіди, феноли, пил тощо (Wang et al., 2016; Wu et al., 2017; Yang et al., 2018). Потужним джерелом газо-аерозольних емісій у повітря є доменне виробництво. Вони містять сірководень, оксиди карбону й сірки, нітроген, оксиди мангану, заліза, кальцію, кремнію, магнію (Wu et al., 2015; Феценко, Каменева, 2016), що негативно впливає на природне середовище (Коржов, 2006).

У феросплавному виробництві основними забруднювачами атмосферного повітря є електродугові печі. Вони є джерелом емісій газів та пилю, які включають оксиди цинку, міді, заліза, свинцю, хрому, мангану, ртуті та кремнію. Суттєві об'єми токсичних речовин викидаються в атмосферу під час підготовчих робіт, а також обробки металів. Це такі компоненти, як фенол, формальдегід, бензол, метиловий спирт, аміак, пари сірчаної кислоти, графітовий та металевий пил, оксид карбону тощо (Moreno et al., 2011; Naque, Norgate, 2013; Seung-Ki et al., 2017; Kero et al., 2019).

Від територій розташування металургійних заводів забруднювачі атмосферного повітря можуть розповсюджуватися на відстані 20–50 км, що залежить від пануючих вітрів (Баштаннік та ін., 2014; Феценко, Каменева, 2016), що негативно впливає на природне середовище (Коржов, 2006).

Внаслідок роботи коксохімічних виробництв відбувається забруднення атмосфери органічними сполуками ряду алканів, оксидами сірки та вуглецю, вугільним пилом, джерелом якого є як безпосередньо виробничий процес, так і перезавантаження сировини вугілля (Gioda et al., 2004; Lin et al., 2007; Поліщук та ін., 2012; Полторацька, 2014; Феценко, Каменева, 2016).

У стоках і викидах коксохімічних виробництв переважають крезолі, оксибензоли, ксиленоли, діоксибензоли (Гринь та ін., 1970; Кочановський та ін., 1974), бензапірен (Gioda et al., 2004).

Склад фенольних сполук, що викидаються в атмосферу в процесі роботи коксохімічних заводів, залежить від технології переробки вугілля та його продуктів і методів, які застосовуються для того, щоб обезфенолити стічні води (Кочановський та ін., 1974). Супінь забруднення атмосферного повітря проте достатньо велика навіть на виробництвах, де для гасіння коксу використовують стічні води, які попередньо очищають біохімічними методами.

Заводи кольорової металургії є джерелом забруднення повітря сірчистим ангідридом, оксидом карбону, оксидами нітрогену, вуглеводнями, що включають бенз(а)пірен, сполуками важких і кольорових металів (часто у вигляді аерозолів), фтору, поліметалевим пилом, парами ртуті, смолистими речовинами тощо (Alfheim & Wikström, 1984; Williams & Harrison, 1984; Расуна & Расуна, 2001; Martin & Larivière, 2014). Металообробні й машинобудівні

виробництва викидають в атмосферу аерозолі сполук важких і кольорових металів, а також органічних розчинників (Клименко, Цигічко, 2010).

Нафтохімічна і нафтопереробна промисловість забруднюють довкілля оксидом карбону, сірчистим ангідридом, сірководнем, вуглеводнями, у тому числі бенз(а)піреном, аміаком (Haridoss, 2017; Ragothaman & Anderson, 2017; Majumdar et al., 2019).

Підприємства неорганічної хімії є джерелом таких поллютантів, як фосфорні сполуки, вільний хлор, оксиди нітрогену й сірки, аміак, сірководень, оксид карбону, Емісії виробництв органічної хімії містять велику кількість органічних речовин зі складною структурою, а також оксиди сірки, соляну кислоту, сполуки важких металів, пил і сажу (Yang et al., 2018).

Виробництва будівельних матеріалів викидають в оточуюче середовище такі поллютанти як пил, що містить сполуки азбесту, гіпсу, фтору, важких металів, діоксиду кремнію, тонкодисперсний скляний пил (Дячок та ін., 2013).

У забрудненні атмосферного повітря значна роль належить автомобільному транспорту. Автомобільні дороги це частка інфраструктури вулиць міст, але також і при заводських й заводських територій. Закономірності поширення поллютантів викидів автотранспорту дуже складні і залежать не тільки від структури мережі автомобільних шляхів та від інтенсивності руху автомобільного транспорту, але й від чисельності перехресть, де автодвигуни працюють на перемінних режимах. В усьому світі кількість моторизованого транспорту становить 630 млн. одиниць і, ймовірно, вона в наступні 20–30 років збільшиться вдвоє (Ghorani-Azam et al., 2016; Баштаннік та ін., 2014; Клименко, Цигічко, 2010; Регіональна доповідь..., 2022) У вихлопних газах автомобілів містяться такі основні токсичні речовини: вуглеводні, важкі метали, оксид карбону, альдегіди, оксиди нітрогену, сажа. Вони утворюються в процесі роботи двигунів внутрішнього згорання (Мислюк, Шейкіна, 2008; Васькін, Васькіна, 2009; Солошич, Підліснюк, 2009; Гомонай та ін., 2009; Трегубенко та ін., 2018).

Повітря більшості індустріальних міст забруднене сполуками хлору через їх численні викиди. У містах США, наприклад, вміст хлору становив у середньому  $2,6\text{--}9,5 \cdot 10^{-8}$  % (Katz, 1962). Слід вказати, що у викидах підприємств і в природі хлор у вільному стані майже не зустрічається. Атмосферне повітря забруднюють хлористими сполуками викиди підприємств, що виробляють хлорводневу та оцтову кислоти, гідролізний спирт, хлорне вапно, соду, гербіциди та інсектициди, органічні барвники цемент, а також виробництва гальванопластики, титано-магнієві й хімічні комбінати та ін. Хлор застосовують для дезінфекції води, лікарських засобів та розчинників (International Programme on Chemical Safety, 2009). Всі технологічні процеси напівпровідникового виробництва та кольорової металургії здійснюються з використанням хлористих сполук, тому основними забруднювачами даних підприємств є хлор та його сполуки (Лупінос та ін., 2016).

В атмосферне повітря хлор надходить набагато рідше порівняно з хлоридом водню (Taylor, 1988), однак інколи трапляються його випадкові витoki та викиди, які відбуваються під час транспортування або внаслідок різних промислових операцій. Джерелом забруднення довкілля хлорводнем та хлором є цинкування, електроліз з виділенням хлору, калійна промисловість, спалювання бурого вугілля з високим вмістом солей, відходів поліхлорвінілу та ін. Позбавлення від промислових відходів часто передбачає спалювання газів, твердих речовин та рідин, які містять Cl, результатом чого є довготривале виділення відносно низьких концентрацій хлорводню в атмосферу (Taylor, 1988; Treshou, 1988; Космачова, Цикало, 2014).

Хлориди також можуть надходити у ґрунт з водами для поливу (Karaivazoglou et al., 2005; Сауанан, 2008) і в результаті застосування для боротьби з ожеледдю солей (Davison, 1971). Так, для обробки 1 м<sup>2</sup> дорожнього покриття, одноразово витрачають 50–70 г, а за весь зимовий період у середньому – від 0,6 до 2,7 кг хлориду натрію. На небезпечних ділянках доріг використовують 0,3–0,4 м<sup>3</sup> піщано-сольових сумішей, а на безпечних – норми

коливаються від 100 до 400 г/м<sup>2</sup>, або 0,1–0,2 м<sup>3</sup> на 1000 м<sup>2</sup> покриття. У ряді країн та мегаполісах застосування NaCl забороняється для танення льоду на дорогах (Бородіна Вирожемський, 2004; Вирожемський та ін., 2006).

Для природних екосистем та здоров'я людини вельми отруйними є сполуки сірки. Вона присутня у залізних, мідних рудах, у вугіллі й нафті та в багатьох інших корисних копалинах. Одні з них відправляються в металургійну та хімічну промисловості на переробку, витрачаються як паливо (Крячко та ін., 2018). Виробництво пігментного діоксиду титану (IV) сульфатним методом супроводжується виділенням газів, до складу яких входять сірковмісні сполуки (сірководень, оксид сірки (IV), туман і краплі сульфатної кислоти) (Яворський та ін., 2010; Гелеш, Яворський, 2016). Під час обжарювання руд сірка перетворюється у хімічні сполуки, наприклад, у діоксид. Сполуки, які в цьому процесі виникають, частково знешкоджуються очисними спорудами, а інша частина потрапляє в атмосферу (Збірник показників ..., 2004; Манідіна та ін., 2018; Слюсар та ін., 2019).

У ході спалювання палива утворюються первинні сульфати. В процесі згорання мазуту їх виникає значно більше, ніж якщо паливом слугує вугілля. Причина цього в тому, що нафтові домішки містять порівняно велику кількість сполук нікелю та ванадію, які прискорюють утворення сульфатів. Понад 16 % цих сполук від загальної їх кількості виникає внаслідок спалювання нафтового палива. Первинні сульфати виділяються під час таких процесів, як виготовлення сірчаної кислоти, гіпсу, цементу, у процесі нафтопереробки (Вороновський, Переверзев, 2000; Харитонов та ін., 2014).

Забруднення атмосферного повітря оксидами нітрогену (NO, NO<sub>2</sub>) відбувається, головним чином, внаслідок викидів продуктів неповного й високотемпературного згорання палива (викиди теплових електростанцій, промислових підприємств, вихлопні гази авіації та автотранспорту). У індустріальних містах з розвинутою промисловістю Запорізької, Дніпровської та інших областей відмічені території найбільшого забруднення атмосферного повітря NO<sub>2</sub>, де його концентрація у 2,0–2,5 рази вища за ГДК (Баштаннік та ін., 2014; Регіональна доповідь..., 2022).

Підприємства коксохімії, кольорової та чорної металургії є головними джерелами викидів фенолів у довкілля. В містах, де є алюмінієві підприємства, встановлені високі рівні забруднення цими сполуками (Баштаннік та ін., 2014). У повітрі м. Запоріжжя вміст фенолів вищий за ГДК (Баштаннік та ін., 2014; Регіональна доповідь..., 2022).

Для теплокровних тварин і людини ряд небезпечності найбільш розповсюджених газоподібних забруднювачів, починаючи з найтоксичнішого, має такий вигляд: Cl<sub>2</sub> > SO<sub>2</sub> > NH<sub>3</sub> > NO<sub>2</sub> > H<sub>2</sub>S. Для рослинних організмів найбільш шкідливими є Cl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, фториди. Такі полютанти, як вуглеводні, H<sub>2</sub>S, CO визнані менш токсичними (Nikolaevsky, 2002).

У місцях розташування індустріальних заводів часто виявляється високий відсоток захворюваності мешканців (Schwela, 2000), найчастіше це – злоякісні пухлини. Поруч із металургійними підприємствами підвищується поширення запалення бронхів; алюмінієвими заводами – отруєнням фтором, флюороз зубної емалі та скелету; хімічними і нафтопереробними комбінатами та підприємствами кольорової металургії – рак легень (Хоменко та ін., 2011; Тарасова, 2013; Коцур, 2016).

Визначення рівня небезпеки для дихальних органів внаслідок впливу викидів промислових підприємств здійснюють, приймаючи до уваги дію діоксиду нітрогену, сірководню, фенолу, діоксиду сірки та формальдегіду. Ураження органів дихання викликає також хлор. Встановлено шкідливий вплив на серцево-судинну систему оксиду вуглецю та фенолу; на кровоносну систему – оксиду карбону та діоксиду нітрогену; центральну нервову систему – сірковуглецю, фенолу, оксиду карбону. Виникнення вроджених аномалій розвитку стимулюють сірковуглець та оксид карбону (International Programme on Chemical Safety, 2009; Белоконь, 2018). У деяких роботах обговорюються варіанти і перспективи формування

методології оцінки загрози впливу промислових контамінантів на здоров'я населення (Турос та ін., 2013).

У зв'язку з цим оздоровлення атмосферного повітря від екотоксикантів автомобільних і промислових викидів визначається як найважливіша злободенна проблема сьогодення. Відомо, що використання навіть самих досконаліх промислових технологій не повністю запобігає виділенню в атмосферу забруднюючих речовин. Тому водночас з технологічними методами застосовуються біологічні способи доочищення повітря. Саме те, що рослини акумулюють повітряні полутанти, затримують пилові частки є залогом їх успішного застосування для підвищення ефективності покращення повітряного середовища. Завдяки цим властивостям зелені масиви називають «зеленими фільтрами» (Бессонова, 1993; Бессонова, 1999; Левон, 2008; Wei et al., 2017). Насадження рослин здійснюють захисну, буферну роль, знижують зміни концентрації контамінантів у повітрі (Hwangbo et al., 2000; Simon et al., 2011; Stratu et al., 2016), сприяють підтриманню балансу газів у атмосферному повітрі (Nowak et al., 2006; Sklyarenko & Bessonova, 2018; Nowak et al., 2018; Sklyarenko, 2020), знижують рівень забруднення (Makhelouf, 2009; Makhelouf, 2013; Simon et al., 2011; Nowak et al., 2018). Для покращення міського та техногенного середовища у нормативних і проектних державних документах вказується на необхідність формування насаджень рослин у СЗЗ підприємств промисловості (Наказ...,1996). На цьому акцентується увага у таких постановках:

- « Закон України про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів № 173 від 19.06.96 (Наказ Міністерства охорони здоров'я України...,1996);»

- ст. 24 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» (Закон України «Про охорону атмосферного повітря»).

Розміри та режим СЗЗ визначаються також «нормативними документами у п. 10 ДБН 360-92\*\* «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень, ДБН 360-92.» та ін.

СЗЗ, тобто смуги розриву між найближчими житловими будинками або громадськими будівлями і промисловими підприємствами, які є джерелами емісії токсичних речовин, вібрації, електронних полів, запахів, підвищених рівнів шуму, іонізуючих випромінювань, електромагнітних та ультразвукових хвиль тощо, створюються для захисту населення від впливу цих несприятливих виробничих чинників. Їх характеристики на лінії розмежування СЗЗ не повинні перевищувати гігієнічних нормативів, встановлених для населених місць. Ширина СЗЗ визначається з розрахунку, щоб емісії індустриальних об'єктів, які розповсюджуються до житлових кварталів, не були вищими за ГДК (Литвинова, Левон, 1986).

Згідно з «Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів» – ДСП 173-96 (Наказ Міністерства охорони здоров'я України..., 1996), залежно від умов технологічного процесу, кількості та складу шкідливих чинників виділено п'ять класів промислових підприємств:

«I клас – це підприємства, що виплавляють чавун в об'ємі понад 1500 м<sup>3</sup>, здійснюють вторинну переробку кольорових металів у кількості понад 3000 т/рік або виплавку сталі у кількості понад 100 000 т/рік, а також хімічні підприємства та інші підприємства зі шкідливими виробництвами;

II клас – ці ж підприємства, але з меншою продуктивністю;

III клас – підприємства, що виплавляють чавун об'ємом до 500 м<sup>3</sup>, з виробництвом фасонного лиття від 10 000 до 20 000 т/рік, з вторинною переробкою кольорових металів до 1000 т/рік, або підприємства, що виготовляють прилади зі ртуттю;

до IV класу, поряд з підприємствами хімічної та металургійної промисловості, відносяться підприємства металообробної промисловості з чавунним (у кількості до 10 000 т/рік) та кольоровим (у кількості до 100 т/рік) литвом, ряд підприємств з виробництва

будівельних матеріалів, обробки деревини, багато підприємств текстильної, легкої, харчової промисловості;

до V класу, крім деяких виробництв хімічної та металургійної промисловості, належать підприємства металообробної промисловості з термічною обробкою без ливарних процесів, де здійснюється обробка металів у гарячому або розплавленому стані, великі друкарні, меблеві фабрики, трикотажні, ткацькі, швейні підприємства та ін.».

Від класу підприємства залежать захисні підходи, які належить брати до уваги під час їх проектування, будівництва та експлуатації. Для виробництв, які забруднюють атмосферне повітря інгредієнтами викидів промисловості (залежно від якісного та кількісного складу токсичних виділень, умов виконання технологічного процесу та його потужності тощо), визначені такі розміри СЗЗ згідно класу шкідливості промислового об'єкту: I клас – 1000 м; II клас – 500 м; III клас – 300 м; IV клас – 100 м; V клас – 50 м.

СЗЗ можуть повною мірою виконувати санітарно-захисну функцію, роль захисних бар'єрів від надходження газів, шуму, виробничого пилу до житлових забудов, якщо вони будуть озеленені. Отже, зелені насадження є обов'язковим компонентом СЗЗ в існуванні будь-якого підприємства чи виробничого об'єкту, які для оточуючого середовища становлять загрозу внаслідок викидів шкідливих речовин (Semenyutina et al., 2018). Рослини осаджують пил і зменшують концентрацію токсичних політантів до рівня ГДК згідно з гігієнічними нормами, що захищає населення на суміжних з джерелом забруднення територіях від їх несприятливої дії. Зелені масиви повинні становити не менше 10–15 % загальної площі підприємств (Кучерявий, 2005; Ліпянін, Стародуб, 2015).

З метою охорони природного середовища необхідна реконструкція СЗЗ небезпечних заводів (Космачова, Цикало, 2014). Деякі дослідники акцентують увагу на поглибленні закономірностей поширення токсичних експлатів у СЗЗ підприємств із застосуванням підходів математичного моделювання (Турос та ін., 2013).

Під час планування і конструювання насаджень санітарно-захисних зон необхідно обов'язково враховувати особливості розповсюдження інгредієнтів промислових викидів, які залежать від питомої ваги та хімічної природи останніх (Дружинін, Плешкановська, 2014). Для встановлення норм озеленення СЗЗ, їх обчислення необхідно враховувати тип рельєфу місцевості, розу вітрів, висоти, з яких здійснюються емісії газів і пилу та ін. (Дячок, Дячок, 2010).

В основі проектування штучних лісових насаджень лежить ряд положень, провідними з яких є: системність структури, науково обґрунтоване поєднання їх з іншими компонентами, зональність систем захисних насаджень за призначенням згідно з функціональною придатністю, розміщення їх відповідно до елементів рельєфу, оптимальність параметрів та ін. (Горейко, 1996). Таких же норм необхідно дотримуватися і під час планування захисних насаджень СЗЗ індустріальних об'єктів.

Ефективне виконання зеленими насадженнями функцій у СЗЗ полягає в збереженні здоров'я живих організмів із мінімальним проявом мутацій і аномалій, які виникають під дією промислових забруднювачів. Важливо, щоб виконання ними своїх функцій було економічно вигідним для бюджету міста (Космачова, Цикало, 2014).

У нашій країні у 50–60 рр. XIX ст. були здійснені великі обсяги робіт з комплексного озеленення міст і промислових територій, зі закладення штучних деревних лісосмуг у СЗЗ (Дружинін, Плешкановська, 2014). У цей період у захисні насадження рослини висаджувалися за тим же принципом, що й на інших територіях міст, а саме: насадження формувалися з тих рослин, які були в наявності. Оскільки фітомеліорація тільки починала розвиватися, ще не була відома санітарно-гігієнічна ефективність використання та користь окремих видів рослин у насадженнях, не були розв'язані питання доцільного підбору деревних рослин. Значна увага почала приділятися озелененню промислових територій з початку 70-х років XIX ст. (Ількун, 1978; Литвинова, Левон, 1982).

Розрізняють такі головні конструкції зелених насаджень у СЗЗ індустріальних підприємств: ажурна, продувна, непродувна, (Наказ Міністерства будівництва, архітектури ..., 2006) року

Біля підприємств, що викидають в оточуюче середовище тільки легкі гази, які суттєво легші за повітря – метан, водень, доцільне формування зелених масивів шляхом вільного розташування ландшафтних груп і одночасне створення смуги завширшки 50 м на межі селітебних територій для того, щоб захистити житлові забудови від поллютантів, коли під час інверсій повітря в СЗЗ може забруднюватися. Якщо підприємство викидає переважно гази середньої маси, які близькі за масою до повітря (пропан, сірководень, чадний газ, вуглекислий газ й димові аерозолі), то рекомендується конструювання зелених смуг, що збільшують турбулентність повітря. Це покращує розсіювання даних газів. Підйому маси повітря та його інтенсивному турбулентному переміщенню сприяє лісосмуга непродувної структури. Форма її поперечного січення має бути близькою до прямокутника. У вертикальному профілі даної лісосмуги площа наскрізних просвітів не перевищує 5 %, а в ідеалі вони зовсім відсутні. Однак, у зелених насадженнях такого типу може накопичуватись значна кількість шкідливих газоподібних поллютантів. Це викликає ураження рослин внаслідок постійного надходження токсикантів, а отже, через неспроможність детоксикувати їх великий об'єм (Приседський, 2003; Prysedskyi, 2017). Такі насадження можна формувати в СЗЗ підприємств, інгредієнтами емісії яких у атмосферне повітря є малотоксичні газоподібні речовини і викидаються вони у невеликих обсягах.

Поруч з підприємствами, що забруднюють атмосферу важкими газами, які більше, ніж у 2 рази важчі за повітря (аерозолі, що розсіюються у вигляді пилу і туману, газоподібні хлористі сполуки, діоксид сірки), деревні рослини висаджують смугами ажурної конструкції. В період вегетації вони мають більш або менш рівномірно розподілені наскрізні просвіти по всій висоті насадження. Бажано, щоб ступінь ажурності таких смуг був оптимальним (25–35 %), а форма їх поперечного січення – прямокутна, хоча для насаджень такого призначення вона не має суттєвого значення (Смалька, 1963).

Конструкції слабоажурні або щільні у верхній і середній їх частинах зі наскрізними просвітами внизу створюють тоді, коли треба збільшити рівень провітрювання і в певній мірі скоротити седиментацію викидів у насадженні. Їх можна доповнити низькорослими чагарниками. Густі непродувні смуги створюють із 7–8 рядів дерев, які висаджують з відстанню 1–3 м, і кущів. Ширина таких насаджень повинна становити 22–25 м. Ажурні захисні лісосмуги формують із 7–10 рядів дерев, відстань між якими в рядах складає 4–12 м, і кущів. Цей тип смуг рекомендують створювати завширшки 26–32 м (Наказ Міністерства будівництва, архітектури..., 2006). Однак слід враховувати, що надзвичайна щільність насадження веде до застою забрудненого повітря, а також викликає конкуренцію між деревами, яка призводить до їх ослаблення, а отже – і падіння газостійкості.

Загальна площа зелених насаджень у СЗЗ повинна становити 60–70 %, вона не повинна займати менше, ніж 40 % її території, враховуючи бульвари, газони, лісосмуги, озеленені проїзди. Передбачається, що якщо ширина СЗЗ становить 50 м, площа деревостанів повинна займати 40–50 %; 100 м – 35–40 %; 300 м – 40–50 %; 500 м – 35–45 %; 1000 м – 40–50 % від загальної території, площа газонів і озелених проїздів – 25–30 %, 25–30 %, 15–25 %, 13–20 % та 10–15 % відповідно (Наказ Міністерства..., 2006).

У межах СЗЗ пропонують виокремлювати три зони: I – найбільшій концентрації поллютантів, II – середнього забруднення, III – слабкого забруднення. Так, вміст сірчаного ангідриду у першій зоні – до 2–3 мг/м<sup>3</sup>, у другій – до 2 мг/м<sup>3</sup>, у третій – шкідливі гази не повинні перевищувати ГДК більше ніж на 100 %. Породи для формування деревних масивів у кожній з вказаних зон визначають, беручи до уваги їх стійкість до промислових газів та ступінь загазованості ділянок (Приседський, 2003; Бессонова, Іванченко, 2013).

Ю. А. Атаманюк, Л. Л. Костюченко (1981) рекомендують у СЗЗ формувати змішані насадження, які характеризуються найбільшою біологічною стійкістю і високими декоративними якостями. Ці автори пропонують застосовувати як головні 1–2 види стійких деревних рослин, котрі в даних ґрунтово-кліматичних умовах відрізняються найбільшою життєздатністю і мають високу газостійкість до забруднювачів даного підприємства, а також супутні види дерев і чагарників (два-три) з урахуванням їх взаємних відносин. Чистопородні насадження рекомендується створювати тільки в дуже несприятливих умовах, коли інші породи рослин виявляють недостатню стійкість. Введення у насадження чагарників, які розміщують групами або поодинокі, необхідне для збільшення загальної маси і поверхні листків, а також для збереження ґрунтової вологи.

Видове різноманіття необхідне для запобігання розповсюдженню і масового ураження рослин хворобами та пошкодження шкідниками (Vehviläinen et al., 2007; Castagneyrol et al., 2014). Збагачення видового спектра рослин веде до підвищення стійкості, поліпшення умов зростання (Sklyarenko & Bessonova, 2019), збільшення чисельності корисної мікрофлори. У міру зменшення надходження в атмосферне повітря промислових забруднювачів спостерігається тенденція до поступового зростання видового багатства деревних рослин і кількості підросту провідних лісотвірних порід (крім хвойних), особливо в листяних насадженнях.

Для створення зелених смуг СЗЗ необхідно добирати переважно види рослин із високою опірністю до повітряних емісій конкретних промислових підприємств, зі швидкими темпами зростання, раннім змиканням їх крон і найранішим настанням захисної дії, що дає змогу зменшити витрати на догляд за ними (Атаманюк, Костюченко, 1981). Важливо враховувати довговічність рослин. Пріоритетними слід вважати види, які мають добре облистяну, щільну крону (софора японська, шовковиця біла, тополя канадська тощо). Проте зазначені породи можна пропонувати лише для певних умов зростання і кліматичних зон. Покращуючи структуру захисних насаджень, можна значно зменшити ступінь негативного впливу на рослини аерополітантів і підвищити їх толерантність (Клопко та ін., 1971; Левон, 2008).

Для озеленення промислових підприємств і їхніх СЗЗ необхідно підбирати стійкі до забруднювачів доквілля, невимогливі до ґрунтових умов, жаро- і посухостійкі види рослин (Литвинова, Левон, 1986; Левон, 2008).

У насадженнях СЗЗ забороняється висаджувати рослини, що призначені на корм худобі, плодово-ягідні культури, а також використовувати захисні зелені масиви для рекреації. Оптимальні результати в оздоровленні повітря і покращенні санітарно-гігієнічних показників на території зелених насаджень СЗЗ визначаються через 8–10 років (Semenyutina et al., 2013). На жаль, під час створення СЗЗ нерідко допускаються порушення у відповідності насаджень класифікації виробництв та їхніх розмірів.

Таким чином, стан зелених лісосмуг СЗЗ на теперішній час є досить проблемним. Необхідне докорінне покращення їхньої якості, удосконалення робіт з озеленення, пошук нових шляхів раціонального використання потенційних ресурсів рослинних організмів для зниження впливу токсичних аерополітантів. Це сприятиме формуванню сприятливих умов для проживання населення.

## **1.2. Бар'єрно-оздоровча роль деревних захисних зелених насаджень промислових підприємств**

Бар'єрно-оздоровча роль деревних насаджень в урбосередовищі, і особливо в санітарно-захисних зонах промислових підприємств, надзвичайно важлива, що підтверджується рядом досліджень (Beckett, 2000; Гришко та ін., 2012; Яворовський, 2019, Wang et al., 2021 тощо). Рослини зелених захисних зон промислових підприємств поглинають такі компоненти емісій, як феноли, хлориди, сірководень, фториди, оксиди сірки

та затримують пил й аерозолі важких металів, здійснюючи таким чином доочищення від цих забруднювачів атмосферного повітря (Jouraeva et al., 2002; Sklyarenko & Bessonova, 2018; Bessonova & Sklyarenko, 2020). Поглинання шкідливих речовин листками визначається багатьма чинниками, серед яких основна роль належить часу їх надходження з повітря та концентрації. Ряд дослідників вказують, що показники накопичення полютантів у середньому можуть відображати акумуляційні властивості різних видів рослин (Ількун, 1978; Парпан, Юхимчук, 1984; Бессонова, 1999; Антоняк та ін., 2015; Скляренко, Бессонова, 2020).

Темою багатьох робіт було накопичення у ґрунті фтору поблизу джерел забруднення, проте лише в деяких із них (Israel, 1974; Sidhu, 1979; Thompson et al., 1979) здійснена спроба пов'язати акумуляцію цього елемента в органах рослин з його кількістю у ґрунті. Підвищення вмісту цього фітотоксиканту в ґрунті на  $20 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$  призводить до накопичення 1 мкг фтору на 1 г сухої речовини кормових рослин (Israel, 1974). Поверхневими тканинами листків рослин акумулюються газоподібні сполуки фтору (Israel, 1974; Sidhu, 1979; Thompson et al., 1979; Приседський, 2019; Bessonova & Sklyarenko, 2020). Значно впливає на концентрацію фтору, що поглинається листям, просторове розташування дерева в насадженнях. Виявлено, що його вміст у листках тополі, яка зростає на завітреному боці насадження, становить 64 % від показника на навітреному боці (Thompson et al., 1979).

Акумуляція хлору в листках визначається як індивідуальними особливостями організму, так і концентрацією газу в повітрі, з яким контактують рослини. Згідно з дослідженнями Г. М. Ілька (1978), маслинка вузьколиста, тополя чорна та свидина біла поблизу заводу здатні акумулювати в 15–20 разів більше хлору порівняно з рослинами цих же видів у незабрудненому довкіллі. Їхні листові пластинки при цьому зовсім не ушкоджені цим газом. Шовковиця біла, маслинка вузьколиста, тамарикс та робінія звичайна здатні нагромаджувати у своїх органах до 1 % хлору, залишаючись неушкодженими (Ількун, 1978). Нетоксична концентрація хлору, що накопичується в листках рослин, значною мірою визначається живильністю ґрунтів, на яких вони зростають. Так, у листках робінії звичайної вона становила 2,54 %, тополі чорної – 3,17 %, верби білої – 2,09 % на чорноземному ґрунті, а на піщаному ґрунті – відповідно 1,48 %, 2,72 % та 1,17 %.

Суттєве розсіювання піридину у складі повітряних полютантів, масштабне застосування рослинних насаджень для покращення довкілля поблизу промислових підприємств, які викидають цей забруднювач, вказує на важливість досліджень щодо його накопичення листками рослин. Ємність акумуляції цього токсиканту листям рослин коливається в межах 0,74–13,42 мг/г сирої маси. Визначено, що цей показник найменший у чутливих до піридину видів (верба біла, в'яз дрібнолистий, ясен зелений, горіх маньчжурський та грецький). Найбільшою ємністю акумуляції характеризуються твкі види дерев: липа дрібнолиста, клен гостролистий, клен несправжньо-платановий, клен ясенелистий, робінія звичайна, тополя пірамідальна, шовковиця біла. Проміжний стан займають береза повисла, маслинка вузьколиста, тополя Болле, сумах оленерогий, ясен зелений, айлант найвищий та інші. Тканини листків рослин здатні міцно утримувати піридин. Малі дози цього забруднювача, які не ушкоджують органи асиміляції, можуть виділятися назад у довкілля. Якщо механізм виділення ослаблений, рослина не може звільнитися від полютанта, що зазвичай призводить до загибелі окремих частин (клітин, молодих пагонів, листків) або всього рослинного організму (Тарабрін та ін., 1986; Гнатів, 2014).

Трав'яні та деревні рослини можуть акумулювати з повітря фенольні сполуки (Долгова, Козюкіна, 1972; Коршиков, 1981), які здатні трансформуватися в їх клітинах до природних метаболітів (Durmishidze, 1975; Ugrekhelidze & Kavtaradze, 1979). Фенольні сполуки, що викидаються коксохімічними заводами в атмосферу, поглинаючись листками рослин, розподіляються в їхніх тканинах нерівномірно. Вони переважно зосереджуються у периферійних ділянках листка, які найбільше ушкоджуються. Причина цього в тому, що в цих частинах листка кутикула більш проникна, ніж у центральній частині (Коршиков, Медведєв,

1976). Проте це явище пояснюють також рухом фенольних сполук по тканинах листка з током води внаслідок дії присисної сили транспірації.

Трансформація природних і синтетичних фенольних сполук у рослинних організмах може здійснюватися двома шляхами: перший – за якого порушення цілісності ароматичної структури молекул не відбувається; другий – не пов'язаний із розривом бензольного кільця (Zargometov, 1977). Рослини можуть використовувати ди- і трифеноли, які вони поглинають, як аглікони для утворення  $\beta$ -глікозидів. J.B. Pridham (1958, 1964), досліджуючи здатність рослин глікозидувати резорцин і гідрохінон, виявив, що реакції глікозидування є основним шляхом детоксикації цих сполук у клітинах вищих рослин. Здатність до метаболічного розщеплення бензольного кільця ендогенних фенольних сполук вищими рослинами була встановлена ще у 1959 році (Zargometov, 1977), що пізніше було підтверджено D.Sh. Ugrehelidze (1976). У клітинах вищих рослин процес розщеплення бензольного кільця може відбуватися лише тоді, якщо в їхніх молекулах є не менше двох гідроксильних груп. Виявлено, що глибоке розщеплення фенолів, які виникають у процесі гідроксилювання інших ксенобіотиків, а також екзогенних фенольних сполук до  $\text{CO}_2$ , відбувається в обмежених кількостях (Чкаников, 1985).

Листя рослин здатне абсорбувати з повітря аміак і оксиди азоту, а з ґрунту корені поглинають катіони амонію, аніони азотистої та азотної кислот (Okano et al., 1989). Однак їх успішне знешкодження відбувається лише тоді, коли вміст забруднювача не є згубним для рослин. У невеликих кількостях у вільному стані аміак трапляється в клітинах рослин. Він дуже швидко включається в органічні речовини, оскільки його висока концентрація для них є отруйною (Довгаук-Семенюк та ін., 2015). Аміак знешкоджується в процесах синтезу амідів (глутаміну й аспарагіну), а також утворення амонійних солей (Бессонова, Яковлева, Носарь, 2014). Рослини засвоюють газоподібний аміак досить швидко, однак ефективність включення його в листки й корені у разі насичення тканин цією сполукою залишається на незмінному рівні або послаблюється.

Асиміляція й перетворення  $\text{NO}_2$  у клітинах листків рослин здійснюється дуже швидко. Визначено, що органели клітин листків (пластиди, ядра, рибосоми, мітохондрії) вже після перебування пагона виноградної лози протягом двох хвилин в атмосфері  $^{15}\text{NO}_2$  були збагачені міченим азотом. Як зелені пагони, так і корені можуть асимілювати  $\text{NO}_2$ . Встановлено, що мічений азот ( $^{15}\text{N}$ ) з коренів рухається у пагони й листки рослин. Після відновлення азоту у коренях і листках він включається в амінокислоти. Цим процесам передують утворення з діоксиду азоту азотистої й азотної кислот, які нейтралізуються за допомогою катіонів (Durshimidze, 1977).

Високою активністю акумуляції й включення  $^{15}\text{NO}_2$  в азотовмісні речовини характеризуються граб кавказький, дуб грузинський, дуб імеретинський, клен ясенolistий, сосна ельдарська, сосна чорна, яблуня звичайна (Durshimidze, 1977).

Встановлено, що в листі деревних рослин, які зростають поблизу нафтопереробного підприємства, накопичуються підвищені кількості діоксиду сірки. Великі концентрації сульфатів свідчать про суттєвий рівень забруднення атмосферного повітря  $\text{SO}_2$ , що шкідливо впливає на довкілля і здоров'я людей у населеному районі (Al-Jahdali, Bin Bisher, 2008). Здійснено оцінку можливості використання деяких вищих рослин як біомоніторів забруднення  $\text{SO}_2$  у місті Мадрид. У міських умовах такі показники, як загальний вміст сірки в листках судинних рослин, концентрація хлорофілу *a* і *b*, симптоми видимих ушкоджень та активність пероксидази, були застосовані для аналізу часових змін поглинання і просторового розподілу  $\text{SO}_2$ . Одержані показники свідчать, що листяні види дерев, зокрема *Quercus ilex*, були менш чутливі до вмісту діоксиду сірки в атмосфері, ніж хвойні, такі як *Pinus pinea*.

Підвищений вміст сірки визначається також в овочевих культурах, які зростають поблизу автомобільних доріг і в густих придорожніх насадженнях. Найвищі показники

накопичення SO<sub>2</sub> зафіксовані в літній період (з червня по вересень) у зв'язку з підвищеною відкритістю продихів листків. Мінімальні значення виявлені в зимовий і ранньовесняний сезони (з січня по квітень), що пояснюється зупинкою росту (Hijano et al., 2005).

Накопичення сірки відбувається в листових пластинках (Paul, 1974; Ількун, 1978; Sklyarenko, Bessonova, 2018), значний її вміст визначено також у черешках листків та провідних органах (Zhang et al., 2013). Сульфати з листків, які асимілювали сірчаний газ, транспортуються в місця з високою потребою – із старих листків у молоді (Häfner & Michel, 1975; Paul, 1976). Під час активного росту рослин сірка пересувається в тканини, де відбувається найінтенсивніший білковий синтез. У дослідженнях із використанням міченого сірчаного газу встановлено, що питома активність сірки в старих листках у 1,5–2,0 рази менша, ніж у молодих. Переміщення сульфатів до точок росту пагонів зменшується зі сповільненням процесів росту, і вони пересуваються головним чином у корені (Тарабрін та ін., 1986).

Акумуляція сірчаного газу листками рослин, як з'ясував N. Faller (1970), здійснюється лише вдень. Залежно від забезпеченості ґрунту сіркою, вмісту сірчаного ангідриду в повітрі та віку листків його питома вага в листових пластинках може досягати 38–39 % у загальному балансі сірки (Медведев, Федоров, 1956). У рослин, що зростають в умовах забруднення атмосфери, збільшується кількість сірки і в кірці стовбурів дерев (Menning, Feder, 1988).

Необхідно зазначити, що наведені в літературних джерелах дані стосовно здатності листків різних видів деревних рослин поглинати газоподібні сполуки сірки в умовах її техногенних емісій в атмосферне повітря досить часто не збігаються. Так, В. П.Тарабрін та ін. (1986) виявили, що в насадженнях м. Донецька найбільш значна здатність поглинати SO<sub>2</sub> притаманна листкам тополі Болле, тамарикса гіллястого, ясена зеленого, тополі канадської, липи дрібнолистої, дуба звичайного, робінії звичайної; найменша – клена сріблястого, гледичії триколючкової, черемхи пізньої, в'яза перистогіллястого, шовковиці білої. За даними Kulagin (1970), до першої групи увійшли жимолость татарська, липа дрібнолиста, ясен зелений, тополя бальзамічна, а до другої – клен ясенелистий, в'яз гладкий, черемха звичайна. Згідно з лабораторними експериментами з фумігацією SO<sub>2</sub>, найбільшою здатністю поглинати цю сполуку мали листки клена ясенелистого, клена гостролистого, берези пухнастої, дуба звичайного, липи крупнолистої, тополі дельтовидної, клена несправжньо-платанового та робінії звичайної (Гетко, 1968).

У роботі M. Basovic et al. (1975) зазначається, що види дерев, які зростали у забрудненому середовищі, за зменшенням показників акумуляції сірки в їхніх листках можна ранжувати так: *Aesculus hippocastanum*, *Acer negundo*, *Populus robusta*, *Platanus orientalis*, *Prunus pinardii*, *Catalpa bignonioides*, *Corylus colurna*, *Acer dasycarpum*. Найбільші кількості сірки за умов зростання рослин у великому індустріальному місті поглинаються листками калини звичайної, тополь чорної, пірамідальної, канадської, бальзамічної та білої. Мінімальний її вміст встановлено в листках горобини скандинавської, клена гостролистого, абрикоса звичайного, шовковиці білої, ялини колючої, клена несправжньо-платанового (явора) (Коршиков та ін., 1995). За даними S. Sergeychik (1997), максимальна акумуляція сірки притаманна листкам липи дрібнолистої, маслини вузьколистої, клена гостролистого, тополь канадської й китайської; середня – робінії звичайної, гіркокаштана звичайного, ясена звичайного; найменша – груші звичайної, в'яза перистогіллястого, троянди зморшкуватої.

Рослини, в першу чергу листові поверхні, здатні осаджувати пилові частки (Little, 1977; Mitchel et al., 2010), кількість яких на листках закономірно зменшується з падінням рівня забруднення атмосферного повітря та збільшенням відстані від джерела викидів (Fatt, 1961; Бессонова, 1993; Beckett et al., 2000; Шматков, Мінков, 2011). В.П. Бессоновою (1993) досліджена здатність до седиментації металонесних аерозолів листками 29 видів деревних

рослин, на підставі чого був запропонований асортимент найефективніших пилозатримуючих рослин для санітарно-гігієнічних насаджень підприємств чорної металургії.

На озелених територіях СЗЗ запиленість атмосферного повітря була майже на 34 % меншою в зимовий період порівняно з відкритим простором і на 40 % меншою в літній сезон (Fatt, 1961). Визначення значень накопичення пилу на листках дерев показало, що найбільша його кількість осаджується на листовій поверхні *Aesculus hippocastanum* та *Populus pyramidalis*, а найменша – *Tilia cordata* й *Acer platanoides* (Ганаба, 2015). Встановлена висока здатність утримувати пил листям таких деревних видів рослин, як *Tilia cordata* та *Tilia platyphyllos* у міських насадженнях (Василенко та ін., 2024). Листки інтродукованих рослин *Catalpa speciosa* та *Catalpa bignonioides* осаджують дещо більше пилу порівняно з листками автохтонних видів – *Acer platanoides* та *Tilia cordata*. Порівняння здатності затримувати частки пилу листками двох досліджуваних видів катальп показує, що вона вища у *Catalpa speciosa*, ніж у *Catalpa bignonioides* (Немченко, 2008).

О. А. Пономарьовою, В. П. Бессоновою (2010) здійснено порівняння величин седиментації пилу листками *Tilia europaea* й *Tilia cordata*. Більший коефіцієнт осадження визначено у *Tilia europaea*. Листки рослин, що зростають поблизу металургійного комбінату з повним металургійним циклом, затримують значно більше пилу порівняно з рослинами, які зростають поблизу цементного виробництва. Спектр елементів, які є складовими пилу, що осаджувався листками рослин у СЗЗ обох підприємств, є дуже подібним, проте частка їх від загальної маси осадженого пилу суттєво відрізняється, як і кількісні показники для кожного з вищезазначених видів рослин. Суттєву увагу вивченню ролі деревних рослин у седиментації аерозолів атмосферного повітря приділили Н. Little (1977), L.S. Dochinger (1980).

Рослинності вздовж автомобільних доріг належить важлива роль у седиментації пилових часток. Хвойні породи внаслідок того, що хвоя восени не опадає і зберігається на гілках тривалий час, відзначаються значним пилозатримувальним потенціалом протягом року. Найкращою пилозатримувальною здатністю характеризуються *Thuja occidentalis* й *Picea abies* (Ількун, Маховська, 1978).

Емісії важких металів в атмосферу з антропогенних джерел на глобальному і регіональному рівнях становлять загрозу для екосистем і здоров'я людини (Расуна, Расуна, 2001). Масиви деревних рослин у техногенних умовах зростання виконують очисну роль стосовно важких металів, акумулюючи їх у пагонах, листках та корі (Бессонова, Лиженко, 1990; Саруана, 2011; Tangahu et al., 2011; Ugolini et al., 2013; Sun et al., 2014; Гришко, Піскова, 2014; Гришко, Зубровська, 2015).

В. П. Бессоновою (1999, 2006) досліджено накопичення деяких важких металів (Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Ti, Co та ін.) у листі дерев і кущів, що зростали у захисних насадженнях трубного й трубопрокатного заводів, а також металургійного комбінату з повним промисловим циклом у м. Дніпро. Виявлено видову специфіку їх накопичення. Для дерев, які утворюють захисні лісосмуги в умовах техногенного забруднення різного походження, визначена подібна закономірність (Бессонова, Зайцева, 2008). Сезонна динаміка нагромадження важких металів (Pb, Ni, Zn, Cd) у листках восьми видів дерев, що зростають на території ряду промислових підприємств, досліджена В. М. Гришко зі спів. (2012). Акумуляцію важких металів рослинами на вулицях Львова вивчали О. І. Поліщук зі спів. (2020).

Розрахунки показали, що для біологічної рекультиваци відвалів необхідно рекомендувати висаджування дерев *Populus tremula* та *Betula pendula*, які є найкращими накопичувачами таких важких металів, як Sr, Mn, Ti. *Betula pendula* значно зменшує розповсюдження Mn, *Populus tremula* – Pb і Fe. Через значні темпи росту та високу акумулюючу здатність ці деревні породи пропонуються для створення насаджень індустріальних ландшафтів Донбасу (Глухов та ін., 2006).

Визначено, що насадження тополі бальзамічної (*Populus balsamifera*), які сформовані на території промислового центру, на площі 1 га за вегетаційний період акумулюють важких металів більше, ніж насадження берези повислої (*Betula pendula*): Cd – у 2,5 раза, Fe – у 3,8 раза, Pb – у 14,5 раза; а в гілках: Fe – у 3,3 раза, Pb у – 5,5 раза. Однак у листі берези повислої на 1 га насаджень протягом вегетаційного сезону накопичується Cd – у 3 рази, Mn – у 1,3 раза, а в гілках Mn – у 5 разів, Cd – у 3,5 раза, Cu – у 2,2 раза більше, ніж у лісових насадженнях тополі бальзамічної (Гиниятуллин, 2010). Встановлено підвищення концентрації хімічних елементів у органах асиміляції досліджуваних дерев поруч із Битків-Бабчинським нафтовим родовищем. Ряд накопичення виглядає таким чином: Al > Fe > Zn > Ti > Sr > Cu > Rb > Ni > V > As > Br > Ag > Pb > Mo. За зростанням частки ушкодження листкових пластинок обстеженні рослини можна ранжувати наступним чином: ліщина > береза > осика > бук > липа > клен. Найбільшими накопичувальними властивостями хімічних елементів у листках характеризується ліщина, найменшою – клен і бук (Краванович, Глібовицька, 2020). А .В. Хаданович та ін.(2012) досліджували надходження, а також розподіл іонів важких металів Cu, Pb, Cd, Zn у системі «грунт – рослина».

В органах рослин акумулюються й інші елементи, що не належать до групи важких металів, у разі забруднення ними довкілля, наприклад Sr (Глухов та ін., 2006; Краванович, Глібовицька, 2020), As (Tangahu et al., 2011) тощо.

Лісосмуги СЗЗ промислових підприємств не тільки виконують таку важливу функцію як доочищення повітря від токсичних газоподібних речовин і аерозолів твердих часток, але й сприяють зменшенню шуму працюючих агрегатів (Войко, Добровольська, 2017; Дубин та ін., 2016). На площах із зеленими масивами інтенсивність шуму в 10 разів менша, порівняно з ділянками без зелених насаджень. Так, деревні насадження листяних порід можуть відбивати до  $\frac{3}{4}$  звукової енергії (Яворовський, 2014). Якщо деревостани знаходяться у безпосередній близькості від джерела шуму, то звук поглинається краще. Більш повне його поглинання відбувається при розташуванні поруч із джерелом шуму низьких насаджень, а далі – високих, тобто зелені насадження слід розташувати ступінчасто (Дячок, Дячок, 2010).

Взимку деревостан знижує рівень шуму у СЗЗ в середньому на 4,9 дБ. а влітку – на 16 дБ. Найбільш суттєвими і статистично значущими показниками, що позначаються на рівні зменшення звуку, є віталітетний стан деревних насаджень, розвиненість трав'яного ярусу. висота чагарників (Кучерявий, 2005). З використанням математичного моделювання за отриманими лініями тренду, які виражають зменшення рівня шуму, зроблено висновок, що конструктивні особливості придорожніх лісових смуг впливають на зниження акустичного навантаження від роботи автомобільного транспорту на дорогах міжнародного і національного значення. Подібні показники шумопоглинальної властивості визначено у придорожніх лісових смугах щільної та ажурної конструкції. Їхня шумопоглинальна здатність порівняно із контрольною ділянкою становила 20 %. Лісосмуги продувної конструкції мають шумопоглинальний ефект на рівні 10 % (Максімцев, Дударець, 2020). Заслугує на увагу аналіз зменшення ступеня шуму такими угрупованнями деревних рослин ботанічного саду (м. Вінниця), як чагарникове, змішане триярусне, плодове, дубове, грабове, березове, ялинове, липове. Шумовий ефект створювався гучномовцем. Рівень шуму регулювався. Він був подібним до такого, що викликається різними видами транспорту у місті. Найсильніше зменшувала шум триярусна змішана асоціація, найменше – грабова, середню позицію займала ялинова (Дзюмак, Кравчук, 2011).

Отже, зелені насадження є дієвим засобом покращення атмосферного повітря внаслідок поглинання інгредієнтів виробничих і автомобільних викидів, осадження пилу та аерозолів токсичних домішок. Їм належить суттєва роль у боротьбі з шумом, особливо при правильно створених конструкціях насаджень, розташуванні їх зважаючи на звуковідбиваючі властивості. Рослинність, особливо деревна, в СЗЗ, на промислових ділянках, урбогенних територіях значно оптимізує мікроклімат.

### 1.3. Неприятлива дія техногенного забруднення на рослинні організми. Групи їх витривалості до поллютантів

Насадження деревних рослин у зоні викидів промислових емісій виконують роль біологічних фільтрів, однак акумуляція забруднювачів у їхніх органах може викликати ушкодження, пригнічення росту, зміни біохімічних і біометричних показників і навіть загибель.

Ще М. Vogl & S. Börtitz (1965) запропонували п'ять фаз впливу діоксиду сірки на рослинні організми: 1) ушкоджень немає; 2) прихований або «фізіологічний»; 3) хронічний; 4) гострий; 5) катастрофічний. У фазу хронічного впливу проявляються видимі ураження, а акумуляція критичної кількості токсиканта призводить до загибелі рослини. В цілому, такий же ефект у послідовності реакцій викликають й інші поллютанти.

За ступенем і характером прояву дії забруднювачів атмосферного повітря більшість дослідників виділяють три типи ушкоджень: приховане, хронічне й гостре. Під впливом високих концентрацій токсичних промислових поллютантів протягом кількох хвилин або годин виникають гострі ушкодження. На листових пластинках з'являються незворотні порушення: хлорози або відмирання окремих ділянок. Листки в'януть, всихають і опадають (Ількун, 1978; Хвостов, Капелюш, 2011; Крупей та ін., 2019). За тривалого впливу на рослини помірних концентрацій шкідливих газоподібних забруднювачів також спостерігається ушкодження листків. На виникнення таких симптомів у різноманітних видів рослин за дії важких металів та полікомпонентних аерополлютантів вказували численні дослідники (Бессонова, Юсипова, 2001; Парпан, Миленька, 2009; Капелюш, 2011, 2012; Гнатів, 2014; Яковишина, 2013; Приседський, Лихолат 2017).

Зростання ступеня забрудненості довкілля у всіх досліджуваних видів рослин призводить до збільшення кількості листових пластинок із некротичними плямами (Rostunov et al., 2017), а у хвойних – до підвищення відсотка хвої з проявами всихання (Левон, 2008). Встановлено, що в зонах загазованості молоді листки верби білої (*Salix alba*) менш стійкі, ніж дорослі. За даними В. П. Бессонової, С. О. Яковлевої-Носарь (2004), шестирічний самосів *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Ulmus caprinifolia*, *Fraxinus lanceolate*, ушкоджується менше, ніж однорічний.

У індустріальних містах, особливо поблизу промислових підприємств, відзначається поступове ушкодження рослин протягом усіх місяців вегетації. Зміна забарвлення листя спостерігається вже в середині літа. На ньому виникають хлоротичні точки й невеликі бліді плями. З часом на їхньому місці формуються некротичні ділянки, які висихають і часто випадають, внаслідок чого листки набувають дірчастого вигляду. Ураження тканин на листках і поява крайових некрозів характерні для багатьох видів рослин, особливо наприкінці вегетації (Поляков, Сулова, 2004; Бессонова, Чонгова, 2023). Внаслідок несприятливого впливу поллютантів на фізіолого-біохімічні процеси відбувається передчасне старіння та загибель листків рослин (Kulagin, 1985; Левон, 2008; Гнатів, 2014). Визначено, що рослини, які зростають уздовж дороги з інтенсивним рухом автотранспорту, характеризуються пошкодженням листків (Бессонова, Пономарьова, 2014). Вже наприкінці червня – на початку липня листки липи серцелистої (*Tilia cordata*) та клена гостролистого (*Acer platanoides*) стають бурими, а наприкінці липня та в серпні дефоліація призводить до оголення крон. Це пояснюється сильним техногенним забрудненням фітомаси рослин і ґрунтів (Луцишин та ін., 2010). Подібні ураження спостерігаються і в дерев гіркокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum*). Базуючись на результатах досліджень, науковці вважають, що критичний стан дерев у вуличних насадженнях м. Києва зумовлений, головним чином, високими показниками техногенного забруднення (Радченко та ін., 2010).

Деякі дослідники вважають, що ступінь негативного впливу техногенних поллютантів на рослини у більшості випадків може бути оцінений лише на основі візуального обстеження та

аналізу зовнішніх проявів (Тарабрін та ін., 1986). Усі намагання використати в тестуванні реакції, що були отримані на клітинно-тканинному рівні були визнані не переконливими (Guderian, 1979).

Як уже зазначалося, за періодичної або систематичної дії на рослини невеликих концентрацій газів проявляються хронічні ураження. Їх характерною ознакою є скорочення лінійних розмірів листових пластинок і їх передчасне опадання (Гнатів та ін., 2000; Гнатів, 2014; Kulagin, 197; Pourkhabbaz et al., 2010). У таких екологічних умовах ступінь зменшення площі листків у покритонасінних залежить від рівня забруднення оточуючого середовища та стійкості рослин (Vijayan & Bedi, 1989; Яворовський, 2014; Бессонова, Чонгова, 2023; Pourkhabbaz et al., 2010). Ці ж чинники впливають і на розміри хвоїнок у голонасінних (Левон, 2000; Коцун та ін., 2015).

Скорочення площі листків під впливом забруднювачів довкілля відмічали також інші дослідники (Seyyednejad et al., 2011; Хвостов, Капелюш, 2011; Морозова, Кирнична, 2012; Bessonova, Dzhygan, 2018; Бессонова, Іванченко, 2019). Однак деякі автори не виявили впливу техногенних умов зростання на розміри листків у ряду видів деревних рослин (Ількун, 1978; Гришко та ін., 2002; Бессонова, Чонгова, 2021). Можливі також зміни форми листків (Bessonova & Dzhygan, 2018). Керуючись даними щодо мінливості морфометричних параметрів листових пластинок у п'яти видів дерев роду *Tilia* L., Н. О. Олексійченко та А. Ф. Ліханов (2016) зробили висновок, що існують найтісніші зв'язки площі листків з показниками їхньої ширини ( $r = 0,98$ ). Виявлено, що за дії викидів автомобілів у липи широколистої (*T. platyphyllos*), липи європейської (*T. × europea*), липи повстистої (*T. tomentosa*) та липи кавказької (*T. begoniifolia*) підвищується індекс відношення периметра листка до квадратного кореня його площі. У листових пластинках досліджуваних видів лип, які зростають в урбогенних зелених насадженнях, зростає кількість природних фенольних сполук, що мають антиокислювальну дію, зокрема оксикоричних кислот та їхніх кон'югатів.

Біохімічні та цитологічні ефекти забруднювачів довкілля на рослини вивчали багато дослідників (Malhotra & Hocking, 1976; Naylor, 1988; Коршиков, 1995; Бессонова, 2005; Rezanejad et al. 2012 тощо). За хронічної дії промислових полютантів відбуваються зміни розмірів гістологічних складових листків та стебел дерев. Виникає ксерофітизація структури листків: потовщується кутикула, зменшуються ступінь відкритості та розміри продихів, натомість підвищується щільність розташування клітин абаксіального епідермісу та продихів, зростають індекси ксероморфності та продиховий індекс (Капелюш, Бессонова, 2005). У дослідженнях Т. Ф. Чипиляк і В. М. Гришка (2008) не виявлено загальної закономірності в зміні чисельності продихів на листках видів ліліянику за різного рівня забруднення. Проте автори зазначають, що зі збільшенням їх кількості зазвичай спостерігається і зростання розмірів (Gostin, 2009; Vaciak et al., 2015; Бессонова, Криворучко, 2017; Бессонова, Криворучко, 2017а; Лещенюк, Мазура, 2021). Аналогічні зміни зафіксовані й у рослин *Salix alba* (Юсипіва, Мясюк, 2016). В умовах антропогенного забруднення потовщується шар перидерми у пагонів *Caragana arborescens* (Юсипіва, Грицай, 2014) та *Quercus rubra* (Бессонова, Криворучко, 2017а). N. Rhimi та ін. (2016) спостерігали морфо-анатомічні порушення листків виноградних лоз, які зростали в умовах атмосферного забруднення.

Отже, викиди промислових підприємств негативно впливають на структурні характеристики листя, зокрема зменшують площу листових пластинок і ширину продихових щілин, що, у свою чергу, не сприятливо позначається на процесі фотосинтезу (Pourkhabbaz et al., 2010).

Характер ушкодження обумовлюється узгодженістю таких процесів: 1) темпами надходження полютантів у тканини листків та інші органи; 2) спроможністю до знешкодження токсичних сполук або їх включення у метаболізм без порушення структурних елементів асиміляційних органів та їх функцій.

Домінування одного з процесів залежить від фізіолого-біохімічних властивостей рослин, а також від анатомо-морфологічної будови листової пластинки (Коршиков, 2004; Яковишина, 2013). Додатковими чинниками, що підсилюють ушкодження, є інтенсивна сонячна радіація, підвищені температура та вологість повітря. Вони посилюють газообмін і, відповідно, акумуляцію шкідливих газів у рослинних тканинах, що збільшує рівень ураження (Ількун, 1978; Nikolaevsky, 1981). Ступінь пошкодження рослинних органів визначається також віком рослин, концентрацією і тривалістю дії токсикантів, їх хімічним складом та агрегатним станом.

Деревні рослини, що зростають вздовж автодоріг і поблизу промислових підприємств, навіть при дотриманні норм гранично допустимих викидів (ГДВ) і гранично допустимих концентрацій (ГДК), ушкоджуються і часто гинуть. Це свідчить про високу чутливість рослин до багатьох видів забруднення. Встановлено, що ГДК аерополутантів для рослинних організмів суттєво менші, ніж чинні санітарно-гігієнічні норми для людини (Nikolaevsky, 1981). Так, для населення середньодобові ГДК (мг/м<sup>3</sup>) становлять: формальдегідів – 0,01, а для рослинних організмів – 0,003; хлору – 0,03 та 0,015 відповідно; діоксиду сірки – 0,05 та 0,015 (Nikolaevsky, Nikolaevskaya, 1988); фтору – 0,20 та 0,005.

Ураження листових пластинок повітряними забруднювачами, зокрема діоксидом сірки, зумовлюється утворенням активних форм кисню, що спричиняє посилення вільнорадикальних процесів (Asada, 1976, 1980; Бессонова, Лиженко, 1990; Бессонова, Яковлева-Носарь, 1999; Коршиков, 1995). Промислові токсиканти активують процеси пероксидного окислення ліпідів, зокрема в хлоропластах (Бессонова, 2006; Prysedskeyj, 2017), а також викликають зміни в мембранах, що супроводжується накопиченням ТБК-продуктів (тіобарбітурат-активних сполук), які є маркером порушень у функціонуванні організму (Бессонова, 1999; Foyer & Noctor, 2005; Гришко, Демура, 2009).

Вільнорадикальні реакції в рослинних клітинах негативно впливають на всі основні фізіолого-біохімічні процеси, особливо на фотосинтетичну активність. У стійких до стресових факторів видів діють механізми, що сприяють підвищенню активності антиоксидантних систем. Активація ферментів антиоксидантного захисту є важливим компонентом адаптивних реакцій рослинних організмів (Бессонова, 1992; Foyer & Noctor, 2005; Гришко, Демура 2009). До компонентів антиоксидантного захисту належать низькомолекулярні сполуки, такі як токоферол, аскорбінова кислота, каротиноїди, глутатіон, концентрація яких у тканинах рослин змінюється під впливом забруднювачів повітря (Бессонова, 1992, 2006; Гришко, Демура, 2009; Гришко, Сищиков, 2012; Foyer & Noctor, 2005). Регуляція антиоксидантних реакцій здійснюється складними механізмами, які функціонують як на генному рівні, так і на рівні білкових ізоформ (Приседський, Лихолат, 2017).

Фотосинтетичний апарат рослин є надзвичайно чутливим до впливу важких металів та кислих газів (HF, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Cl<sub>2</sub> CO<sub>2</sub>). Ці забруднювачі спричиняють набухання хлоропластів, порушення їхньої внутрішньої організації (Ількун, 1978; Rahul, Kumar, Jain, 2014), а також зменшення їхніх розмірів (Бессонова, 2006). Окрім того, ці полутанти негативно впливають на синтез хлорофілів *a* і *b*, прискорюючи їхнє окислення (Бессонова, 2006; Durga et al., 2015; Uka et al., 2017). Вміст зелених пігментів у листках рослин падає (Бессонова та ін. 1996; Миленька, 2008; Іщук, Іщук, 2020). Водночас у рослин, стійких до помірного забруднення повітря, концентрація хлорофілу може залишатися стабільною або навіть зростати (Bessonova & Popomaryova, 2017; Bessonova et al., 2020).

Діоксид сірки негативно впливає на фотосинтетичну активність, знижуючи швидкість процесу (Hwangbo et al., 2000) і здатність рослин поглинати та фіксувати вуглець (Chung et al., 2011). Вплив низьких концентрацій повітряних забруднювачів поступово зменшує інтенсивність фотосинтезу (Тарабрін та ін., 1986). Проте при високих рівнях забруднення або тривалому хронічному впливі шкідливих речовин фотосинтетичні процеси значно пригнічуються, що сповільнює ріст рослин і знижує їхню продуктивність.

У разі тривалого впливу повітряних поліутантів на деревні рослини відбувається зменшення приросту за висотою та діаметра стовбурів (Pandey, 2005). Встановлено, що зміни екологічних умов призводять до варіацій у темпах росту дерев. У міських та техногенних екосистемах, де навантаження негативних факторів є високим, відбувається зменшення висоти насаджень, скорочується кількість дерев першого і другого класів Крафта (Ворон та ін., 2023), а також гальмується приріст пагонів у діаметрі (Iusupova & Miasoid, 2016). Водночас накопичення органічної речовини в пагонах і листках також знижується (Гнатів, Артемовська, 2009; Гнатів, 2014).

За дії хронічного техногенного стресу в деревних рослин нерідко спостерігаються зміни в морфологічній структурі крони. Так, під захистом листяних дерев сосна звичайна має більш округлу форму, при цьому некроз хвої не виявляється (Pavlov, 2005). У модрини сибірської під впливом підвищених техногенних навантажень відзначається тенденція до сплюснення та зменшення діаметра крони.

Багато деревних видів демонструють незавершений, короткотривалий онтогенез із прискореним переходом до сенільного стану. Унаслідок регулярного відмирання осьових пагонів та бічних гілок різних порядків у деревних рослин формується компактна, куцоподібна крона (Коршиков, 2004). Крім того, часто відбувається відмирання верхівкової частини дерев, що призводить до появи багатoverхівкових форм (Bessonova & Dzygan, 2018), втрати апікального домінування та зростання кута прикріплення гілок до основного стовбура.

У сформованих дорослих рослин основні зміни в зовнішньому вигляді відбуваються через зрідження крони, а також формування додаткових пагонів із брахібластів та сплячих бруньок. Зокрема, у листяних порід нерідко з'являються водяні пагони, які можуть рости пучками, а також велика кількість стовбурових пагонів.

У моніторингу екологічного стану довкілля широко використовується фітоіндикація, яка здійснюється на різних рівнях організації (Бессонова, 1999, 2024; Гнатів, 2008; Алексєєва, 2014). Морфометричні характеристики деревних рослин та зміни у фізіолого-біохімічних процесах, що відбуваються під впливом промислових викидів, можуть слугувати надійними індикаторами рівня забруднення навколишнього середовища (Бессонова та ін., 1996; Глухов, 2006; Глухов, Прохорова, 2008; Kosiba, 2008; Васи́ак, 2015; Бессонова, Чонгова, 2023). Динаміка морфометричних параметрів сосни звичайної є важливим критерієм оцінки екологічного стану міського середовища та рівня його деградації, а також меж стійкості рослин до антропогенного впливу (Левон, 2000; Левон, 2008). Високу ефективність у ролі біоіндикатора забруднення демонструє тополя дельтолиста, яка, за морфологічними характеристиками, має кращі показники чутливості, ніж липа серцелиста та гірकोкаштан звичайний (Жицька, 2013). Слід зазначити, що фітоіндикація широко використовується для оцінки рівня забруднення довкілля (Бессонова, 1999; Гнатів, 2008; Алексєєва, 2014а).

W. H. Smith (1985) виокремив ключові точки, через які атмосферні поліутанти можуть впливати на репродуктивну здатність деревних порід. До таких точок належать вироблення пилку, процеси запилення та запліднення, а також утворення плодів та насіння й проростання останнього. Зокрема, атмосферні забруднювачі негативно впливають на мікроспорогенез (Konskienska-Rajak, 2002), спричиняючи продукування пилку низької якості (Бессонова, Лиженко, 1991; Бессонова, 1992; Капелюш, 2011; Капелюш, 2012; Carvalho-Oliveira, 2017). Часткова або повна втрата здатності до плодоношення в багатьох деревних видів є ще одним наслідком тривалого впливу поліутантів (Supruka, 1993; Бессонова, Юсипіва, 1998; Бессонова, Юсипіва, 2001; Грицай, Денисенко, 2011). Встановлено зменшення величини плодів у видів *Ailanthus altissima* та *Fraxinus excelsior*, що супроводжується аномальним розвитком, зокрема недорозвитком і деформацією крилаток. Погіршується накопичення запасних речовин у насінні *Acer platanoides* та *A. negundo* (Бессонова, Грицай, 2009).

Дослідження Ю. М. Петрушкевич (2018), яке було проведене на *Betula pendula* у м. Кривий Ріг, показало, що вплив вихлопних газів та промислових викидів зумовлює вкорочення довжини жіночих сережок і зменшення маси 1000 насінин та їх доброякісності, а також зниження схожості насіння й енергії проростання. За даними Т. Ф. Чипиляк та О.М. Лещенюк (2017), у 75% насіння клена гостролистого в урбогенних умовах зростання спостерігається відмирання зародка з різних причин.

Тривала дія емісій токсичних політантів великих промислових підприємств призводить до суттєвих пошкоджень лісових екосистем (Israel, 1974; Sidhu, 1979; Thompson et al., 1979; Svith, 1985; Ворон, 2004; Ворон, 2021; Ворон та ін., 2023). Вплив атмосферних забруднювачів на ріст, життєвість і якість рослин відображається на їхній продуктивності, що включає не лише зміни у розмірах та біомасі органів, але й у параметрах, які визначають економічну та екологічну цінність рослинної продукції. Оцінка дії політантів на дані показники є критично важливою для розробки ефективних стратегій контролю, а також для планування раціонального розташування джерел емісій забруднюючих речовин (Lawrence, Weinstein, 1982).

Таким чином, під впливом складових промислових викидів відбувається погіршення життєвого стану рослин, що негативно позначається на їхній ключовій екосистемній функції – здатності виконувати захисну роль у довкіллі. У цьому контексті питання стійкості рослин до аерополітантів набуває особливої актуальності. Адаптаційні механізми деревних рослин в умовах забруднення довкілля вивчали Г. М. Ількун (1978), І.І. Коршиков (2004). В.П. Тарабрін та ін (1986), П.С. Гнатів (2014) та багато інших дослідників.

Стійкість до дії політантів визначають як здатність рослин зберігати нормальні темпи росту та підтримувати насіннєве розмноження в умовах забрудненого атмосферного повітря (Kulagin, 1970). Оцінка стійкості виду здійснюється за показниками зниження інтенсивності росту, скорочення тривалості життєвого циклу, рівня врожайності, а також за характером і масштабами пошкоджень листової поверхні. Стратегію виживання дерев граната і мигдаля розглянута в роботі F. B. Abdalach (2006).

Сприйняття рослин до промислових токсикантів є відносним: не існує повністю стійких або абсолютно нестійких видів, так само як неможливо виділити види, що є цілковито жаро-, посухо-, холодо- чи морозостійкими. Стійкість до забруднення визначається комплексом чинників, серед яких – тип насаджень, специфіка й тривалість впливу промислових викидів, рівень агротехнічного догляду, особливості ґрунту й клімату, відстань до джерела емісій та просторове розміщення рослин.

Ще у середині ХХ ст. N. P. Krasinskiy (1950) виокремив три основні типи газостійкості: біологічну, морфо-анатомічну та фізіологічну. Згодом було запропоновано деталізовану класифікацію, що охоплювала сім форм стійкості рослин до аерополітантів: 1) структурну (анатомо-морфологічну); 2) фізіологічну; 3) біохімічну; 4) регенераційну (біологічну, за Krasinskiy); 5) анабіотичну; 6) популяційну; 7) фітоценотичну (Kulagin, 1970). Ця класифікація часто застосовується у дослідженнях з резистентності рослин до забруднювачів довкілля.

Згідно іншій класифікації стійкості рослин до забруднення передбачається поділ на пасивну та активну стійкість. Так, пасивна стійкість визначається особливостями анатомо-морфологічної будови та функціонування продигового апарату, що мінімізує проникнення газів у тканини. Активна ж стійкість полягає у здатності рослин переносити поглинені токсиканти, елімінувати їх або знешкоджувати за допомогою фізіологічних механізмів детоксикації (Nikolaevsky, 1981).

Зазвичай рослини поділяють на три основні групи за рівнем стійкості до забруднення атмосфери: нестійкі, середньостійкі та стійкі (Thomas, 1962; Ількун, 1978). Проведено значну кількість досліджень, присвячених визначенню чутливості деревних видів до впливу атмосферних токсикантів.

Внаслідок проведення досліджень у насадженнях поблизу Чонавського заводу азотних добрив (Польща) було встановлено, що найбільш стійкими до його викидів були такі деревні рослини: берест листуватий, бруслина європейська, бузина червона, клени ясенелистий та гостролистий, тополя канадська. До нестійких видів належать ялівець козацький, ялина звичайна та сосна звичайна, тоді як найменш стійкими є тополя тремтяча і береза повисла. До середньостійких були віднесені дуб звичайний, свидина біла, вільха сіра і чорна, верба козяча, липа дрібнолиста, бузок звичайний, крушина ламка, модрина сибірська та ясен звичайний (Armolaitis & Vaičys, 1986).

Бельгійська комісія з озеленення територій промислових підприємств, що здійснюють викиди хлористого водню, визначила рівень стійкості рослин до цього забруднювача. Згідно з її класифікацією, менш стійкими видами є береза повисла, ліщина звичайна, верба попеляста, дуб звичайний, клен польовий, ясен звичайний, туя східна, модрина європейська, тополі тремтяча й срібляста, троянда (Artamanov, 1986).

Усереднені показники газостійкості деревних рослин, що визначені на основі порівняльного аналізу стійкості за рівнем ураження листя та на підставі літературних джерел й узагальнення даних, подані у вигляді таблиць у провідних роботах з цього питання (Лькун, 1978; Nikolaevsky, 1979; Гетко, 1989; Sergeychik, 1994). У своїх дослідженнях ці автори пропонують списки видів, стійких і чутливих до впливу промислових викидів різного характеру. Встановлена також реакція рослин на конкретні забруднювачі у лабораторних умовах (Nikolaevsky, 1979; Desler, 1981; Гетко, 1989; Коршиков та ін., 1995). Однак результати, отримані у штучних умовах, не завжди можна безпосередньо екстраполювати на природні екосистеми, оскільки вплив факторів довкілля в польових умовах може суттєво змінювати реакцію організмів.

Варто підкреслити, що у згаданих класифікаціях чутливості деревних видів до атмосферного забруднення автори не деталізують рівень змін окремих морфометричних чи фізіолого-біохімічних показників рослин. Це особливо важливо враховувати під час розробки асортименту насаджень для територій промислових підприємств або при оцінці впливу окремих полютантів. При створенні цих класифікацій основним критерієм розподілу дерев за рівнем стійкості були саме візуальні спостереження.

У дослідженні В. П. Бессонової, О. Є. Іванченко (2013) запропоновано більш диференційований підхід: деревні рослини розподілено на п'ять груп за рівнем стійкості до комплексного забруднення викидами металургійного комбінату. При класифікації враховувалися такі показники, як скорочення річного приросту пагонів, зменшення площі листових пластинок, ступінь їх пошкодження, а також втрата декоративності в умовах різного рівня техногенного навантаження. Загалом було розглянуто 34 види деревних рослин.

Ю. Г. Приседський (2014) надав класифікацію витривалості деревних рослин до комплексного забруднення повітря сполуками нітрогену, фтору та сірки. За рівнем пошкодження листової поверхні види поділено на чотири групи: толерантні (стійкі) – пошкодження листової пластинки не перевищує 20%. До цієї групи належать *Gleditsia triacanthos*, *Quercus robur*, *Lonicera tatarica*, *Caragana arborescens* та інші. Середньопошкоджені – ураження в межах 21–50%. Прикладами є *Betula pendula*, *Acer campestre*, *Acer pseudoplatanus* тощо. Нестійкі – ступінь пошкодження перевищує 51%. До цієї категорії відносяться *Sorbus aucuparia*, *Populus bolleana* та інші. Рослини зі змінною стійкістю – рівень ураження залежить від складу й концентрації токсикантів у повітрі. Серед них *Betula pubescens*, *Salix alba*, *Aesculus hippocastanum*, *Sorbus intermedia* тощо.

Таким чином, розроблено різні шкали стійкості рослин до впливу промислових забруднювачів, які враховують як комплексний вплив полютантів конкретних підприємств, так і окремі забруднювачі (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> й SO<sub>2</sub> тощо). У цих шкалах кількість рівнів може варіюватися від двох (чутливі та стійкі) до чотирьох (нестійкі, малостійкі, відносно стійкі та

дуже стійкі). Однак результати різних досліджень часто не збігаються через відмінності у кліматичних умовах, специфіку забруднення та варіації у співвідношеннях токсикантів.

Вибір дерев і чагарників для санітарно-захисних зон промислових підприємств, які мають високу здатність до поглинання та нейтралізації газоподібних забруднювачів, є перспективним напрямом екологічних досліджень. Важливо дотримуватися принципу екологічної відповідності, тобто враховувати сумісність біологічних особливостей рослин з умовами їхнього зростання.

Отже, можна констатувати, що промислові та автомобільні викиди створюють серйозну загрозу довкіллю та здоров'ю людини, провокуючи як неспецифічні, так і специфічні хвороби, а їх мутагенна дія може вплинути на життєздатність і психічний стан майбутніх поколінь. Визначення рівня екологічної небезпеки та її масштабу є основою для розробки стратегії захисту довкілля. Оскільки промислові фільтри не здатні повністю усунути забруднення пилом і токсичними газами, доцільно для доочищення атмосферного повітря застосовувати біологічні методи. Зелені насадження відіграють ключову роль у підтримці екологічної рівноваги, однак їх створенню у СЗЗ промислових підприємств приділяється недостатньо уваги. Ефективність санітарно-гігієнічної функції деревних насаджень залежить від їхньої конструкції, видової композиції, рівня толерантності рослин і здатності поглинати полютанти. Попри значну кількість досліджень у цій сфері, питання оптимізації захисних зелених насаджень залишається відкритим.

Багато експериментів щодо акумуляції газоподібних контамінантів здійснювалися у лабораторних умовах шляхом газування рослин у спеціальних камерах. Проте ці результати не завжди можуть бути застосовані до реальних умов, оскільки в промислових районах повітря містить складну суміш газів, концентрація яких змінюється як протягом доби, так і протягом вегетації рослин. Реакція рослин на комплекс забруднювачів залежить не лише від складу токсикантів, а й від кліматичних і погодних умов, походження конкретного виду. Таким чином, результати, отримані в різних регіонах або на підприємствах одного профілю, але з відмінною технологією виробництва, не завжди можна безпосередньо переносити на інші екосистеми.

Перспективним напрямом досліджень є вивчення екологічних та біологічних особливостей зелених насаджень у СЗЗ промислових підприємств, що дозволить покращити їхню структуру, видову композицію та санітарно-гігієнічні функції. Отримані результати можуть стати підґрунтям для модернізації таких насаджень у промислових містах, зокрема в Запоріжжі.

## РОЗДІЛ 2

### ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН У РЕГІОНІ ДОСЛІДЖЕНЬ. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Екологічна характеристика м. Запоріжжя

Дослідження виконувалися на території санітарно-захисних зелених насаджень промислових підприємств м. Запоріжжя, а також у лабораторних умовах.

Місто Запоріжжя знаходиться в південно-східній частині України, на межі Придніпровської та Причорноморської низовин, у нижній течії річки Дніпро. У цьому регіоні русло Дніпра розгалужується на два рукави, утворюючи острів Хортиця.

Географічне розташування міста Запоріжжя, а також специфіка атмосферної циркуляції, характерні для цього регіону, зумовлюють недостатнє зволоження території. Клімат району належить до помірного поясу, де відчувається вплив як Атлантичного океану та континенту, так і південних широт. Основний напрямок переміщення циклонів – із заходу та південного заходу, що сприяє перенесенню теплих і вологих повітряних мас. Водночас антициклони, що надходять із північного заходу, приносять холодні повітряні потоки. Домінуючою формою атмосферної циркуляції для цієї місцевості є циклонічна діяльність помірних широт. Найбільш активний рух циклонів спостерігається з листопада по травень (Даценко та ін., 2014; Даценко та ін., 2014а; Панченко та ін., 2019).

У перехідні сезони, а також у зимовий період ключову роль у формуванні погодних умов відіграють циркуляційні фактори, тоді як у теплу пору року домінує радіаційний вплив, який значною мірою визначає погодні процеси в регіоні (Стецишин, Гришко, 2011).

Зональні ґрунти досліджуваної території представлені переважно чорноземами звичайними, сформованими на лесових породах, а також чорноземами південними, що утворилися на лесах. За механічним складом ґрунти здебільшого важкосуглинисті. Реакція ґрунтового розчину наближається до нейтральної (Даценко, Непша, 2004; Іванова, Непша, 2018).

За рівнем промислового розвитку Запоріжжя входить до п'ятірки найбільших індустріальних центрів України (Тунік, 2007). Основним джерелом забруднення повітря в місті є підприємства металургійного комплексу.

Таблиця 2.1

Концентрація компонентів забруднення у повітрі м. Запоріжжя (2021 р.)

Речовини, що забруднюють повітря	Середньорічна концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Середньодобові ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Максимвльні разові ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Максимальні концентрації, мг/м <sup>3</sup>
Пил	0,1	0,15	0,5	1,4
Діоксид сірки	0,008	0,05	0,50	0,02
Діоксид нітрогену	0,09	0,04	0,20	0,38
Оксид нітрогену	0,06	0,06	0,40	0,14
Оксид карбону	1,0	3,0	5,0	6,0
Формальдегід	0,004	0,003	0,035	0,016
Фенол	0,006	0,003	0,01	0,015
Фтористий водень	0,0	0,005	0,02	0,002
Хлористий водень	0,03	0,20	0,20	0,13
Сірководень	0,002	–	0,008	0,008

До складу промислових викидів входять хлорвмісні сполуки, хлорофлуорокарбони, діоксид сірки, оксиди нітрогену, метан, феноли, діоксид карбону, пил, важкі метали та інші забруднювачі (Баскакова та ін., 2017; Коржов, 2006; Екологічний паспорт Запорізької області, 2021).

За статистичними даними, сумарний обсяг викидів від стаціонарних і пересувних джерел у Запорізькій області становить у середньому 283 тис. тонн на рік (Екологічний паспорт Запорізької області, 2021). У структурі забруднюючих речовин найбільшу частку займають оксид вуглецю (38,71 %), діоксид сірки (33,35 %), оксиди нітрогену (16,24 %) та пил (8,18 %). Високий рівень забруднення повітря спостерігається у житлових масивах, що розташовані поблизу промислових зон, а також на територіях із інтенсивним транспортним рухом (Suleimanov, 2015). Вміст основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста Запоріжжя за 2021 рік наведено в таблиці 2.1 («Екологічний паспорт Запорізької області, 2021»).

Основним джерелом забруднення атмосферного повітря в м. Запоріжжя є промислові підприємства, на частку яких припадає від 60 до 70 % загального обсягу викидів забруднюючих речовин. Усереднені концентрації основних забруднювачів у повітрі міста за жовтень 2021 року представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Середні показники вмісту поллютантів у повітрі за даними постів спостережень жовтні, 2021 р.

Поллютант	Середньодобові ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Оксид нітрогену	0,8
Діоксид нітрогену	2,5
Пил	1,3
Діоксид сірки	0,2
Формальдегід	1,3
Хлористий водень	0,3
Феноли	2,3

Дослідження проводилися на території зелених насаджень санітарно-захисних зон (СЗЗ) одинадцяти промислових підприємств м. Запоріжжя. Розглянуті підприємства належать до різних класів шкідливості.

До першого класу шкідливості відносяться: ПАТ «Запоріжжкокс» (Кокс), ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (ЗалК), ПАТ «Електрометалургійний завод Дніпроспецсталь» (Дніпроспецсталь), ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь» (Запоріжсталь), ПАТ «Запорізький завод феросплавів» (ЗФ), Запорізький титано-магнієвий комбінат (ЗТМК), До другого класу віднесено ПАТ «Запорізький абразивний комбінат» (ЗАБРК). До третього класу – Закрите акціонерне товариство «Вогнетрив-СОЮЗ» (Вогнетрив). До четвертого класу входять: ПАТ «Запоріжтрансформатор» (ЗТЗ), ПАТ «Запоріжсклофлюс» (Склофлюс), ПАТ «Український графіт» (Укрграфіт).

Більшість обстежених заводів знаходяться в Заводському районі, за винятком Абразивного комбінату та Трансформаторного підприємства, які розміщені у Шевченківському та у Дніпровському районах міста відповідно.

## 2.2. Опис дослідних площ

Дослідження виконувалися в зелених масивах санітарно-захисних зон одинадцяти промислових об'єктів. Їх короткі характеристики надані нижче («Екологічний паспорт Запорізької області, 2021»).

Запорізький титано-магнієвий комбінат (ЗТМК) – підприємство кольорової металургії, яке є першопрохідцем у вітчизняному виробництві магнію. Його продукція включає титан, магній, фасонне титанове литво, напівпровідникові матеріали, пігментний діоксид титану, калійні добрива, товари господарського призначення. Основні забруднювачі: оксид карбону (560,978 т/рік), сполуки сірки (101,635 т/рік), оксиди нітрогену (54,673 т/рік), аміак, оксиди хрому (125,996 т/рік), хлороводень (91,234 т/рік); а також манган, піридин, бензол, феноли, нафталін тощо.

Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат (ЗАЛК) – єдине підприємство в Україні, що виробляє первинний алюміній. Основна продукція: алюмінієві зливки, катанка, глинозем та алюмокремнієві сплави. Основні викиди: сполуки нітрогену (13,041 т/рік), сірчані сполуки (67,222 т/рік), оксид карбону (262,623 т/рік), оксид алюмінію (182,165 т/рік), фториди (72,225 т/рік), а також пари ртуті, поліметалічний пил, смолисті речовини, вуглеводні, бенз(а)пірен.

Запорізький абразивний комбінат (ЗАБРК) – підприємство, що спеціалізується на виробництві абразивних матеріалів, інструментів, шліфувальної шкурки, карбіду бору, порошків тугоплавких сполук, агломерату бокситного. Основні забруднювачі: сірководень, сірчаний ангідрид (159,988 т/рік), оксиди нітрогену (135,910 т/рік), оксид карбону (1355,623 т/рік), стійкі органічні екскалати (5,711 т/рік).

ПАТ «Запоріжжкокс» – провідне підприємство за рівнем токсичності газових і твердих викидів. Основні забруднювачі: сірчані сполуки (124,369 т/рік), оксид нітрогену (1070,077 т/рік), оксид карбону (1380,114 т/рік), аміак (30,041 т/рік), фенол (1,903 т/рік), а також ціаністий водень, бензол, сажистий вуглець, нафталін.

ПАТ «Запоріжсклофлюс» – найбільший виробник силікату натрію в Україні. Основні викиди: оксид карбону (146,616 т/рік), сірчані сполуки (38,653 т/рік), оксиди нітрогену (40,835 т/рік), фториди (0,982 т/рік).

ПАТ «Вогнетрив» – підприємство, що виробляє алюмосилікатні вироби, грудковий шамот, магнезійні та карбід-кремнієві матеріали. Основні викиди: сірчані сполуки (149,220 т/рік), оксид карбону (133,204 т/рік), оксиди нітрогену (91,698 т/рік).

ПАТ «Дніпроспецсталь» – завод чорної металургії, що поставляє сортовий прокат, зливки, поковки з легованої сталі. Основні забруднювачі: метали та їхні сполуки (58,641 т/рік), сірчані сполуки (98,723 т/рік), оксиди нітрогену (410,947 т/рік), оксид карбону (1096,889 т/рік).

ПАТ «Запоріжсталь» – один із найбільших металургійних комбінатів України. Основна продукція: гарячекатаний і холоднокатаний лист з вуглецевої, легованої та низьколегованої сталі, чавун, холодногнуті профілі, лакована чорна жерсть. Промислові емісії: пил, сірчані сполуки (4993,004 т/рік), оксид карбону (60834,704 т/рік), оксиди нітрогену (5658,323 т/рік), а також аерозолі хрому й мангану, нафталін, бензол, піридин, фенол.

ПАТ «Запорізький завод феросплавів» – ключовий виробник феросиліцію, феромангану, металевого мангану в Європі. Основні викиди: оксиди нітрогену (840,746 т/рік), сірчані сполуки (1178,706 т/рік), оксид карбону (19278,422 т/рік), манган та його сполуки (66,432 т/рік), хлориди, феноли.

ПАТ «Український графіт» – головний постачальник вуглеграфітової продукції в Україні. Основні забруднювачі: оксиди нітрогену (9,227 т/рік), сірчані сполуки (162,984 т/рік), оксид карбону (1425,118 т/рік).

Запорізький трансформаторний завод – відоме у світі машинобудівне підприємство, єдине в Україні виробляє силові трансформатори. Пріоритетні забруднювачі атмосферного повітря: аерозолі сполук важких і кольорових металів, у тому числі дуже токсичні пари ртуті з домішками парів органічних розчинників.

Контрольні рослини зростали на території Зеленого господарства м. Запоріжжя, що знаходиться на відстані 25 км від промислових зон, де концентрація забруднювачів не перевищує показники ГДК.

### 2.3. Методи і засоби проведення досліджень

Дослідження деревостанів захисних насаджень заводів проводили маршрутним методом, при цьому в кожному насадженні враховувалися всі дерева. Встановлення видів деревних рослин здійснювали за визначником (Барбарич та ін., 1965) з використанням додаткових довідкових матеріалів (Кохно та ін., 2002). Таксаційні характеристики деревостанів визначали за методикою М. М. Грома (2007). Діаметр стовбура вимірювали мірною вилкою на висоті 1,3 м від рівня ґрунту, а висоту дерев — за допомогою висотоміра «Suunto» РМ-5/1520РС. Ступінь ушкодження листкових пластинок промисловими забруднювачами оцінювали за методикою В. С. Ніколаєвського (Бессонова, 2006).

Життєвий стан деревних рослин визначали згідно з класифікацією Х. Г. Якубова (Бессонова, 2019). Розрахунок загального життєвого стану деревостану здійснювався за формулою В. О. Алексєєва (Бессонова, 2006).

$$L = \frac{(100 \cdot n_1 + 70 \cdot n_2 + 40 \cdot n_3 + 5 \cdot n_4)}{N} \quad (1),$$

де: L – життєвий стан деревостану (умовні бали);  $n_1$  – чисельність здорових дерев на дослідній ділянці (шт.);  $n_2$  – кількість ослаблених дерев на ділянці (шт.);  $n_3$  – кількість сильно ослаблених дерев на ділянці (шт.);  $n_4$  – кількість відмираючих дерев на ділянці (шт.); 100, 70, 40, 5 – коефіцієнти, що виражають життєвий стан здорових, ослаблених, сильно ослаблених і відмираючих дерев; N – загальна кількість дерев на моніторинговій ділянці зі сухостоєм (шт.).

«Здоровий» деревостан оцінюється у межах 80–100 умовних балів (у.б.); «ослаблений» – 50–80 у.б.; «сильно ослаблений» – 20–50 у.б.; «повністю зруйнований» – нижче 20 у.б.

Коефіцієнт озеленення санітарно-захисних зон визначали за формулою:

КО = Площа зелених насаджень у СЗЗ / Загальна площа СЗЗ (Наказ Міністерства будівництва..., 2006 року).

Ступінь подібності видового складу дерев у санітарно-захисних зонах промислових підприємств оцінювали за коефіцієнтами П. Жаккара (Каміура, Секіне, 2023). та Т. Серенсена (Magurran, 1988, 2004):

коефіцієнт Жаккара:

$$K_{ж} = C \cdot 100 / (A + B) - C \quad (2),$$

коефіцієнт Серенсена:

$$K_c = 2C / A + B \quad (3),$$

де: A – кількість видів на першій ділянці; B – кількість видів на другій ділянці; C – кількість спільних видів.

Коефіцієнт видового багатства Маргалєфа ( $d_{mg}$ ) визначали за формулою (Margalef, 1958):

$$d_{mg} = (s-1) / \ln N \quad (4),$$

де: s – кількість видів; N – загальна кількість деревних рослин у насадженні.

Індекс біорізноманіття Шеннона (H) розраховували за формулою (Shannon, Weaver, 1963):

$$H = - \sum (n / N) \log (n / N) \quad (5),$$

де N – загальна кількість видів в біоценозі; n – кількість дерев даного виду. Індекс домінування Бергера-Паркера (d) визначали за формулою (Berger, Parker, 1970).

$$d = N_{\max} / N \quad (6),$$

де  $N_{\max}$  – чисельність виду, що зустрічається найбільш часто, а  $N$  – сумарна чисельність особин всіх аналізованих видів. Індекс домінування Сімпсона ( $C$ ) обчислювали за формулою (Simpson, 1949):

$$C = \sum (n_i/N)^2 \quad (7),$$

де  $n_i$  – чисельність особин кожного з видів, а  $N$  — сумарна кількість особин всіх досліджуваних видів.

Розрахунок зазначених індексів здійснювали з урахуванням усіх деревних рослин, що зростають на кожній дослідній ділянці (Hejda et al., 2009; Jactel, Brockerhoff, 2007).

Динамічні зміни в структурі рослинності досліджуваних СЗЗ промислових підприємств оцінювали із застосуванням методів дистанційного зондування Землі. Для цього було відібрано серію супутникових знімків *Landsat* за період 1990–2020 рр.

Відбір супутникових зображень здійснювався за такими критеріями: мінімальна хмарність, відсутність димових викидів, що могли б вплинути на точність оцінки стану рослинності. Для забезпечення порівнянності результатів аналізу всі обрані знімки відображали стан рослинності наприкінці серпня відповідних років (1990–2020).

З метою встановлення зв'язку між показниками вегетаційного індексу та продуктивністю рослинності різних захисних зон порівнювали величини отриманих індексів, розрахованих на основі супутникових знімків, із даними маршрутних досліджень.

Оскільки в дослідженні використовувалися супутникові знімки середнього просторового розрізнення, площа однієї сцени значно перевищувала територію санітарно-захисних зон. Тому для подальшого аналізу всі знімки були обрізані відповідно до меж досліджуваних територій за допомогою полігональних масок.

Для оцінки життєвого стану рослинності санітарно-захисних зон промислових об'єктів міста Запоріжжя обчислювали нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (8),$$

де NIR – відбиття в ближній інфрачервоній області спектру, RED – відбиття в червоній області спектру. Завдяки особливостям спектрального відображення у ближньому інфрачервоному (NIR) та червоному (RED) діапазонах, природні об'єкти мають характерні значення NDVI. Це дозволяє ефективно використовувати індекс для ідентифікації рослинного покриву та оцінки його стану (Бардиш, Бурштинська, 2014).

Встановлення типу рослинності виконували згідно з діапазоном значень NDVI, визначеним В. І. Ляльком та співавторами (2008): значення 0,4–0,7 відповідають листяним деревостанам, а 0,2–0,3 — трав'яній рослинності. Стан рослинності оцінювався відповідно до шкали, що була запропонована І. Г. Семеновою (2014) (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Стандарти для визначення стану рослинності за показниками NDVI (Семенова, 2014)

Значення NDVI	Стан рослинності
0,71–1,00	дуже добрий
0,56–0,70	добрий
0,4–0,55	задовільний
0,3–0,40	поганий
0,2–0,30	пригнічений

У результаті дослідження була створена серія тематичних карт на основі нормалізованого відносного індексу рослинності (NDVI) за 1990, 2000, 2010 та 2020 роки. Для кожної часової точки на основі частотних гістограм розподілу значень NDVI було визначено площі зелених насаджень СЗЗ промислових підприємств, а також проаналізовано частку ділянок (у %) із різною щільністю рослинного покриву на кожній дослідній території.

Дію промислових емісій на рослинні організми оцінювали за змінами морфометричних показників. Для дослідження рівня флуктуючої асиметрії листкової пластинки берези повислої (*Betula pendula*) збір матеріалу здійснювали у період після завершення росту асиміляційних органів – на початку серпня протягом. Листки для аналізу флуктуючої асиметрії відбирали в зелених масивах санітарних зон та контрольної території. Відбір проводили з південно-східного боку крони дерев на висоті 1,5 м від поверхні ґрунту за умови однакового рівня освітленості. Для дослідження використовували другий листок від основи пагона поточного року. З кожної ділянки було відібрано по 40 шт. листків.

Вимірювання морфометричних параметрів проводили для п'яти показників, з яких чотири метричних оцінювали у міліметрах (мм), а один (величина кута) – у градусах. Виміри виконували для лівої та правої половини листкової пластинки (рис. 2.2): 1 – ширина половини листка; 2 – довжина жилки листка другого порядку; 3 – відстань між основою другої й першої жилок; 4 – відстань між кінцями другої й першої жилок; 5 – кут між другою від основи листка жилкою та головною жилкою.



Рис. 2.1 – Параметри для розрахунків асиметрії листкової пластинки

Для розрахунків інтегрального значення флуктуючої асиметрії використовували наступні формули:

$$Y = |L-R|/(L+R); \quad 2. \quad Z = (Y_1+Y_2+\dots+Y_n)/N; \quad 3. \quad X = \sum Z/n = (Z_1+Z_2+\dots+Z_n)/n \quad (9),$$

де Y – значення, що розраховане для кожного вимірюваного показника, як різниця між правою та лівою частинами листкової пластинки, Z – відносно середня різниця між параметрами для кожного листка; N – кількість параметрів; X – інтегральний показник асиметрії, n – кількість листків (40 шт.).

Таблиця 2.5

Шкала оцінки відхилень стану організму від умовної норми за величиною інтегрального показника стабільності розвитку

Бал	Величина показника стабільності розвитку	Значення стабільності розвитку
I	< 0,040	стабільність умовної норми
II	0,040–0,044	незначне відхилення від норми
III	0,045–0,049	середній рівень відхилення від норми
IV	0,050–0,054	значне відхилення від норми
V	> 0,054	критичний стан

Для комплексної оцінки відхилень морфологічних показників деревних рослин від умовної норми застосовували інтегральний показник, розрахований за методикою В. М. Захарова та ін. (Скляренко, 2019) (табл. 2.5).

Для оцінки рівня накопичення газоподібних забруднювачів листками відбирали види дерев, що були присутні у всіх або переважній більшості СЗЗ промислових підприємств і займали значну частку в загальній структурі насаджень. До таких належали: абрикос звичайний (*Armeniaca vulgaris* Lam.), айлант найвищий (*Ailanthus altissima* Mill.), береза повисла (*Betula pendula* Roth.), верба біла (*Salix alba* L.), в'яз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), в'яз низький (*Ulmus pumila* L.), в'яз граболистий (*Ulmus carpinifolia* Rupp.), гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.), горіх грецький (*Juglans regia* L.), катальпа бігонієвидна (*Catalpa bignonioides* Walter), клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), маслинка вузьколиста (*Elaeagnus angustifolia* L.), платан східний (*Platanus orientalis* Willd.), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), тополя китайська (*Populus simonii* Carr.), тополя чорна (*Populus nigra* L.), тополя біла (*Populus alba* L.), шовковиця біла (*Morus alba* L.), яблуня лісова (*Malus sylvestris* (L.) Mill.), ясен ланцетолистий (*Fraxinus lanceolata* Borkh.). У зелених насаджених досліджуваних СЗЗ було відібрано по 5 модельних дерев кожного виду, що належали до однієї вікової категорії. Листкові зразки для аналізу рівня накопичення полутантів відбирали на висоті 2 м від поверхні ґрунту з південно-східного боку крони. Відбір здійснювали за однакових умов освітлення з 10 пагонів кожного дерева. Для аналізу використовували другий і третій листки від основи однорічних пагонів.

Концентрацію хлору у листі дослідних рослин встановлювали аргентометричним методом, описаним Х. Н. Починком (Бессонова, 2001). Аналіз вмісту фенольних сполук у водному екстракті фітомаси здійснювали методом (Swain, Hillis, 1959), використовуючи реактив Фоліна-Чокальтеу, що містить солі фосфорномолібденової та фосфорновольфрамкової кислот. Ці сполуки при взаємодії з фенолами у лужному середовищі відновлюються, утворюючи сині комплекси. Їх оптичну густину вимірювали на спектрофотометрі СФ-2000 при довжині хвилі 765 нм. Калібрувальний графік будували з використанням розчину галової кислоти.

Концентрацію фтору у зразках визначали потенціометричним методом за допомогою фтор-селективного електрода (Vorjigin et al., 2009). Застосування цього методу дає змогу виконувати аналіз у присутності інших іонів, що ускладнюють дослідження, і дозволяє спростити процедуру шляхом переведення фтористих сполук у розчинний стан. Для побудови калібрувального графіку використовували стандартний розчин фторид-іону. Використовували фторид натрію, який попередньо прожарювали у платиновому тиглі при температурі 400 °С протягом 30 хв.

Концентрацію сірки у листках визначали спектрофотометричним методом на приладі СФ-2000 при довжині хвилі 460 нм (Мочалова, 1975). Вміст відновленого глутатіону оцінювали титрометричним методом.

Сумарну масу листового покриву модельного дерева визначали за формулою, запропонованою В. Г. Нестеровим і Б. М. Бобилевим (Криворучко, 2019)

$$P = \frac{\pi}{4} \rho \left( l \sum D_j^2 + \frac{1}{3} l_1 D_{j+1}^2 \right) \quad (10),$$

де  $P$  – маса листків дерева, кг;  $\rho$  – маса листків в 1 м<sup>3</sup> крони, кг/ м<sup>3</sup>;  $D_j$  – діаметри крони, м;  $l$  – відстань між поперечниками, м;  $l_1$  – довжина вершинки, м.

Розрахунок середньої кількості забруднювачів (сірка, феноли, фтор) здійснювали з урахуванням сумарної маси листків деревних рослин, що входять до складу зелених насаджень санітарно-захисних зон (СЗЗ).

Г. М. Ількун (1978) запропонував збалансований метод оцінки здатності деревних насаджень стосовно доочищення повітря від промислових поллютантів, який враховує не лише накопичення поллютантів у листках, а й їхній потенційний перехід в інші органи рослини, а також вимивання з листкової поверхні під впливом атмосферних опадів (з урахуванням динаміки протягом вегетаційного періоду). Такий підхід дозволяє визначити фільтраційну функцію насаджень, а не лише кінцевий рівень акумуляції забруднювачів у листовій фітомасі. В процесі розрахунків ми використовували ці підходи.

Поглинання сірки деревними насадженнями оцінювали за формулою (Sergeychik, 1997):

$$P = K * Y \frac{T_B}{T_Y} \quad (11),$$

де  $P$  – поглинальна здатність 1 га насаджень за вегетацію, кг / га;  $Y$  – суха фітомаса листків та хвої, кг;  $K$  – коефіцієнт фізіологічно допустимого накопичення сірки (листяні породи – 0,002, хвойні – 0,0001);  $T_B$  – тривалість вегетації;  $T_Y$  – час видалення сірки з листків та хвої (10 днів).

Для раціонального планування доповнення деревних насаджень у СЗЗ підприємств було створено багатокритеріальну оптимізаційну модель під назвою: «Компромісні плани доповнення деревних насаджень СЗЗ заводів з урахуванням потенційного накопичення токсикантів у листках».

В основі моделі лежить ідея збереження біорізноманіття, яке представлено  $N$  видами дерев. Однак, при конкретних розрахунках для певних промислових підприємств доцільно відбирати найефективніші та найбільш стійкі види, залежно від характеру забруднення, що визначає конкретне значення  $N$ . Кількість нових дерев  $i$ -го виду, які необхідно висадити ( $i = 1 \dots N$ ), позначали через  $x_i$ . Згідно з умовами, всі невідомі у моделі приймають лише невід'ємні цілі значення ( $x_i \geq 0$ ).

Структуру деревних насаджень у лісосмугах описують такі параметри:

$y_i^1$  – кількість молодих дерев  $i$ -го виду,  $y_i^2$  – середньо вікові дерева  $i$ -го виду,  $y_i^3$  – зрілі дерева  $i$ -го виду,  $i=1 \dots N$ .

Параметри  $A_1$  та  $A_2$  визначають необхідність доповнення насаджень, з урахуванням: стану наявної дендрофлори й площі відкритих ділянок у СЗЗ, які не мають деревного покриву. Звідси одержуємо обмеження:

$$\sum_{i=1}^N x_i \geq A_1, \quad (12),$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \leq A_2. \quad (13),$$

Крім того, необхідно забезпечити мінімальний рівень видового різноманіття (не менше  $B$  видів дерев):

$$\sum_{i=1}^N \text{sign}(x_i) \geq B. \quad (14),$$

Позначимо:  $a_i$  – базове накопичення фтору (г);  $b_i$  – базове накопичення фенолів (г);  $c_i$  – базове накопичення сірки (г). Ці параметри залежать від концентрації забруднювачів у повітрі навколо конкретного підприємства та від фітомаси листків (кг), що продукується одним деревом  $i$ -го виду,  $i=1 \dots N$ .

Утворення листової фітомаси у насадженнях СЗЗ визначали з урахуванням вікової категорії: для зрілих дерев  $k_3 = 6$  кг, для дерев середнього віку  $k_2 = 10$  кг, для молодих дерев  $k_1 = 3$  кг.

Сумарне поглинання поллютантів листками дерев у захисних лісосмугах промислових підприємств визначали за наступними рівняннями:

$$\text{для фтору: } F_1 = \sum_{i=1}^N (x_i \cdot k_1 + \sum_{j=1}^3 y_i^j \cdot k_j) \cdot a_i, \quad (15),$$

$$\text{для фенолів: } F_2 = \sum_{i=1}^N (x_i \cdot k_1 + \sum_{j=1}^3 y_i^j \cdot k_j) \cdot b_i, \quad (16),$$

$$\text{для сірки: } F_3 = \sum_{i=1}^N (x_i \cdot k_1 + \sum_{j=1}^3 y_i^j \cdot k_j) \cdot c_i. \quad (17).$$

Для розрахунків

Почерговий вибір у моделі (12)–(14) функцій (15)–(17) як критеріїв максимізації дозволяє визначити найефективніший варіант доповнення насаджень у СЗЗ. Цей підхід дозволяє: знайти оптимальне рішення для збільшення поглинальної здатності дерев щодо фенолів, сірки і фтору розподілити нові насадження на відкриті ділянки СЗЗ та замінити сухостій.

Позначали в створених планах  $F_j^{min}$  та  $F_j^{max}$  – найбільші та найменші обсяги загальної акумуляції визначаємих поллютантів. Для розробки компромісних планів досадження деревних рослин у лісосмугах СЗЗ промислових підприємств м. Запоріжжя за акумуляцією кожного з аналізуємих забруднювачів отримали значення їх поглинання в межах  $[F_j^{min}, F_j^{max}]$ . Такими розрахунками отримуємо альтернативні сценарії кількісного складу зелених насаджень СЗЗ промислових підприємств залежно від рівня забруднення.

Обробку результатів здійснювали за допомогою програмного забезпечення: Microsoft Excel 2010, Statistica 6.0. Аналіз даних виконувався із застосуванням однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) для оцінки значущості впливу факторів.

## РОЗДІЛ 3

### ВИДОВИЙ СКЛАД ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ САНІТАРНО-ЗАХИСНИХ ЗОН ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ М. ЗАПОРІЖЖЯ ТА ЇХ СТРУКТУРА

#### 3.1. Таксономічний аналіз та структура захисних насаджень

Сучасна система деревних насаджень санітарно-захисних зон м. Запоріжжя сформувалася переважно в післявоєнний період, подібно до інших міст України. Відсутність системного підходу до відбору асортименту деревних порід, недостатня вивченість їх стійкості до промислових забруднювачів, а також вплив вікових змін, ураження шкідниками та хворобами призвели до поступового ослаблення фізіолого-біохімічних процесів у деревних рослин. Це, своєю чергою, спричинило зниження життєздатності насаджень, загибель частини дерев та загальне зрідження лісосмуг.

Для оцінки поточного стану зелених захисних насаджень промислових підприємств, визначення рівня техногенного впливу, прогнозування можливих змін деревостанів та наукового обґрунтування заходів щодо їх збереження було проведено аналіз видового складу насаджень.

Нижче наведено результати дослідження лісосмуг санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя, які належать до різних класів шкідливості.

**Підприємство «Склофлюс».** Клас шкідливості: IV. Відстань до житлової зони складає 300 м, що відповідає стандартним санітарним вимогам. Захисні деревні насадження підприємства «Склофлюс» розміщені з південного та західного боку – в напрямку найближчих населених районів. Загальна площа СЗЗ підприємства становить 10 га, з яких 6,5 га займають зелені насадження. Ширина насаджень – 60 м, довжина – 1,1 км. Щільність дерев – 126 шт./га.

Згідно з вимогами до СЗЗ для підприємств IV класу шкідливості, площа зелених насаджень має становити не менше 60 % загальної території захисної зони. На підприємстві «Склофлюс» цей показник становить близько 65 %, що відповідає нормативним вимогам. Однак щільність насаджень є низькою – 126 дерев на гектар.

Конструкція зеленої смуги СЗЗ даного заводу відповідає принципу фільтруючих насаджень, які згідно зі стандартами мають бути основним типом у санітарно-захисних зонах. Такі посадки не лише знижують рівень забруднення повітря в межах СЗЗ, а й можуть бути інтегровані в загальну структуру території підприємств, включаючи вхідні зони, ділянки, прилеглі до пішохідних маршрутів, та місця короткочасного відпочинку персоналу

Фільтруюча схема конструкції зелених насаджень передбачає чергування закритих і відкритих просторів, що сприяє рівномірному провітрюванню території. При цьому коридори повітрообміну не спрямовані в бік житлових районів, що відповідає екологічним вимогам до промислових СЗЗ (Керівництво з проектування санітарно-захисних зон промислових підприємств, 1984).

Загальна кількість дерев у насадженнях санітарно-захисної зони (СЗЗ) заводу «Склофлюс» становить 822 екземпляри. Деревя висаджені рядами, при цьому більшість з них мають приблизно однаковий вік – понад 50 років. На значній частині зелених насаджень (близько 90 % площі) відсутні підріст та самосів деревних порід. Виняток становить південна частина насаджень, що межує з дорожнім кільцем. Тут спостерігається щільне зростання

самосіву *Ailanthus altissima*, який формує густі хащі (рис. 3.1). Середня висота підросту в цій зоні досягає 6 м.

Таблиця 3.1

Видовий склад дендрофлори зелених масивів С33 заводу «Склофлюс»

Родина	Назва рослин	Кількість	Батьківщина
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	25/3,04	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Populus simonii</i> Carr.	1/0,12	Північний Китай
	<i>Populus alba</i> L.	2/0,24	Сибір, Китай, Азія
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus carpinifolia</i> Rupp.	30/3,65	Аб.
	<i>Ulmus pumila</i> L.	564/68,61	Туркестан, Казахстан, Монголія
	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	10/1,22	Аб.
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	2/0,24	Середня, південна Європа
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Pyrus communis</i> L.	1/0,12	Аб.
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	149/18,13	Північний Китай
<i>Thymelaceae</i> Adans.	<i>Daphne mezereum</i> L.	27/3,28	Аб.
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i> L.	11/1,34	Західний Китай
Всього		822	–

Примітка: чисельник – число деревних рослин, шт.; знаменник – % від кількості дерев у насадженні; Аб. – абориген

Зелені насадження С33 заводу «Склофлюс» представлені 11 видами деревних рослин, які належать до 8 родин (табл. 3.1). Усі ці види входять до складу відділу Покритонасінні (*Magnoliophyta*), тоді як представники Голонасінних (*Pinophyta*) в насадженнях відсутні. Єдиний чагарниковий вид – *Daphne mezereum* – сформував півколоподібну групу в південній частині зеленої смуги; його частка в загальній структурі деревної рослинності становить 3,28 %.

Серед досліджених родин *Salicaceae* включає два види, *Ulmaceae* – три, інші родини представлені одним видом. У складі зелених масивів нараховується лише по одному екземпляру *Pyrus communis* та *Populus simonii*, а також по два – *Populus alba* та *Acer pseudoplatanus*.

Найпоширенішим видом дерев у складі насаджень є *Ulmus pumila*, частка якого становить 68,61 % від загальної кількості деревних рослин у С33. Друге місце за чисельністю займає *Ailanthus altissima* з часткою 18,13 %. У меншій кількості зростають *Daphne mezereum* (3,28 %), *Ulmus carpinifolia* (3,65 %) та *Robinia pseudoacacia* (3,04 %).

На території С33 майже не зустрічаються красивоквітучі деревні види. Лише *Robinia pseudoacacia* (25 екземплярів) та *Pyrus communis* (1 екземпляр) можна умовно віднести до цієї групи.

За співвідношенням місцевих та інтродукованих видів у складі насаджень переважають останні. Частка аборигенних деревних рослин становить 8,16 %, тоді як інтродуковані види – 91,73 %. Найчисельнішим серед аборигенних є *Daphne mezereum*, а серед інтродуцентів домінує *Ulmus pumila* (табл. 3.1). Усього в зелених насадженнях нараховується 782 екземпляри інтродукованих рослин і лише 40 – автохтонних.

Запорізька область розташована у південно-східній частині України. Клімат регіону характеризується середньорічною кількістю опадів близько 443 мм, причому в період активної вегетації середньомісячна кількість опадів варіює від 25 до 34 мм. Зважаючи на це, важливим фактором є підбір рослин для санітарно-захисних лісосмуг, здатних витримувати тривалі періоди посухи.



Густий підріст у лісосмузі С33 підприємства «Склофлюс»



Зелений масив С33 «Коксохім» заводу

Рис .3.1 – Зелені масиви С33 заводів «Склофлюс» і «Коксохім»

За рівнем потреби у волозі переважна більшість дерев у СЗЗ підприємства «Склофлюс» належить до ксерофітів, частка яких становить 91,12 %. До цієї групи належать *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila* та *Morus alba*. Група ксеромезофітів, що включає лише *Pyrus communis*, становить 0,12 % від загальної кількості деревних рослин у насадженнях, тоді як мезофіти (представлені *Daphne mezereum*) – 3,28 %.

До мезоксерофітів, які поєднують ознаки посухостійкості та помірної вологолюбності, належать *Ulmus carpinifolia*, *Acer pseudoplatanus* та *Populus simonii*, загальна частка яких становить 4,02 %. Група мезогігрофітів, представлена такими видами, як *Populus alba* та *Ulmus laevis*, включає 1,46 % загальної кількості дерев у СЗЗ. Водночас жоден із досліджених видів деревних рослин не віднесено до групи гігрофітів (рис. 3.2).

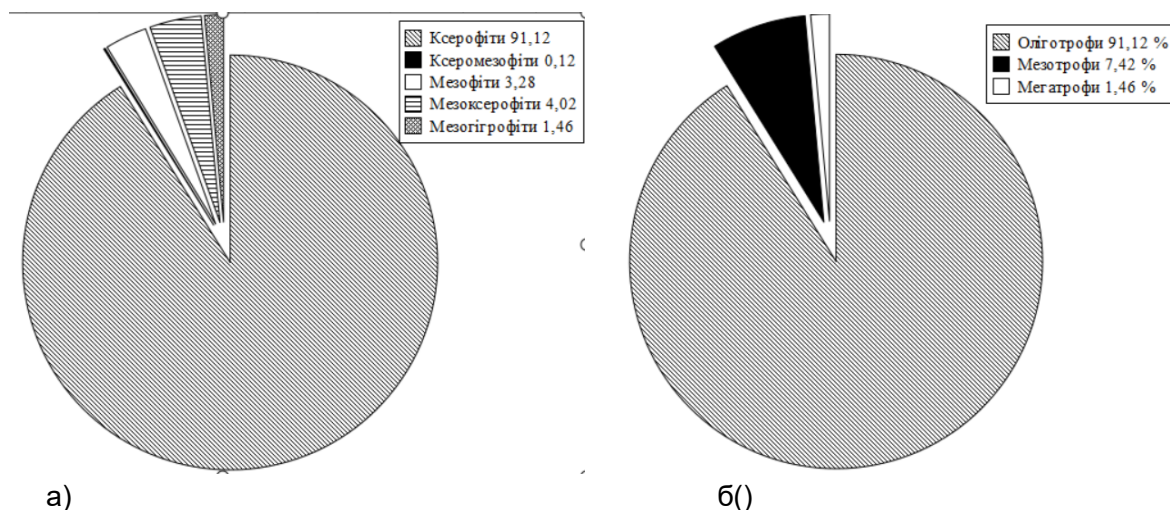


Рис. 3.2 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до волози (а) та живильності ґрунту (б), % у СЗЗ заводу «Склофлюс»

Практично всі деревні види, що зростають у зелених насадженнях санітарно-захисної смуги цього заводу, походять із регіонів із сухим кліматом, що дозволяє їм витримувати тривалі періоди посухи та високі температури. Сумарно ксерофіти та мезоксерофіти становлять 95,13 % усіх дерев, що підтверджує відповідність насаджень вимогам до рівня вологозабезпеченості.

Аналіз розподілу деревних порід за потребами у поживних речовинах ґрунту (рис. 3.2) свідчить, що 91,12 % дерев належать до оліготрофів, здатних рости на бідних ґрунтах. Мезотрофи становлять 7,42 %, а найменшу частку – лише 1,46 % – займають мегатрофи, які потребують високої родючості.

Ґрунтовий покрив санітарно-захисної зони представлений звичайними середньо- та легкосуглинистими чорноземами з низьким вмістом гумусу, проте з підвищеним рівнем азоту, фосфору та калію. Така характеристика свідчить про сприятливі умови для росту дерев різних екологічних груп і підтверджує правильність підбору порід за трофічною адаптацією.

Площа, відведена під зелені насадження санітарно-захисної смуги заводу «Склофлюс», відповідає нормативним вимогам, однак щільність насаджень залишається низькою. Для підвищення ефективності функціонування лісосмуги доцільно збільшити щільність деревного покриву шляхом заповнення великих проміжків між деревами новими породами, стійкими до промислових забруднювачів. Також варто поступово замінювати відмираючі екземпляри.

Для цього типу насаджень доцільно впровадити чагарниковий ярус, який становитиме 5–10 % загальної кількості висаджених рослин. Це сприятиме збільшенню листової поверхні насаджень, покращенню здатності до фільтрації пилу та газоподібних поллютантів.

На ділянці, де спостерігається значне поширення самосіву *Ailanthus altissima*, рекомендується видалення більшості його особин з метою недопущення подальшої інвазії цього виду. Вивільнені ділянки варто засадити іншими, екологічно доцільними деревними породами, здатними ефективно виконувати функцію біологічного бар'єра для промислових емісій.

**Коксохімічне підприємство.** Відстань до найближчих населених пунктів становить 1000 м, що відповідає нормативам. Площа СЗЗ – 12 га, з яких під зелені насадження відведено 5,7 га. Протяжність насаджень – 1,2 км, ширина – від 40 до 55 м. Відповідно до нормативних вимог, територія, зайнята зеленими насадженнями, повинна становити не менше 50 % загальної площі СЗЗ. У даному випадку індекс озеленення дорівнює 47 %, що майже відповідає нормі, однак свідчить про певний дефіцит рослинного покриву, який доцільно компенсувати шляхом додаткових посадок деревних і чагарникових порід.

Таблиця 3.2

Видовий склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ Коксохімічного підприємства

Родина	Назва рослин	Число рослин шт./%,	Батьківщина
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i> Roth.	46/4,70	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i> Walter.	139/14,21	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	164/16,77	Північна Америка
<i>Fagaceae</i> A.B.R.	<i>Quercus robur</i> L.	1/0,10	Аб.
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Populus simonii</i>	2/0,21	Північний Китай
	<i>Populus alba</i>	8/0,82	Сибір, Китай, Азія
<i>Vitaceae</i> Lindl.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> Planch.	8/0,82	Північна Америка
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus laevis</i>	110/11,25	Аб.
	<i>Ulmus pumila</i>	277/28,32	Туркестан, Казахстан, Монголія
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer platanoides</i> L.	5/0,51	Аб.
<i>Elaeagnaceae</i> Juss.	<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	1/0,10	Південна Європа, Мала і Середня Азія
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	178/18,20	Північний Китай
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	39/3,99	Західний Китай
<i>Всього</i>		978	

Примітка: чисельник – число деревних рослин, шт.; знаменник – % від кількості рослин у зеленому насадженні; Аб. – абориген

Щільність деревних насаджень у санітарно-захисній зоні Коксохімічного заводу становить 171 екземпляр на гектар. За конструкцією зелена зона належить до фільтруючого типу. Деревця висаджені рядами, які місцями мають невеликі розриви (рис. 3.16). Підріст майже відсутній, хоча подекуди трапляються ділянки загущеного самосіву *Ailanthus altissima* та *Ulmus pumila*, які є інвазійними видами.

Загальна кількість рослин у захисних насадженнях підприємства становить 978, серед яких 970 – це дерева, а ще 8 – ліана *Parthenocissus quinquefolia* (табл. 3.2). Ця рослина поширена хаотично по всій території лісосмуги. Вона належить до інвазійних видів, що швидко розмножуються, становлять загрозу місцевій флорі, а також поширюються як злісні бур'яни (Зав'язова, 2017).

Дендрофлора захисної лісосмуги включає 11 родин (табл. 3.2). Родини *Salicaceae* та *Ulmaceae* представлені двома видами, тоді як решта родин – лише одним видом кожна.

Найчисельнішою за кількістю екземплярів є родина *Ulmaceae* (387 шт.), до якої належать *Ulmus pumila* та *Ulmus laevis* – разом вони складають 39,57 % від загальної кількості рослин у насадженні.

Серед чисельних видів також відзначаються *Ailanthus altissima* (178 екземплярів, 18,20 %), *Robinia pseudoacacia* (164 екземпляри, 16,77 %) та *Catalpa bignonioides* (139 екземплярів, 14,21 %). Інші деревні породи, за винятком *Morus alba* та *Betula pendula*, зустрічаються у кількості меншій за 10 екземплярів. *Elaeagnus angustifolia* та *Quercus robur* мають лише по одному представнику в насадженнях.

У захисних зелених масивах Коксохімічного заводу відсутні голонасінні рослини, а також чагарники. Єдині красивокувітучі види дерев, що зростають у захисних насадженнях, – *Catalpa bignonioides* (139 екз.) та *Robinia pseudoacacia* (164 екз.).

До аборигенних видів у складі насаджень належать *Quercus robur*, *Betula pendula*, *Acer platanoides* та *Ulmus laevis*. Їхня загальна чисельність становить 16,66 % від усіх дерев. Інтродуковані види складають 83,34 % загальної кількості деревних рослин у захисних зелених масивах.

Серед аборигенних порід домінують *Ulmus laevis* (11,25 % від загальної кількості дерев) та *Betula pendula* (4,70 %). Серед інтродукованих видів найчисленнішими є *Ulmus pumila* (28,32 %), *Robinia pseudoacacia* (16,77 %), *Ailanthus altissima* (18,20 %) та *Catalpa bignonioides* (14,21 %) (табл. 3.2).

Як свідчать дані таблиці 3.2, у лісосмузі заводу зростає п'ять видів ксерофітів, що становить 67,94 % від загальної чисельності деревних рослин. Мезоксерофіти представлені одним видом – *Populus simonii* (2 екз.). До групи ксеромезофітів належать *Quercus robur* та *Catalpa bignonioides*, частка яких становить 14,43 % від суми дерев у насадженнях. Мезофіти представлені незначною кількістю – їхня частка не перевищує 5,26 %. Основним представником цієї групи є *Betula pendula*, чисельність якої становить 4,70 % від загальної кількості рослин у захисних насадженнях. До групи мезогігрофітів входять *Populus alba* та *Ulmus laevis*; їхня сумарна частка у складі лісосмуг становить 12,16 %.

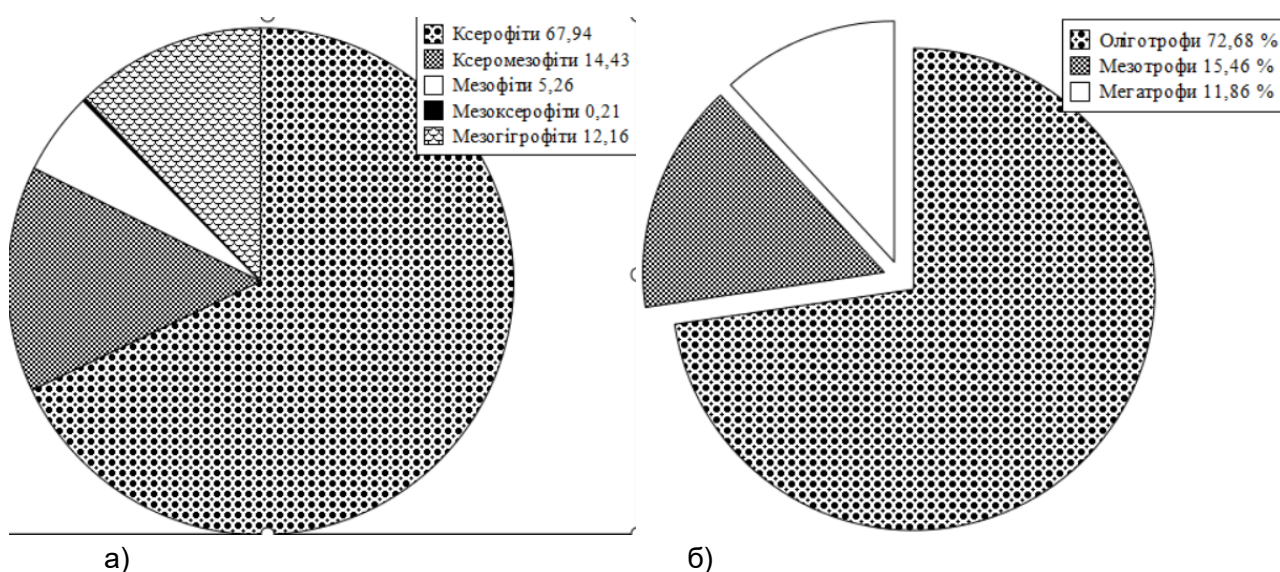


Рис. 3.3 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до вологи (а) та живильності ґрунту (б), % у СЗЗ Коксохімічного заводу

Отже, 82,58 % дерев у захисному насадженні належать до посухостійких або відносно посухостійких видів рослин. Це свідчить про відповідність деревостану даного лісонасадження кліматичним умовам регіону та рівню вологості.

Аналіз розподілу дерев за рівнем вимог до родючості ґрунту показує, що домінують оліготрофи, частка яких становить 72,68 % (рис. 3.3). Найчисленнішим серед них є *Ulmus pumila* – 28,32 % від усіх дерев цієї групи. Кількість дерев, що належать до мегатрофів, становить лише 11,86 % загальної чисельності деревних рослин санітарно-захисної зони підприємства. До цієї групи входять два види – *Acer platanoides* та *Ulmus laevis*. Мезотрофи складають 15,46 %, серед яких переважає *Catalpa bignonioides*. Інші представники цієї групи трапляються в кількості менш ніж 10 екземплярів.

Таким чином, захисні насадження навколо підприємства «Коксохім» потребують реконструкції. Необхідно здійснити посадку дерев у місцях із прогалинами, а також замінити сухостійні та відмираючі екземпляри. Слід збільшити площу, зайняту деревними насадженнями, до 50 % згідно з нормативними вимогами, оскільки індекс озеленення наразі становить 47 %. Для покращення санітарно-гігієнічної функції зелених масивів доцільно ввести чагарникові рослини між основними рядами – в обсязі не більше ніж 10 % від загальної кількості дерев.

**Металургійний комбінат «Запоріжсталь».** Дане підприємство належить до I класу шкідливості. Для ефективного зменшення впливу промислових викидів для таких підприємств ширина санітарно-захисної зони має становити не менше 1000 м. Відстань від підприємства до житлової забудови становить 900 м, що майже відповідає нормативним вимогам. Загальна площа санітарно-захисної зони – 60 га, з них під зелені насадження відведено 30 га. Індекс озеленення відповідає нормам і становить 50 %. Щільність насаджень – 152 дерева на гектар. Ширина лісосмуги варіює залежно від ділянки: максимальна сягає 300 м, мінімальна – 80 м. Загальна протяжність захисних насаджень становить 2,3 км.

Насадження, що формують санітарно-захисну смугу підприємства, можна розподілити на кілька окремих ділянок. Перша з них, яка належить до конструкцій фільтруючого типу, розташована навпроти головного входу на підприємство. Ця смуга межує з трамвайною лінією, залізничними коліями та автомобільними шляхами. На цій території дерева висаджені рядами, однак ряди мають значні розриви (рис. 3.4).

Ділянка, що безпосередньо прилягає до підприємства, підтримується в доглянутому стані – тут підсаджено молоді дерева та чагарники. Водночас територія, що розташована ближче до залізничних шляхів, перебуває у занедбаному стані. Тут активно поширюється поросль *Ailanthus altissima*, що формує густі хащі, а також наявні сухостійні дерева (рис. 3.4).

Для відновлення цієї ділянки необхідно видалити сухе гілля, заповнити прогалини, що виникли внаслідок відпаду старих дерев, молодими саджанцями. Також доцільно прорідити або повністю видалити самосів *Ailanthus altissima*.

Друга ділянка розташована з північного боку заводу, неподалік мартенівських печей. Тут сформовані щільні деревні насадження, які утворюють непрохідні масиви, що чергуються з відкритими просторами завдовжки до 30 м, де деревна рослинність відсутня. Таких місць без дорослих дерев нараховується три. На цих територіях зростає молодий самосів *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*, висота якого не перевищує 1 м.

Ділянка, що безпосередньо прилягає до підприємства, підтримується в доглянутому стані – тут підсаджено молоді дерева та чагарники. Водночас територія, що розташована ближче до залізничних шляхів, перебуває у занедбаному стані. Тут активно поширюється поросль *Ailanthus altissima*, що формує густі хащі, а також наявні сухостійні дерева (рис. 3.4).

Для відновлення цієї ділянки необхідно видалити сухе гілля, заповнити прогалини, що виникли внаслідок відпаду старих дерев, молодими саджанцями. Також доцільно прорідити або повністю видалити самосів *Ailanthus altissima*.



Зелене насадження СЗЗ підприємства «Запоріжсталь» (ділянка 1)

а)



б)



Рис. 3.4 – Зелені масиви СЗЗ заводу «Запоріжсталь»: а) занедбана частина насадження ділянки 1; б) прогалини у насадженні

Друга ділянка розташована з північного боку заводу, неподалік мартенівських печей. Тут сформовані щільні деревні насадження, які утворюють непрохідні масиви, що чергуються з відкритими просторами завдовжки до 30 м, де деревна рослинність відсутня. Таких місць без дорослих дерев нараховується три. На цих територіях зростає молодий самосів *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*, висота якого не перевищує 1 м.

Вздовж залізничних колій та автомобільного шляху зростають дерева, серед яких домінують *Robinia pseudoacacia* та *Populus simonii*. Вони висаджені у чотири ряди. Зелені насадження західної сторони заводу утворюють щільну лісосмугу, яку складно пройти через велику кількість підросту інвазійних видів: *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*, які спонтанно поширилися на цій території.

На всій території санітарно-захисних насаджень дерева розташовані нерівномірно. Хоча вони висаджені рядами, місцями спостерігаються розриви на невеликі відстані. Регулярність розміщення порушує самосів, представлений *Ulmus pumila*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer pseudoplatanus* та *Ailanthus altissima*. Деякі особини цього самосіву вже досягли висоти 8 м.

Видовий склад зелених масивів, що формують санітарно-захисну зону комбінату Запоріжсталь, представлений 32 видами рослин, які належать до 19 родин. Загальна кількість деревних і чагарникових рослин у насадженні становить 4574 екземпляри. До складу деревної флори включено підріст, що має висоту від 4 до 6 м. Основними його представниками є самосів *Acer negundo*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*, загальна кількість яких становить 1245 особин. Їх чисельність включена у таблицю 3.3.

У складі насадження було зафіксовано лише один вид ліан – *Parthenocissus quinquefolia*, чисельність якого становить 37 екземплярів. Також виявлено шість видів чагарників, які складають 3,83 % від загальної кількості рослин. До них належать *Sambucus nigra*, *Cornus mas*, *Prunus tomentosa*, *Spiraea vanhouttei*, *Rosa canina* та *Daphne mezereum*. Усі чагарникові види зростають на території, розташованій навпроти адміністративного корпусу комбінату.

Найбільш численною серед чагарників виявилася *Spiraea vanhouttei*, частка якої становить 2,49 % від сумарної кількості рослин у насадженні захисної смуги. Ліани *Parthenocissus quinquefolia* не підлягають догляду, зростають хаотично та використовують деревні рослини як опору, що призводить до їх пригнічення.

Загалом у захисних насадженнях підприємства «Запоріжсталь» налічується 25 видів деревних рослин, серед яких чотири види відносяться до хвойних порід, а 21 – до листяних. До представників хвойних порід належать *Thuja orientalis*, *Thuja occidentalis*, *Picea abies* та *Picea pungens*.

Лише одним екземпляром представлені види *Picea pungens*, *Populus balsamifera*; по два екземпляри – *Picea abies*, *Morus alba*, *Armeniaca vulgaris* та *Pyrus communis*. Такі деревні породи, як *Fraxinus lanceolata*, *Catalpa bignonioides*, *Populus nigra*, *Tilia cordata*, *Thuja orientalis* та *Malus silvestris*, трапляються в кількості меншій ніж десять особин.

У захисній лісосмузі комбінату «Запоріжсталь» також зростають красивоквітучі рослини, серед яких *Aesculus hippocastanum*, *Catalpa bignonioides*, *Tilia cordata*, *Sambucus nigra*, *Armeniaca vulgaris*, *Rosa canina* та *Spiraea vanhouttei*.

Основними домінантами серед деревних порід у насадженні є *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo* та *Ulmus pumila*, частка яких у загальному складі дерев становить відповідно 19,74; 37,87 та 28,66 %. Велика кількість дерев *Acer negundo* може розглядатися як негативний фактор. Незважаючи на високу стійкість до забруднення, цей вид характеризується низькою довговічністю (Зав'язова, 2017).

Таблиця 3.3

Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ підприємства  
«Запоріжсталь»

Родина	Назва рослин	Число рослин шт./%,	Батьківщина
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i>	17/0,37	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	3/0,07	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	903/19, 74	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Populus balsamifera</i> L.	1/0,02	Північна Америка
	<i>Populus alba</i>	57/1,25	Сибір, Китай, Азія
	<i>Populus simonii</i>	108/2,36	Північний Китай
	<i>Populus nigra</i> L.	5/0,11	Аб.
<i>Vitaceae</i> Lindl.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	37/0,81	Північна Америка
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus glabra</i> Huds.	13/0,28	Аб.
	<i>Ulmus pumila</i>	1311/28,66	Туркестан, Казахстан, Монголія
<i>Sapindaceae</i> Torr. et Grey	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	45/0,98	Горні ліси Балканського півострову (Македонія)
<i>Caprifoliaceae</i> Vent.	<i>Sambucus nigra</i> L.	6/0,13	Аб.
<i>Cornaceae</i> Link.	<i>Cornus mas</i> L.	10/0,22	Аб.
<i>Cupressaceae</i> F. Neger	<i>Thuja orientalis</i> L.	9/0,20	Китай, Корея.
	<i>Thuja occidentalis</i> L.	15/0,33	Північна Америка
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer pseudoplatanus</i>	11/0,24	Середня, південна Європа
	<i>Acer negundo</i> L.	1732/37,87	Північна Америка
<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia cordata</i> Mill.	5/0,11	Аб.
<i>Elaeagnaceae</i> Juss.	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	10/0,22	Південна Європа, Мала і Середня Азія
<i>Oleaceae</i> Link.	<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	4/0,09	Північна Америка
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	2/0,04	Горні ліси Тянь-Шаня
	<i>Prunus tomentosa</i> Thunb.	1/0,02	Китай, Корея и Монголія
	<i>Pyrus communis</i>	2/0,04	Аб.
	<i>Spiraea vanhouttei</i> ( Briot) Zab.	114/2,49	Гібридне походження. Франція
	<i>Rosa canina</i> L.	1/0,02	Аб.
	<i>Malus silvestris</i> (L.) Mill.	6/0,13	Аб.
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	116/2,54	Північний Китай
<i>Pinaceae</i> Link.	<i>Picea abies</i> L.	2/0,04	Аб.
	<i>Picea pungens</i> Engelm.	1/0,02	Північна Америка
<i>Thymelaeaceae</i> Adans.	<i>Daphne mezereum</i>	25/0,55	Аб.
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	2/0,04	Західний Китай
<b>Всього</b>		<b>4574</b>	

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин у насадженні; Аб. – абориген

У складі санітарно-захисного насадження підприємства налічується 13 аборигенних видів дерев, що становить 41,94 % від загального складу видового різноманіття. Алохтонні види переважають як за кількістю (18 видів – 58,64 %), так і за числом екземплярів: їхня частка становить 97,53 % від усіх деревних рослин, що зростають у захисних насадженнях заводу. Серед чисельних алохтонних видів відзначаються *Acer pseudoplatanus*, *Elaeagnus angustifolia*, *Betula pendula*, *Ulmus glabra*, *Daphne mezereum* та *Cornus mas*. Серед інтродукованих рослин домінують *Acer negundo*, *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*.

Досліджені види дерев у насадженнях санітарно-захисної зони комбінату «Запоріжсталь» розподілено за потребою у волозі наступним чином. Найчисельнішою є група ксерофітів, яка охоплює 51,46 % від загальної кількості екземплярів (2354 шт.). Основні представники цієї групи – *Ulmus pumila* (28,66 %), *Robinia pseudoacacia* (19,74 %) та *Ailanthus altissima* (2,54 %) (рис. 3.5).

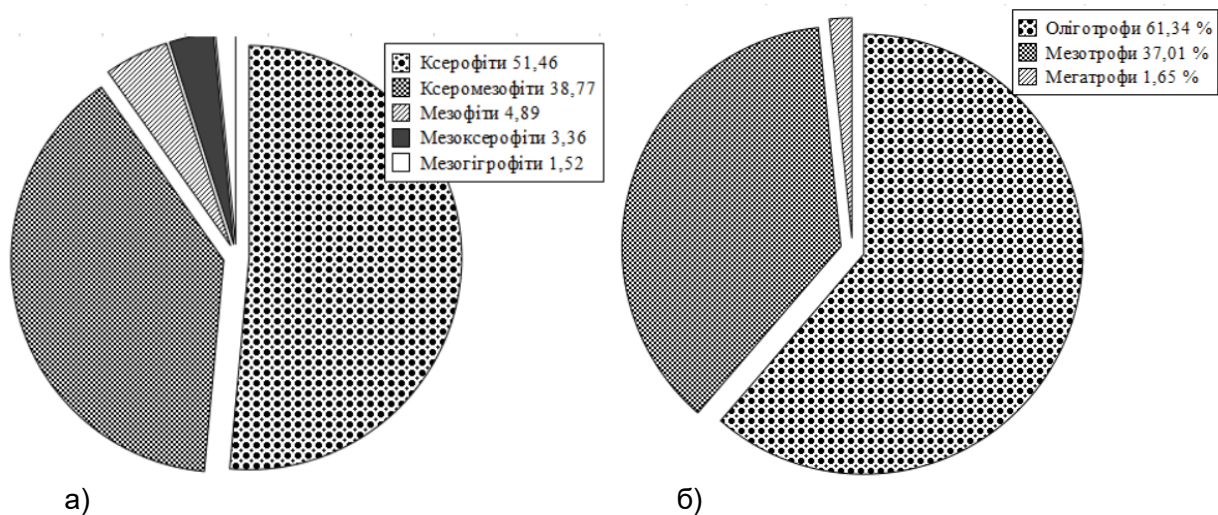


Рис. 3.5 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до вологі (а) та живильності ґрунту (б), % у СЗЗ заводу «Запоріжсталь»

Другою за чисельністю є група ксеромезофітів – 38,77 % (1444 екземпляри). Мезоксерофіти зустрічаються в незначній кількості – 3,36 %. Мезофіти становлять 4,89 % від усіх дерев насаджень даного підприємства; основні представники цієї групи – *Spiraea vanhouttei* та *Aesculus hippocastanum*. До групи мезогірофітів зараховано усього 69 дерев, що складає 1,52 % від загальної кількості. У цій групі переважає *Populus alba* (57 екземплярів).

Отже, 93,59 % дерев у санітарно-захисній зоні заводу «Запоріжсталь» за своїм відношенням до вологості належать до посухостійких або відносно посухостійких видів, що є адаптивною перевагою та відповідає місцевим екологічним умовам зростання.

За рівнем потреби у поживних речовинах ґрунту більшість деревних рослин – оліготрофи, які не потребують значного вмісту поживних елементів (рис. 3.5). Їхня частка становить 61,34 % від загальної кількості дерев. Другою за чисельністю є група мезотрофів – 37,01 %. Основною деревною породою в цій групі є *Ulmus pumila*, частка якого становить 28,66 % усіх дерев, що зростають у санітарно-захисній зоні комбінату «Запоріжсталь». Мегатрофи у складі насадження представлені лише 75 екземплярами, що становить 1,65 % від загальної кількості рослин.

Таким чином, насадження санітарно-захисної зони цього підприємства за структурою відповідають критеріям фільтруючого типу. Водночас для підвищення їхньої ефективності

необхідно провести реконструкцію: вирівняти ряди дерев, усунути розриви в насадженнях та заповнити їх породами, стійкими до техногенного впливу. Це дозволить підвищити загальну щільність деревостану. Надмірно густий самосів доцільно прорідити. Для збільшення площі листової поверхні та покращення фільтраційної здатності насаджень рекомендовано висадити чагарникові види, частка яких не повинна перевищувати 10 % від загального складу деревних рослин у лісосмузі.

**Підприємство «Укрграфіт».** Це підприємство класифікується як таке, що належить до IV класу шкідливості. Санітарно-захисна зона заводу розташована на північний захід від основних виробничих потужностей, у напрямку житлових районів міста. Для підприємств цього класу ширина захисної зони повинна становити не менше 100 м, і наявна відстань від заводу до житлової забудови відповідає встановленим нормативам.

Загальна площа санітарно-захисної зони становить 13 га, з яких приблизно 9 га займають зелені насадження. Їх протяжність сягає 1000 м, а ширина змінюється залежно від ділянки: максимальне значення становить 153 м, мінімальне – 47 м. Індекс озеленення становить 69 %, що відповідає встановленим нормативам. Насадження належать до фільтруючого типу, що забезпечує ефективне очищення повітря. Враховуючи ці характеристики, вони повністю відповідають нормативним вимогам (Керівництво з проектування санітарно-захисних зон промислових підприємств, 1984).

Слід зазначити, що підприємство «Укрграфіт» розташоване в зоні інтенсивного руху автотранспорту, що підсилює негативний вплив викидів і створює додаткове екологічне навантаження на насадження.

Захисні насадження підприємства умовно можна поділити на три основні ділянки. Перша ділянка розташована ліворуч від виробничих будівель заводу, межує із залізничними коліями та автомобільними шляхами. Деревні насадження тут сформовані окремими групами. Найгустіша частина лісосмуги зосереджена ближче до залізничної інфраструктури та має ширину 20–30 м. Загальний стан цієї ділянки незадовільний – вона потребує благоустрою. Друга ділянка розташована безпосередньо перед головним входом на територію заводу (рис. 3.6). Вона перебуває під постійним доглядом, що позитивно впливає на стан насаджень. Деревя тут висаджені рядами, а вздовж головної алеї зростають чагарники.

Третя ділянка знаходиться праворуч від адміністративного корпусу підприємства, поруч із територією ДП «Запорізький експрес-технічний центр». Відзначається збереження лінійного розташування дерев, проте в багатьох місцях між окремими екземплярами наявні значні прогалини (понад 6 м). Це частково знижує ефективність захисної смуги, хоча загальний рівень щільності насаджень залишається досить високим – 208,4 шт./га. У цій зоні догляд за насадженнями не здійснюється.

Рівномірність розташування дерев місцями порушується зростаючим підростом таких порід, як *Populus alba*, *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia* та *Morus alba* заввишки від 0,1 до 1,5 м. Його загальна щільність становить 314 шт./га. У деяких місцях також спонтанно поширюється *Parthenocissus quinquefolia*.

У насадженнях санітарно-захисної зони підприємства «Укрграфіт» налічується 1140 деревних рослин, які представлені такими життєвими формами: деревні рослини – 82,19 %, чагарники – 17,19 %, ліани – 0,62 %. Детальні кількісні показники наведено в таблиці 3.4. Ліаноподібні рослини представлені двома видами – *Humulus lupulus* та *Parthenocissus quinquefolia*, що становлять відповідно 0,09 % та 0,53 % від загальної чисельності рослин у насадженні.



Рис. 3.6 – Зелений масив на ділянці 2 СЗЗ підприємства «Укрграфіт»

Чагарниковий ярус включає сім видів: *Juniperus sabina*, *Daphne mezereum*, *Symphoricarpos albus*, *Hibiscus syriacus*, *Rosa canina*, *Prunus tomentosa* та *Syringa vulgaris*.

Серед чагарникових порід найбільш чисельними є *Symphoricarpos albus* та *Daphne mezereum*, частка яких становить 8,33 та 7,45 % від загального числа рослин відповідно. Вони висаджені вздовж автомобільної дороги з обох боків, з фронтальної сторони заводу, утворюючи лінійне розташування, що підсилює фільтраційні властивості насаджень.

Деревний ярус представлений 20 видами, серед яких домінують *Morus alba*, *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*; їхня частка в загальному складі деревних рослин становить 10,18; 16,05 та 32,02 % відповідно. Шість видів дерев у зелених насадженнях цього підприємства представлені лише одним екземпляром – *Pyrus communis*, *Malus domestica*, *Elaeagnus angustifolia*, *Catalpa bignonioides*, *Populus pyramidalis* та *Prunus tomentosa* (табл. 3.4).

Рослини видів *Acer negundo* та *Salix alba* представлені двома екземплярами кожен з них становить по 0,17 % від загальної кількості дерев у насадженні.

Серед декоративних і гарноквітух рослин у санітарно-захисному насадженні відзначено *Catalpa bignonioides*, *Hibiscus syriacus*, *Tilia cordata*, *Malus domestica*, *Rosa canina*, *Prunus tomentosa* та *Robinia pseudoacacia*, хоча їхня кількість, за винятком останнього виду, є незначною. Рослини цієї групи сприяють підвищенню естетичної та екологічної цінності насадження.

До складу деревостану санітарно-захисного насадження підприємства «Укрграфіт» входять як аборигенні, так і інтродуковані види. Частка місцевих деревних рослин становить 15,88 % (11 видів), тоді як кількість інтродукованих порід значно переважає і складає 84,12 % від загальної чисельності деревних рослин у захисній зеленій зоні заводу. Найпоширенішими аборигенами є *Daphne mezereum* (7,45 %) та *Ulmus laevis* (5,35 %). Серед інтродукованих видів за чисельністю домінують *Morus alba* (10,18 %), *Ulmus pumila* (16,05 %) та *Robinia pseudoacacia* (32,02 %).

Таблиця 3.4

## Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ заводу «Укрграфіт»

Родина	Назва рослин	Числа рослин шт./%	Батьківщина
<i>Cupressaceae</i> F. Neger	<i>Thuja orientalis</i>	4/0,35	Китай, Корея
	<i>Juniperus sabina</i> L.	6/0,53	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	1/0,09	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	365/32,02	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Salix alba</i> L.	2/0,17	Аб.
	<i>Populus simonii</i>	4/0,35	Північний Китай
	<i>Populus alba</i>	70/6,14	Сибір, Китай, Азія
	<i>Populus pyramidalis</i> Spach.	1/0,09	Афганістан, Мала Азія, Гімалаї.
	<i>Populus nigra</i>	3/0,26	Аб.
<i>Vitaceae</i> Lindl.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	6/0,53	Північна Америка
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus laevis</i>	61/5,35	Аб.
	<i>Ulmus pumila</i>	183/16,05	Туркестан, Казахстан, Монголія
<i>Juglandaceae</i> Lindl.	<i>Juglans regia</i> L.	9/0,79	Центральна Азія
<i>Caprifoliaceae</i> Dill.	<i>Symphoricarpos albus</i> Blake	95/8,33	Північна Америка
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer platanoides</i>	13/1,14	Аб.
	<i>Acer negundo</i>	2/0,17	Північна Америка
<i>Cannabaceae</i> Martynov	<i>Humulus lupulus</i> L.	1/0,09	Аб.
<i>Malvaceae</i> Juss.	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	4/0,35	Китай, Корея та країни західної Азії
<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia cordata</i>	7/0,61	Аб.
<i>Elaeagnaceae</i> Juss.	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1/0,09	Середня, південна Європа
<i>Oleacea</i> Link.	<i>Syringa vulgaris</i> L.	4/0,35	Балканський півострів
	<i>Fraxinus lanceolata</i>	37/3,25	Північна Америка
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Prunus tomentosa</i>	1/0,09	Китай, Корея и Монголія
	<i>Pyrus communis</i>	1/0,09	Аб.
	<i>Rosa canina</i>	1/0,09	Аб.
	<i>Malus domestica</i> Borkh.	4/0,35	Південний Казахстан, Киргизія
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	53/4,65	Північний Китай
<i>Thymelaeaceae</i> Adans.	<i>Daphne mezereum</i>	85/7,45	Аб.
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	116/10,18	Західний Китай
Всього		1140	

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин у насадженні; Аб. – абориген

За показником відношення до вологи переважають ксерофіти, які становлять 63,8 % від загальної чисельності дерев у санітарно-захисній зоні (рис. 3.7). До цієї групи належать *Juniperus sabina*, *Morus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Elaeagnus angustifolia*, *Ailanthus altissima* та *Ulmus pumila*. Другу за чисельністю групу становлять мезоксерофіти – 13,69 % від загального складу насадження. До них належать *Thuja orientalis*, *Fraxinus lanceolata*, *Juglans regia*, *Populus simonii*, *Symphoricarpos albus*, *Syringa vulgaris* та *Rosa canina*.

Ксеромезофіти у насадженні представлені шістьма видами – *Acer negundo*, *Pyrus communis*, *Catalpa bignonioides* та *Malus domestica*. Проте їхня загальна частка у насадженні є незначною і становить лише 0,71 %. До мезофітів, які характеризуються помірною потребою у воді, належать чотири види: *Tilia platyphyllos*, *Prunus tomentosa*, *Acer platanoides* та *Daphne mezereum*. Разом вони становлять 9,36 % від загальної чисельності дерев у лісосмузі. Мезогігрофіти, що потребують більш зволжених умов, становлять 12,27 %. Визначено п'ять видів рослин цієї групи: *Ulmus laevis*, *Populus pyramidalis*, *Populus nigra*, *Populus alba* та *Hibiscus syriacus*. Група гігрофітів, пристосованих до вологих місць, включає лише два екземпляри *Salix alba*.

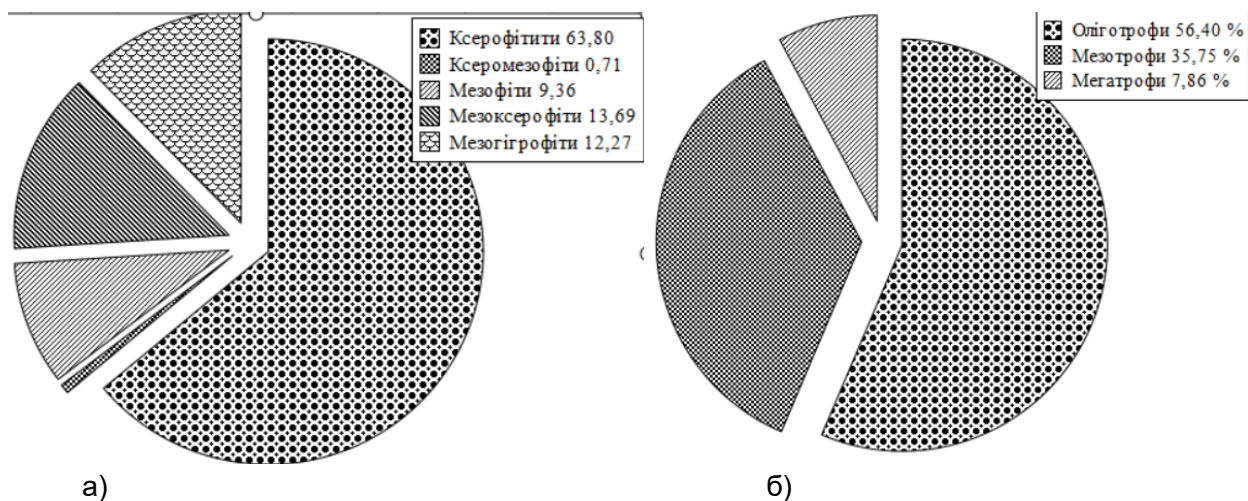


Рис. 3.7 – Співвідношення деревних рослин за вимогами у волозі (а) та живильності ґрунту (б), % у С33 заводу «Укрграфіт»

Ксеромезофіти, мезоксерофіти та ксерофіти разом становлять 78,20 % від загальної кількості деревних рослин у захисній лісосмузі. Це свідчить про те, що зелені насадження санітарно-захисної зони (С33) заводу «Укрграфіт» здебільшого відповідають вимогам щодо адаптації до рівня вологості ґрунту та кліматичних умов.

За рівнем потреби у поживних речовинах у ґрунті переважають оліготрофні рослини, частка яких становить 56,4 % (рис. 3.7). Другою за чисельністю є група мезотрофів – 35,75 %. Найменшою за представленістю є група мегатрофів – лише 7,86 %. Найпоширенішим видом у цій групі є *Ulmus laevis*, який становить 5,35 % від загальної кількості дерев у досліджуваній лісосмузі.

Таким чином, структура та рівень озеленення С33 підприємства «Укрграфіт» відповідають нормативним вимогам. Водночас насадження потребує певної реконструкції, зокрема заміни відмираючих дерев новими, часткового видалення самосіву, а також відновлення рядової посадки шляхом заповнення наявних прогалін. У першій та третій частинах захисної лісосмуги доцільним є додаткове висадження чагарникових порід для підвищення ефективності очищення повітря.

**Завод «Феросплавів».** Це підприємство належить до I класу шкідливості. Санітарно-захисна зона цього об'єкта простягається на 1,6 км при середній ширині 50 м. Загальна площа С33 становить 19 га, з яких площа зелених насаджень охоплює 9,3 га. Територія, яка зайнята захисними лісосмугами, становить 49,0 %, що майже відповідає санітарним нормам, згідно яким для підприємств цього типу показник озеленення має бути не меншим за 50 %. Щільність дерев у насадженні становить 127 шт./га.

Захисні насадження належать до фільтруючого типу. Деревна рослинність у межах санітарно-захисної зони (С33) розподілена нерівномірно (рис. 3.8). Деревна рослинність, що розташована ближче до автомобільної дороги, висаджені рядами; серед них переважають представники

родини *Ulmaceae*. У центральній частині захисної лісосмуги спостерігаються значні проміжки, подекуди трапляються молоді дерева *Fraxinus lanceolata* та *Ailanthus altissima*.

Насадження, що прилягають безпосередньо до огорожі підприємства, характеризуються високою щільністю. Основними породами в цій частині є *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia* та *Ailanthus altissima*, що супроводжуються численним самосівом.



Рис. 3.8 – Зелений масив С33 Феросплавного підприємства

Перед центральним входом до заводу у два ряди сформовано щільний живопліт, утворений кущистими формами *Robinia pseudoacacia* та *Daphne mezereum*. З північного боку підприємства стан зеленого масиву С33 є незадовільним: територія виглядає занедбаною, має значне накопичення побутових відходів, що свідчить про відсутність належного догляду за насадженнями. У цій частині захисної лісосмуги переважають багатостовбурні дерева.

Дендрофлора санітарно-захисної зони Феросплавного підприємства складається з дерев та чагарників, частка яких становить 96,20 і 3,80 %, відповідно, від загальної кількості рослин (табл. 3.5). Видовий склад насаджень налічує 13 видів, що належать до 11 родин, а загальна чисельність деревних рослин становить 1183 екземпляри.

Основу деревного складу утворюють *Ulmus parvifolia* та *Robinia pseudoacacia*, частка яких становить 53,34 % та 40,40 % від загальної кількості дерев у лісосмузі. Деякі види представлені лише поодинокими екземплярами: *Salix alba* і *Malus domestica* – по 1 екземпляру, *Elaeagnus angustifolia*, *Betula pendula* та *Fraxinus lanceolata* – по 2 екземпляри кожен.

Середній вік переважної більшості деревних порід варіює від 50 до 60 років і більше. Лише окремі представники, зокрема *Catalpa bignonioides* та *Fraxinus lanceolata*, є молодшими – віком до 15 років. *Catalpa bignonioides* належить до красивоквітучих декоративних рослин.

Аборигенні деревні породи в деревостані С33 заводу «Феросплавів» представлені чотирма видами, що становить 28,57 % від загальної кількості, тоді як 10 видів (71,43 %) належать до інтродукованих. За чисельністю екземплярів переважають саме інтродуковані рослини. Вони складають 99,15 % усіх дерев лісосмуги.

Таблиця 3.5

## Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ «Феросплавного заводу»

Родина	Назва рослин	Число рослин, шт./%,	Походження
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i>	2/0,17	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	11/0,93	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	478/40,40	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Salix alba</i>	1/0,08	Аб.
	<i>Populus alba</i>	8/0,68	Сибір, Китай, Азія
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus carpinifolia</i>	27/2,28	Аб
	<i>Ulmus pumila</i>	631/53,34	Південний Казахстан, Киргизія
<i>Elaeagnaceae</i> Juss.	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	2/0,17	Східне Закавказзя, Середня Азія
<i>Oleaceae</i> Link.	<i>Fraxinus lanceolata</i>	2/0,17	Північна Америка
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Malus domestica</i>	1/0,08	Південний Казахстан, Киргизія
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	10/0,85	Північний Китай
<i>Thymelaeaceae</i> Adans.	<i>Daphne mezereum</i>	5/0,42	Аб.
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	5/0,42	Західний Китай
<i>Всього</i>		1183	

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин у насадженні; Аб. – абориген

За рівнем вибагливості до вологи більшість дерев санітарно-захисної зони підприємства належать до ксерофітів. Їхня частка становить 95,18 % від загальної кількості дерев (рис. 3.9). До цієї групи належать *Elaeagnus angustifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Morus alba* та *Ailanthus altissima*.

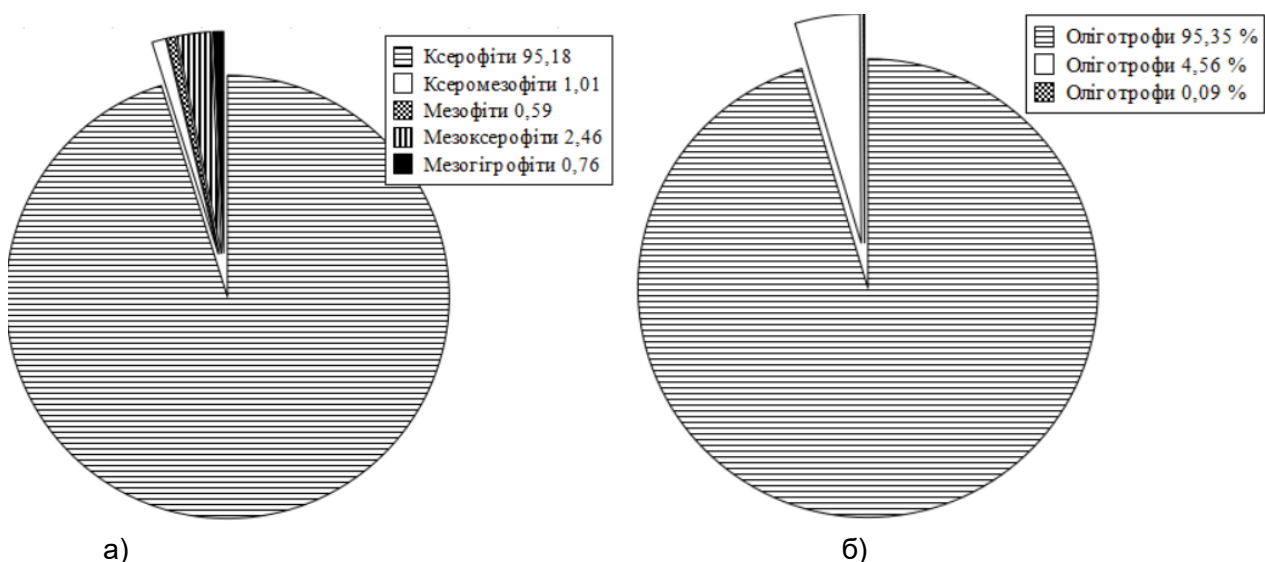


Рис. 3.9 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до вологи (а) та живильності ґрунту (б), % у СЗЗ заводу «Феросплавів»

Група мезоксерофітів представлена лише 2,45 % деревних рослин – це 27 екземплярів *Ulmus carpinifolia* та 2 екземпляри *Fraxinus lanceolata*. До ксеромезофітів належать *Malus domestica* та *Catalpa bignonioides*, які становлять лише 1,01 % сумарного числа деревних рослин у насадженні даного заводу..

Мезогірофіти і мезофіти у захисній лісосмузі Феросплавного підприємства презентовані незначною кількістю дерев – їхня частка не перевищує 1 %. Жоден із видів деревних рослин, що були обстежені у зеленому насадженні, не віднесено до гірофітів.

Таким чином, 95,18 % дерев у зеленій лісосмузі цього заводу належать до посухостійких порід, а 3,47 % – до відносно посухостійких.

За рівнем вимогливості до вмісту поживних речовин у ґрунті (рис. 3.9), 95,35 % деревних рослин є оліготрофами, тобто вони невибагливі до ґрунтових умов. Інші групи менш чисельні. Так, мезотрофи (середньовибагливі) становлять 4,56 %, а мегатрофи – лише 0,08 % від загальної кількості деревних порід у насадженні.

Загалом, деревостани СЗЗ Феросплавного заводу добре пристосовані до місцевих умов як за рівнем зволоженості, так і за потребою в поживних елементах. Таким чином, насадження за цими показниками сформовано правильно.

Водночас санітарно-захисні насадження потребують реконструкції. Передусім необхідно видалити надмірний підріст інвазійних видів рослин, який поширився по всій території. Відновлення рядкової структури сприятиме підвищенню щільності деревного покриву. Також доцільним є висадження нових дерев у центральній частині зеленої зони, де спостерігається значний дефіцит рослинності. Сухі та відмираючі екземпляри слід замінити породами, стійкими до забруднення. Крім того, для покращення очисної функції лісосмуги рекомендовано висадити 118 чагарників, що становить 10 % від загальної кількості дерев у насадженні.

**Трансформаторний завод.** Це підприємство розташоване у правобережній частині м. Запоріжжя й спеціалізується на машинобудуванні. Воно належить до IV класу шкідливості. Відповідно до нормативних вимог, відстань від підприємства такого типу до житлової забудови має становити не менше ніж 100 м. Фактична відстань становить 110 м, що відповідає нормам.

Зелені насадження представлені смугами озеленення, які простягаються вздовж північної, східної та південної меж підприємства. Їх ширина коливається від 20 до 50 м, і вони входять до складу санітарно-захисної зони основного виробництва, що відповідає чинним вимогам щодо впорядкування території. Площа СЗЗ заводу становить 40 га, з яких 28 га зайняті зеленими насадженнями. Індекс озеленення дорівнює 0,67, що відповідає нормативним вимогам.

Лісосмуга на території заводу належить до фільтруючого типу, а посадка дерев здійснена рядковим способом. Насадження є простими, однорівневими, з міжряддями шириною 3 м (рис. 3.10). Обраний тип озеленення – система захисних смуг – є доцільним, оскільки сприяє підвищенню турбулентності повітря, що, своєю чергою, покращує розсіювання шкідливих речовин у навколишньому середовищі.

Результати інвентаризації насаджень зеленої зони показали, що на території налічується 1665 рослин, з яких 1639 – дерева, а 26 – чагарники (табл. 3.6). Більшість з них належать до відділу *Magnoliophyta*, тоді як представників відділу *Pinophyta* у досліджуваному насадженні всього 62 екземпляри. Рослинність представлена 18 родинами. Серед них найбільше видове різноманіття має родина *Rosaceae*, до якої віднесено чотири види. До родини *Aceraceae* належать три види дерев, тоді як родини *Pinaceae*, *Fabaceae* та *Salicaceae* представлені двома видами. Інші родини репрезентовані лише одним видом. Загалом у складі насаджень виявлено два види чагарників та 24 види дерев, що свідчить про помірний рівень видового різноманіття.



Рис. 3.10 – Захисна лісосмуга С33 Трансформаторного підприємства

Найчисельнішою родиною серед деревних рослин у санітарно-захисній зоні Трансформаторного заводу є *Aceraceae*, яка включає три види: *Acer negundo*, *Acer saccharinum* та *Acer platanoides*. Загальна кількість представників цієї родини становить 423 екземпляри, що відповідає 25,37 % від загальної кількості дерев у насадженні. Меншу чисельність має родина *Tiliaceae*, представлена одним видом – *Tilia cordata* (264 екземпляри, 15,86 %). Дещо менше нараховано представників родини *Anacardiaceae*, яка включає єдиний вид – *Cotinus coggygria* (172 рослини, 10,33 %). Родина *Salicaceae* репрезентована 164 екземплярами (9,85 %), серед яких *Populus pyramidalis* та *Populus nigra*.

Із родини *Ulmaceae* у насадженнях зростає *Ulmus pumila* загальною чисельністю 128 екземплярів (7,69 %). Родина *Fagaceae*, до якої належить *Quercus robur*, представлена 112 деревами (6,73 %). Слід зазначити, що це єдине підприємство з 11 обстежених, у зеленій зоні якого зростає ця деревна порода у такій великій кількості. Ще всього одне дерево цього виду зростає у зелених насадженнях заводу «Алюміній» та три – заводу «Кокс». Види рослин, як *Armeniaca vulgaris*, *Catalpa bignonioides*, *Malus silvestris* та *Cornus mas*, зустрічаються поодинокі – менш ніж 10 дерев кожного виду.

Аборигенні види деревних рослин у складі насаджень санітарно-захисної зони представлені 11 видами, що становить 42,31 % від загальної кількості видів. Інтродукованих видів дещо більше – 15, або 57,69 %. Водночас за чисельністю дерев у насадженні переважають саме аборигенні породи – 54,41 % від загальної кількості дерев у деревостані. Найбільш чисельними серед них є: *Tilia cordata* (15,86 %), *Acer platanoides* (11,23 %), *Cotinus coggygria* (10,33 %), *Quercus robur* (6,73 %), *Betula pendula* (3,96 %).

Серед інтродукованих видів найпоширенішими є: *Acer negundo* (9,37 %), *Populus pyramidalis* (8,05 %), *Ulmus pumila* (7,69 %), *Robinia pseudoacacia* (5,17 %). У невеликій кількості зростають у захисних насадженнях Трансформаторного підприємства такі види інтродукованих рослин як *Catalpa bignonioides* (0,12 %), *Armeniaca vulgaris*, (0,30 %), *Sophora japonica* (0,60 %), *Platanus acerifolia* (0,60), *Juglans regia* (0,60.%).

Таблиця 3.6

## Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів С33 Трансформаторного заводу

Родина	Назва рослин	Число рослин шт./%,	Батьківщина
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i>	66/3,96	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	2/0,12	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	86/5,17	Північна Америка
	<i>Sophora japonica</i> L.	10/0,60	Японія, Китай, Корея
<i>Fagaceae</i> A.B.R.	<i>Quercus robur</i>	112/6,73	Аб.
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Populus pyramidalis</i>	134/8,05	Афганістан, Мала Азія, Гімалаї
	<i>Populus nigra</i>	30/1,80	Аб.
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus pumila</i>	128/7,69	Південний Казахстан, Киргизія
<i>Hippocastanaceae</i> Torr.et Grey	<i>Aesculus hippocastanum</i>	63/3,78	Горні ліси Балканського півострову (Македонія)
<i>Juglandaceae</i> Lindl.	<i>Juglans regia</i>	10/0,60	Центральна Азія
<i>Cornaceae</i> Link.	<i>Cornus mas</i>	3/0,18	Аб.
<i>Cupressaceae</i> F. Neger	<i>Thuja orientalis</i>	23/1,38	Китай, Корея
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer platanoides</i>	187/11,23	Аб.
	<i>Acer saccharinum</i> L.	80/4,80	Північна Америка
	<i>Acer negundo</i>	156/9,37	Північна Америка
<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia cordata</i>	264/15,86	Аб.
<i>Oleacea</i> Link.	<i>Fraxinus lanceolata</i>	14/0,84	Північна Америка
<i>Platanaceae</i> Lindl.	<i>Platanus acerifolia</i> Wiild.	10/0,60	Гібрид, випадково з'явився в Англії
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Armeniaca vulgaris</i>	5/0,30	Горні ліси Тянь-Шаня
	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	18/1,08	Аб.
	<i>Spiraea vanhouttei</i>	23/1,38	Гібридне походження. Франція
	<i>Malus silvestris</i>	8/0,48	Аб.
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	15/0,90	Північний Китай
<i>Pinaceae</i> Link.	<i>Picea abies</i> Engelm.	33/1,98	Аб.
	<i>Pinus sylvestris</i> L.	13/0,78	Аб.
<i>Anacardiaceae</i> Lindl.	<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	172/10,33	Аб.
<b>Всього</b>		1665	

Примітка: чисельник – число рослин, шт.; знаменник – % від кількості рослин у насадженні; Аб. – абориген

У складі захисних насаджень наявні красивоквітучі види: *Tilia cordata*, *Malus silvestris*, *Catalpa bignonioides*, *Armeniaca vulgaris*, *Aesculus hippocastanum* та *Spiraea vanhouttei*.

До ксерофітів належать 25,35 % дерев, серед яких найпоширенішими є *Ulmus pumila* та *Cotinus coggygria*. Частка ксеромезофітів – 22,10 %, при цьому домінують *Quercus robur* та *Acer negundo*. Мезогідрофіти становлять 9,85 % насаджень, серед яких найбільшу чисельність має *Populus pyramidalis*. Найменш чисельною є група мезоксерофітів, до якої віднесено лише 47 екземплярів, або 2,82 % дерев у лісосмузі. Рослини з групи гідрофітів у досліджуваній зоні не виявлено.

Загальна частка посухостійких та відносно посухостійких дерев у захисній лісосмузі Трансформаторного заводу становить 50,27 %. Це свідчить про те, що підбір видового складу насаджень здійснювався без урахування потреб рослин у волозі. У літній період мезофіти та мезогідрофіти зазнають стресу через недостатній рівень зволоження, оскільки доступна волога в ґрунті часто є нижчою за середні показники.

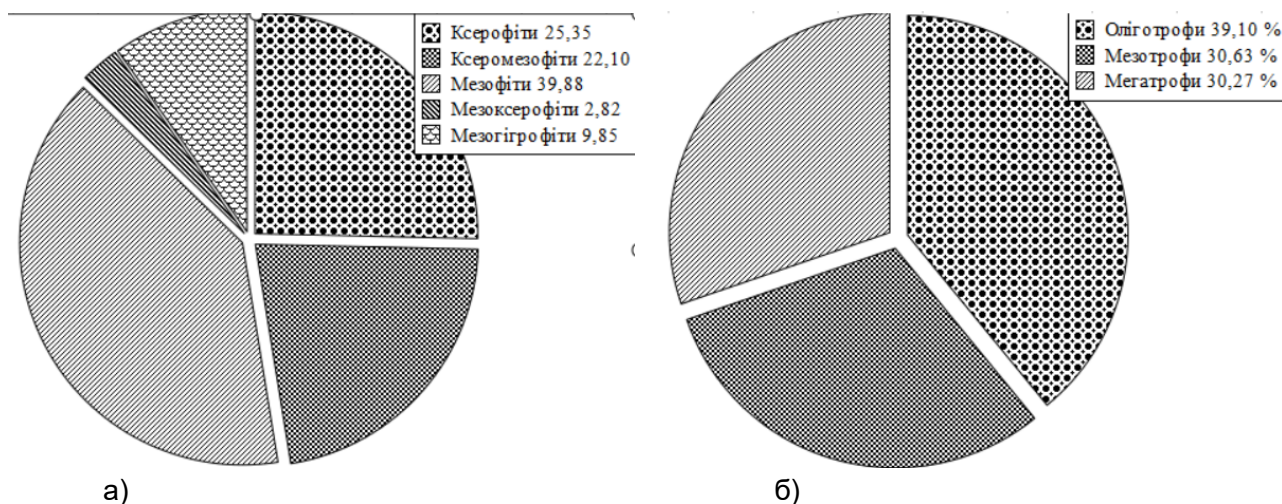


Рис. 3.11 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до вологи (а) та живильності ґрунту (б), % у СЗЗ Трансформаторного підприємства

За рівнем потреби в поживних речовинах у ґрунті в насадженнях переважають оліготрофи – 39,10 % від загальної кількості дерев у лісосмузі (рис. 3.11). Найбільш поширеними серед них є *Ulmus pumila* (7,69 %), *Acer negundo* (9,37 %) та *Cotinus coggygria* (10,33 %). До мезотрофів належать 30,63 % деревних рослин, а частка мегатрофів становить 30,27 %, серед яких переважають *Populus pyramidalis* та *Acer platanoides*.

Зелені насадження санітарно-захисної зони Трансформаторного заводу за конструкцією та рівнем озеленення відповідають нормативним вимогам. Однак для підтримання їхньої екологічної та захисної ефективності необхідно: проводити санітарну обрізку сухих і пошкоджених гілок; замінювати відмираючі дерева на нові, більш стійкі до кліматичних умов та забруднення види; забезпечити регулярний догляд за деревами, особливо у посушливі періоди, щоб запобігти їх ослабленню та загибелі.

**Алюмінієвий комбінат.** Класифікується як підприємство I класу шкідливості. Санітарно-захисна зона займає 11,6 га, з яких площа зелених масивів складає 7 га. Ширина СЗЗ дорівнює 250 м. Деревні насадження розташовані нерівномірно, що спричинено загибеллю частини дерев, внаслідок чого між рядами утворилися значні проміжки. З південної сторони комбіната, уздовж дороги, простягається лісосмуга довжиною 1,2 км, її ширина становить 20 м. Насадження має підлісок. Місцями територія захаращена (рис. 3.12). Щільність деревних насаджень у межах СЗЗ становить 156 шт./га, що є недостатнім для забезпечення ефективного захисту від забруднень.

Рівень озеленення санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату становить 60 %, що відповідає встановленим нормативам. Конструкція зелених насаджень належить до фільтруючого типу, однак потребує відновлення, оскільки в насадженнях спостерігається значна кількість відмираючих дерев, а також великі проміжки між рядами.

У лісосмузі підприємства зростає 24 види деревних рослин, які належать до 17 родин (табл. 3.7). Чагарники в насадженні представлені *Syringa vulgaris*, *Juniperus sabina* та *Daphne mezereum*, частка яких у загальній структурі становить відповідно 0,09 %, 4,95 % та 5,14 % від сумарної кількості рослин у деревостані.

a)



б)



Рис. 3.12 – Ділянки лісосмуг С33 Алюмінієвого заводу: а) численний самосів у насадженні; б) захаращена ділянка

Таблиця 3.7

## Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ Алюмінієвого комбінату

Родина	Назва рослин	Числа рослин шт./%,	Батьківщинв
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i>	2/0,18	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	16/1,47	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	348/31,93	Північна Америка
<i>Fagaceae</i> A.B.R.	<i>Quercus robur</i>	3/0,28	Аб.
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Salix alba</i>	15/1,38	Аб.
	<i>Populus simonii</i>	1/0,09	Північний Китай
	<i>Populus alba</i>	29/2,66	Сибір, Китай, Азія
	<i>Populus nigra</i>	5/0,46	Аб.
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus laevis</i>	32/2,94	Аб.
	<i>Ulmus pumila</i>	361/33,12	Південний Казахстан, Киргизія
<i>Cupressaceae</i> F. Neger	<i>Thuja orientalis</i>	6/0,55	Китай, Корея.
	<i>Thuja occidentalis</i>	25/2,29	Північна Америка
	<i>Juniperus sabina</i>	54/4,95	Аб.
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer pseudoplatanus</i>	2/0,18	Середня, південна Європа
<i>Sapindaceae</i> Juss.	<i>Aesculus hippocastanum</i>	11/1,01	Горні ліси Балканського півострову (Македонія)
<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia cordata</i>	14/1,29	Аб.
<i>Oleaceae</i> Link.	<i>Syringa vulgaris</i>	1/0,09	Балканський півострів
	<i>Fraxinus lanceolata</i>	57/5,23	Північна Америка
<i>Platanaceae</i> Lindl.	<i>Platanus acerifolia</i>	1/0,09	Гібрид, випадково з'явився в Англії
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Sorbus aucuparia</i>	2/0,18	Аб.
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	27/2,48	Північний Китай
<i>Pinaceae</i> Link.	<i>Picea pungens</i>	13/1,19	Північна Америка
<i>Thymelaeaceae</i> Adans.	<i>Daphne mezereum</i>	56/5,14	Аб.
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	9/0,83	Західний Китай
<b>Всього</b>		<b>1090</b>	

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду; Аб. – абориген

У захисних насадженнях виявлено три види голонасінних: *Picea pungens* (13 екз.), *Thuja occidentalis* (25 екз.) та *Thuja orientalis* (6 екз.). Деякі листяні породи, зокрема *Morus alba*, *Populus nigra* та *Quercus robur*, представлені менш ніж десятьма екземплярами. *Platanus acerifolia* і *Populus simonii* мають по одному представнику, а *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia* та *Acer pseudoplatanus* – по два екземпляри.

Панівними видами рослин у складі зеленої смуги є *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus carpinifolia*, частка яких становить 31,93 і 33,12 % відповідно від загальної кількості дерев у деревостані. У захисних насадженнях зростають красивоквіучі види: *Tilia cordata*, *Catalpa bignonioides* та *Syringa vulgaris*.

У зеленій зоні СЗЗ Алюмінієвого комбінату виявлено 9 видів аборигенних дерев (37,5 % від загального складу) та 15 видів інтродукованих (62,5 %). Водночас за кількістю екземплярів значно переважають інтродуковані породи, частка яких становить 83,03 % від сумарного числа деревних рослин у захисних насадженнях даного підприємства.

За критерієм вологозабезпеченості деревні насадження СЗЗ Алюмінієвого підприємства розподілилися наступним чином (рис. 3.13). Найчисельнішу групу становлять ксерофіти, частка яких складає 73,3 % від загальної кількості дерев (799 екз.). У цій групі

домінують *Robinia pseudoacacia* (31,93 % від загального складу насадження) та *Ulmus pumila* (33,12 %). Мезоксерофіти представлені 67 екземплярами (6,15 %). До мезогідрофітів належать *Ulmus laevis*, *Populus nigra* та *Populus alba*, їх чисельність разом становить 6,05 % від усіх рослин у захисній лісосмузі. Частка мезофітів також є порівняно невеликою – 7,89 %, основними представниками цієї групи є *Aesculus hippocastanum*, *Tilia cordata* та *Daphne mezereum*. До ксеромезофітів віднесено 57 екземплярів (5,23 % від сумарної кількості дерев). Найменш чисельною групою є гідрофіти, кількість яких становить 1,38 % від загального складу насадження (15 екземплярів *Salix alba*). Варто зазначити, що це – найвищий відсоток гідрофітів серед усіх обстежених нами захисних зелених насаджень заводів.

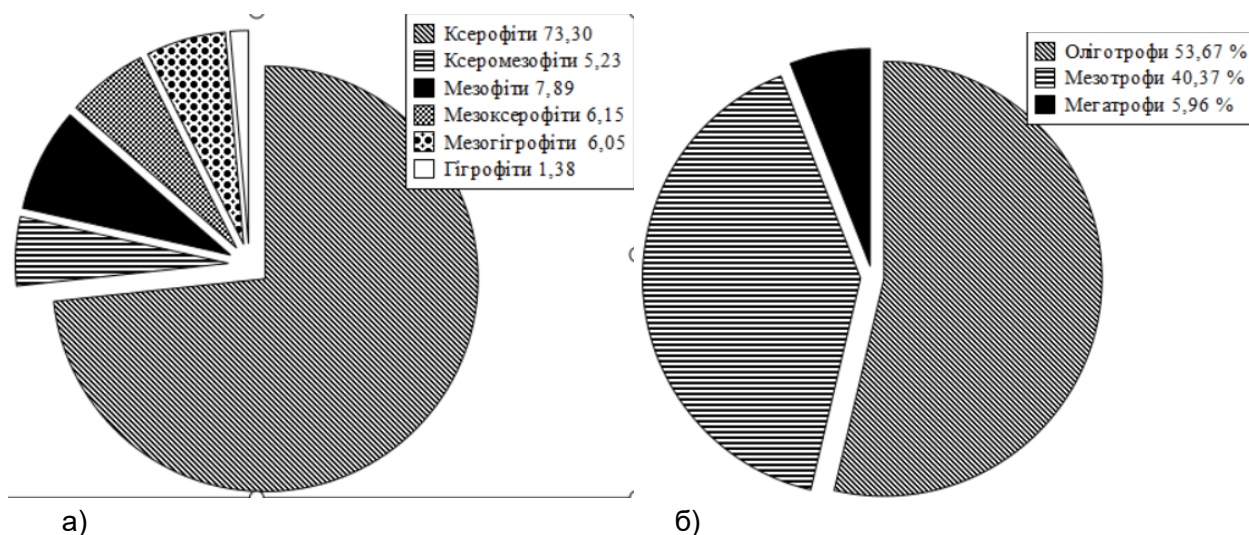


Рис. 3.13 – Співвідношення деревних рослин захисних насаджень Алюмінієвого заводу за показниками вимогами до зволоження (а) та живильності ґрунту (б), %

За класифікацією відношення деревних рослин до забезпеченості ґрунту поживними речовинами більшість дерев захисних зелених зон Алюмінієвого заводу належать до оліготрофів (маловибагливі) (рис. 3.13). Їх частка в загальному складі насаджень становить 53,67 %. Група мезотрофів за кількістю особин знаходиться на другому місці, вона охоплює 40,37 % від обсягу всіх рослин. Найменш представленою є група мегатрофів, до якої віднесено 65 екземплярів дерев (5,96 % від загальної їх кількості).

Таким чином, 79,45 % рослин деревних насаджень комбінату належать до посухостійких, ще 20,55 % – до відносно посухостійких, що повністю відповідає екологічним умовам зростання.

Загалом зелені насадження СЗЗ Алюмінієвого комбінату за своєю конструкцією відповідають встановленим нормам, однак потребують модернізації. Необхідно провести заміщення висихаючих дерев новими, стійкими до забруднення видами, відновити ряди з прогалинами. Також доцільно висадити чагарники у кількості 109 екземплярів, що сприятиме збільшенню листової поверхні та ефективності насаджень.

**Підприємство «Вогнетриє».** Це підприємство належить до III класу шкідливості. Його СЗЗ займає площу 35 га, з яких 23 га припадає на зелені насадження. Індекс озеленення становить 0,65, що відповідає вимогам для даного типу виробництва. З південного боку підприємства зелені насадження представлені рядовими посадками, головним чином деревами *Populus alba*, які висаджені вздовж асфальтної дороги протяжністю 1,1 км. Ця дорога слугує службовим в'їздом. Східна, західна і північна сторони заводу межують з дорогами, що виконують функцію повітряних коридорів. Уздовж паркану підприємства з північної сторони, протяжністю 1,1 км, висаджений ряд *Ulmus pumila*. Ліворуч

з іншого боку автодороги та трамвайної лінії росте густий підріст *Robinia pseudoacacia*, *Acer platanoides*, *Acer negundo* та *Ulmus pumila* у кількості 767 екземплярів, походження якого – самосів цих порід. Висота підросту варіює від 2 до 4 м. Його кількість включена до даних таблиці 3.8. Всі ці рослини, крім *Acer platanoides*, належать до групи інвазійних.

Східна частина підприємства, яка прилягає до проїжджої частини, характеризується домінуванням посадок *Ulmus pumila* та *Populus simonii*. Захисне насадження, що відмежовує промислову територію від житлових районів із західної сторони заводу, представлене широкою смугою, що досягає 180 м завширшки та має протяжність 1,2 км. Щільність насаджень у цій зоні становить 129 екземплярів/га, що є достатнім показником для виконання захисних функцій, проте вони потребують певних покращень.



Рис.3.14 – Зелений масив С33 заводу «Вогнетрив»

Зелена зона розташована також перед адміністративною будівлею підприємства. Вона поділяється на дві частини автодорогою. Деревні насадження, що знаходяться з лівого боку (рис. 3.14), мають чітку рядову структуру, проте в деяких місцях дерева загинули, що призвело до значно збільшення проміжків у рядах і зниження загальної густоти деревостану. На цій ділянці відсутній підріст. У першому ряду, довжина якого становить 30 м, сформовано густий живопліт із *Rosa canina*.

Дерева, що зростають у правій частині зеленої зони, мають занедбаний вигляд. Щільний підріст *Morus alba*, *Fraxinus lanceolata*, *Acer negundo*, *Populus alba* та *Robinia pseudoacacia* досягає 8 м у висоту, утворюючи затінені ділянки з обмеженою циркуляцією повітря. Рослинність у цій частині зелених масивів заводу зростає невеликими групами без чітких рядів. У цілому захисні насадження С33 заводу «Вогнетрив» мають фільтруючу структуру.

У зеленій зоні заводу «Вогнетрив» визначено 2771 рослину, з них 2716 – дерева, 41 – чагарники, 14 – ліани.

Таблиця 3.8

## Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ підприємства «Вогнетрив»

Родина	Назва рослин	Число рослин шт./%	Батьківщина
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i>	11/0,40	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	5/0,18	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	679/24,50	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Salix alba</i>	1/0,04	Аб.
	<i>Populus alba</i>	293/10,57	Сибір, Китай, Азія
	<i>Populus simonii</i>	40/1,44	Північний Китай
	<i>Populus nigra</i>	48/1,73	Аб.
<i>Vitaceae</i> Lindl.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	14/0,51	Північна Америка
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus pumila</i>	669/24,14	Південний Казахстан, Киргизія
<i>Hippocastanaceae</i> Torr.et Grey	<i>Aesculus hippocastanum</i>	16/0,58	Горні ліси Балканського півострову (Македонія)
<i>Juglandaceae</i> Lindl.	<i>Juglans regia</i>	2/0,07	Центральна Азія
<i>Cupressaceae</i> F. Neger	<i>Juniperus sabina</i>	1/0,04	Аб.
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer platanoides</i>	76/2,74	Аб.
	<i>Acer negundo</i>	762/27,50	Північна Америка
<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia cordata</i>	2/0,07	Аб.
<i>Elaeagnaceae</i> Juss.	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	6/0,22	Східне Закавказзя, Середня Азія
<i>Oleaceae</i> Link.	<i>Fraxinus lanceolata</i>	6/0,22	Північна Америка
<i>Platanaceae</i> Lindl.	<i>Platanus acerifolia</i>	1/0,04	Гібрид, що випадково з'явився в Англії
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Rosa canina</i>	40/1,44	Аб.
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	68/2,45	Північний Китай
<i>Pinaceae</i> Link.	<i>Picea abies</i>	3/0,11	Аб.
	<i>Picea pungens</i>	10/0,36	Північна Америка
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	18/0,65	Західний Китай
<b>Всього</b>		<b>2771</b>	

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості дерев у насадженні; Аб – абориген

У захисних насадженнях зростає 23 види деревних рослин з 18 родин (табл. 3.8). Родина *Salicaceae* включає чотири види, *Aceraceae* та *Pinaceae* – по два види, інші представлені одним видом. Ліани у незначній кількості (0,51 % від сумарної чисельності рослин), репрезентовані лише *Parthenocissus quinquefolia* а чагарники – *Rosa canina* та *Juniperus sabina* (1,44 % та 0,04 % відповідно). Деревна флора насаджень включає 20 видів, серед яких два хвойні – *Picea pungens* та *Picea abies*. Найбільш поширеними видами є *Ulmus pumila*, *Acer negundo* та *Robinia pseudoacacia*, які становлять 24,14, 27,50 та 24,50 % відповідно від обсягу рослин. У зелених насадженнях цього заводу виявлено красивоквітучі види рослин: *Aesculus hippocastanum*, *Catalpa bignonioides*, *Tilia cordata* та *Rosa canina*.

У зазисних лісонасадженнях заводу «Вогнетрив» зафіксовано 9 аборигенних та 14 інтродукованих видів, що становить 39,13 % та 60,87 % від загальної кількості відповідно. Чисельно інтродуковані рослини переважають, складаючи 93,22 % усіх дерев у захисній смузі підприємства. Найчисельнішими серед аборигенних видів є *Betula pendula*, *Acer pseudoplatanus* та *Populus nigra*. Що стосується інтродукованих рослин, то найбільш

поширені такі: *Ulmus pumila* (24,14 %), *Robinia pseudoacacia* (24,50 %) та *Acer negundo* (27,50 %) (табл. 3.8).

Аналіз розподілу дерев за відношенням до вологи (рис. 3.15) показав, що 52,14 % дерев у захисній лісосмузі заводу «Вогнетрив» належать до групи ксерофітів. До мезоксерофітів віднесено 3,32 %, а ксеромезофітів – 28,18 % від загальної кількості дерев. До групи ксерофітів входять такі види, як *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Elaeagnus angustifolia*, *Morus alba*, *Ailanthus altissima* та *Juniperus sabina*, з яких перші два є найчисельнішими. Серед ксеромезофітів домінує *Acer negundo*, який представлений 762 екземплярами (27,50 %). У захисних насадженнях заводу виявлено шість видів мезофітів – *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Aesculus hippocastanum*, *Platanus acerifolia*, *Tilia cordata* та *Picea abies*, які загалом становлять 3,95 % від сумарної чисельності деревних рослин. Частка мезогідрофітів становить 12,37 % усіх рослин у насадженні. Ця група екоморф презентована двома видами, найчисельнішими серед них є *Populus alba*, який поступається за кількістю лише трьом основним видам – ксерофітам *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* та ксеромезофіту *Acer negundo*. Найменшою групою є гідрофіти, до яких віднесено лише один екземпляр *Salix alba*. Отже, посухостійкі та відносно посухостійкі рослини становлять більшість у захисній смузі підприємства «Вогнетрив», що відповідає природним умовам регіону та сприяє стабільності насаджень.

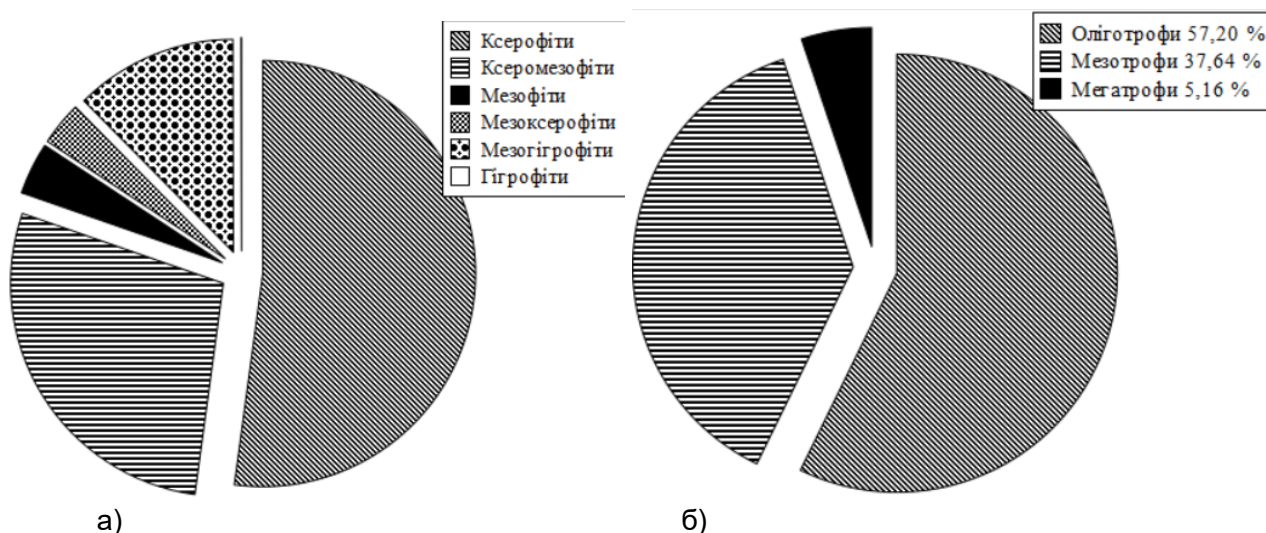


Рис. 3.15 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до вологості (а) та живильності ґрунту (б), % у СЗЗ заводу «Вогнетрив»

За рівнем вимогливості до поживності ґрунту найбільшу частку становлять оліготрофи – 57,2 % від загального обсягу деревних рослин у насадженні (рис. 3.15). Найбільш чисельними серед них є *Acer negundo* та *Robinia pseudoacacia*, частка яких становить 27,50 та 24,50 % відповідно. Група мезотрофів представлена 37,64 % від загальної кількості дерев у насадженні, а мегатрофів – лише 5,16 %. Найбільшу кількість у групі мезотрофів займає *Ulmus pumila*.

Таким чином, захисні насадження СЗЗ підприємства «Вогнетрив» потребують реконструкції. Потрібно їх збагатити чагарниками, стійкими до впливу інгредієнтів промислових викидів, відновити ряди дерев шляхом підсадки молодих. Важливо прорідити підріст інвазійних видів, що спонтанно захопив частину території на пустирях, та видалити самосів цих видів у межах сформованих насаджень.

**Абразивний завод.** Належить до II класу шкідливості. Загальна площа санітарно-захисної зони становить 17,4 га, з яких 10 га зайнято зеленими насадженнями. Ширина СЗЗ становить 700 м, що перевищує нормативні (500 м). Індекс озеленення складає 0,57.

Середня щільність захисних насаджень комбінату – 133 екземпляри/га. Їхня середня ширина – 75 м, а загальна протяжність – 2,2 км. Більша частина насаджень (близько 80 %) розташована на північ від підприємства. Уздовж алеї суцільним рядом зростають чагарники *Daphne mezereum*. Висота живоплоту досягає 1 м, а щільність становить 2 кущі на 1 м<sup>2</sup>. Біля автомобільної дороги домінують насадження *Populus alba*. Також тут висаджені молоді дерева *Aesculus hippocastanum* та *Catalpa bignonioides*, висота яких варіює від 4 до 6 м. У східній частині С33 комбінату переважають молоді дерева *Catalpa bignonioides* та *Robinia pseudoacacia*, що мають висоту 6,1–8,0 м. У південній частині насадження представлені переважно рослинами *Robinia pseudoacacia*. Усі дерева в С33 Абразивного комбінату висаджені рядами, а сама лісосмуга належить до фільтруючого типу.

Таблиця 3.9

Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів С33 Абразивного заводу

Родина	Назва рослин	Число рослин шт./%,	Батьківщина
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	105/2,30	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	548/12,00	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Populus alba</i>	317/6,94	Сибір, Китай, Азія
	<i>Populus nigra</i>	49/1,07	Аб.
<i>Vitaceae</i> Lindl.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	32/0,70	Північна Америка
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus pumila</i>	162/3,55	Південний Казахстан, Киргизія
<i>Hippocastanaceae</i> Torr.et Grey	<i>Aesculus hippocastanum</i>	51/1,12	Горні ліси Балканського півострову (Македонія)
<i>Juglandaceae</i> Lindl.	<i>Juglans regia</i>	7/0,15	Центральна Азія
<i>Cornaceae</i> Link.	<i>Cornus mas</i>	3/0,07	Аб.
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer platanoides</i>	19/0,42	Аб.
	<i>Acer saccharinum</i>	1/0,02	Північна Америка
	<i>Acer negundo</i>	4/0,09	Північна Америка
<i>Elaeagnaceae</i> Juss.	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	2/0,04	Південна Європа Східне Закавказзя, Середня Азія
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Pyrus communis</i>	1/0,02	Аб.
	<i>Armeniaca vulgaris</i>	1/0,02	Горні ліси Тянь-Шаня
	<i>Spiraea vanhouttei</i>	20/0,44	Гібридне походження. Франція
<i>Pinaceae</i> Link.	<i>Picea abies</i>	2/0,04	Аб.
	<i>Picea pungens</i>	9/0,20	Північна Америка
<i>Thymelaeaceae</i> Adans.	<i>Daphne mezereum</i>	3232/70,75	Аб.
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	3/0,07	Західний Китай
<b>Всього</b>		4568	

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин у насадженні; Аб. – абориген

У складі зелених насаджень С33 підприємства виявлено 3 види чагарників, 1 вид ліан та 20 видів дерев. Дендрофлора представлена 14 родинами (табл. 3.9). Родини *Rosaceae* та *Aceraceae* включають по три види, *Salicaceae* та *Pinaceae* – по два, інші родини – по одному виду. Загальна кількість деревних рослин у насадженні становить 4568 екземплярів, з яких 1281 – дерева, 3255 – чагарники, а ліана *Parthenocissus quinquefolia* представлена 32 екземплярами. *Parthenocissus quinquefolia* хаотично поширений по всій території насаджень,

оплітаючи стовбури дерев. З декоративних красивоквітучих рослин зростають *Armeniaca vulgaris*, *Catalpa bignonioides*, *Pyrus communis*, *Daphne mezereum* та *Spiraea vanhouttei*.

Найчисельнішою родиною в захисних насадженнях комбінату є *Thymelaeaceae*, хоча вона представлена єдиним видом – *Daphne mezereum*. Загальна кількість цих чагарників становить 3232 екз. (70,75 % від усіх рослин у насадженні). Вони висаджені щільним рядом уздовж алеї по обидва боки на протяжності 810 м. Менш численні представники інших родин: *Fabaceae* включає також один вид – *Robinia pseudoacacia*, її представленість – 548 екз. (12,00 %). Родина *Salicaceae* презентована двома видами – *Populus nigra* та *Populus alba* у загальній кількості 366 екз. (8,01 %), при цьому чисельно переважає *Populus alba*. З родини *Ulmaceae* в насадженнях зростає *Ulmus pumila* (162 екз., 3,55 %), а з родини *Bignoniaceae* – *Catalpa bignonioides* (105 екз., 2,30 %). Інші родини, за винятком *Vitaceae* та *Hippocastanaceae*, представлені кількістю рослин менше за 20 екз. Окремі види, такі як *Armeniaca vulgaris*, *Acer saccharinum* та *Pyrus communis* зустрічаються лише в одному екземплярі.

Таким чином, захисна лісосмуга Абразивного комбінату складається з великої кількості чагарників, а серед дерев домінують посухостійкі та швидкорослі види, що добре адаптовані до екологічних умов даної території.

Кількість інтродукованих видів рослин у насадженнях СЗЗ Абразивного комбінату становить 13, що відповідає 65,0 % від загальної кількості видів. Натомість аборигенні рослини представлені меншою кількістю – сімома (35,0 %), проте за чисельністю особин вони переважають, складаючи 72,42 % від загального числа рослин у зеленому масиві.

Аналіз розподілу дерев за вибагливістю до вологи показав, що 7,06 % деревних рослин санітарно-захисної смуги належать до мезофітів. До цієї групи відносяться чотири види: *Picea abies*, *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum* та *Spiraea vanhouttei* (рис. 3.16). Група мезогідрофітів складає 28,07 % від загальної кількості рослин, з переважанням у ній *Populus alba*. Ксерофітні види дерев, що здатні переносити посушливі умови, становлять 46,26 %. З цієї групи найбільш поширеною породою в зелених масивах підприємства є *Robinia pseudoacacia*, загальна чисельність якої – 548 екземплярів. До групи мезоксерофітів віднесено 9,41 % деревних рослин, тоді як до ксеромезофітів – 9,20 % загального складу насаджень. Отже, з огляду на кліматичні особливості регіону та рівень забезпечення рослин вологою, асортимент дерев та чагарникових порід у санітарно-захисному насадженні Абразивного комбінату підібрано оптимально.

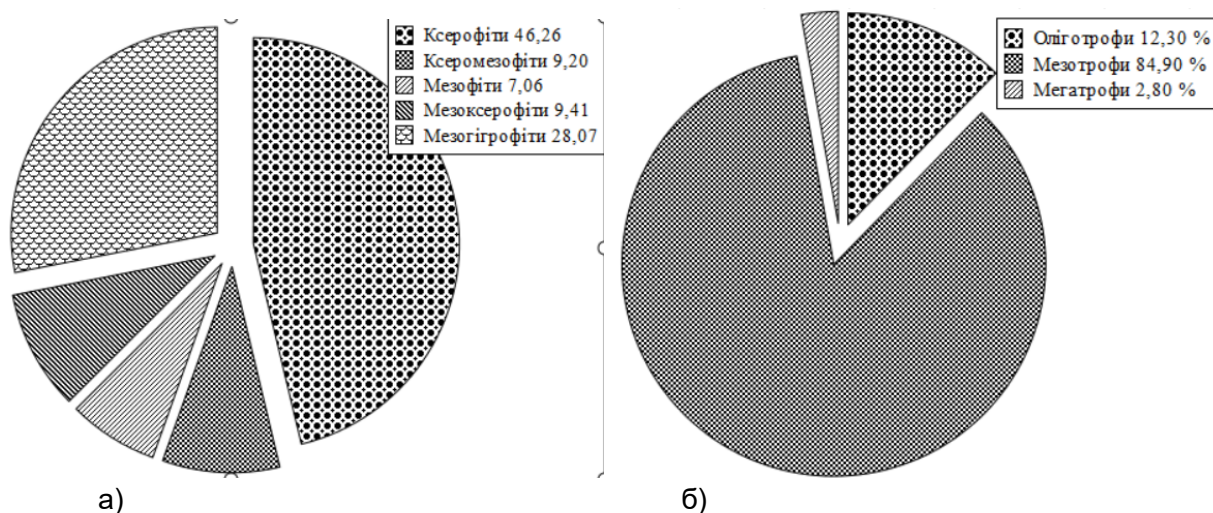


Рис. 3.16 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до зволоження (а) та живильності ґрунту (б), % у СЗЗ Абразивного підприємства

Розподіл рослин за відношенням до родючості ґрунту (рис. 3.16) показав, що в домінують мезотрофи, які складають 84,9 % від суми деревних у насадженні. Найчисельнішим в цій екологічній групі виявився чагарник *Daphne mezereum*, кількість якого сягає 3232 екз. (70,75 % від загального складу насадження). Група мегатрофів представлена малою часткою – 2,8 %, а її видовий склад обмежений. Оліготрофні рослини, що здатні рости на бідних ґрунтах, складають 12,3 % загальної кількості деревної рослинності насаджень санітарно-захисної зони Абразивного комбінату. У цій групі найчисельнішою породою є *Robinia pseudoacacia*.

Таким чином, загальна площа, відведена під зелені насадження в СЗЗ Абразивного комбінату, відповідає нормативним вимогам. Захисні лісосмуги поповнені молодими деревами, серед яких *Aesculus hippocastanum*, *Catalpa bignonioides*, *Robinia pseudoacacia*. Для підтримки ефективності захисної функції насаджень необхідно проводити регулярну санітарну обрізку та здійснювати заміну відмираючих дерев.

**Підприємство «Дніпроспецсталь».** Цей завод належить до I класу шкідливості. Санітарно-захисна зона підприємства, що займає площу 48 га, розташована з південного боку заводу в напрямку до житлових районів міста. Ширина санітарно-захисної смуги становить 1 км, що відповідає встановленим нормам.

Середня ширина зелених насаджень сягає 130 м, а загальна протяжність становить 1,9 км. Площа, зайнята зеленими насадженнями, складає 25 га, що відповідає нормативам, індекс озеленення дорівнює 52 %. Деревя зростають рядами, однак у багатьох місцях ряди перериваються, що пояснюється загибеллю частини рослин. Щільність деревних насаджень оцінюється в 132 шт./га, що є досить низьким показником. Конструкція лісосмуги належить до фільтруючого типу, що дозволяє ефективно зменшувати вплив промислових викидів.

Незважаючи на те, що площа, яка виділена для озеленення, відповідає нормативам, низька щільність насаджень потребує корекції. Для підвищення екологічної ефективності рекомендується додатково висаджувати стійкі до забруднювачів види дерев (рис. 3.17).



Рис. 3.17 – Порушення рядів у деревостані СЗЗ заводу «Дніпроспецсталь»

Таблиця 3.10

Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ підприємства  
«Дніпроспецсталь»

Родина	Назва рослин	Число рослин шт./%,	Походження рослин
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i>	44/2,08	Аб.
<i>Bignoniaceae</i> Juss.	<i>Catalpa bignonioides</i>	25/1,18	Північна Америка
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	779/36,81	Північна Америка
<i>Vitaceae</i> Lindl.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	56/2,65	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Salix alba</i>	2/0,09	Аб.
	<i>Populus alba</i>	17/0,80	Сибір, Китай, Азія
	<i>Populus simonii</i>	203/9,59	Північний Китай
	<i>Populus nigra</i>	1/0,05	Аб.
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus laevis</i>	3/0,14	Аб.
	<i>Ulmus pumila</i>	627/29,63	Південний Казахстан, Киргизія, Китай, Японія
<i>Hippocastanaceae</i> Torr.et Grey	<i>Aesculus hippocastanum</i>	3/0,14	Горні ліси Балканського півострову (Македонія)
<i>Juglandaceae</i> Lindl.	<i>Juglans regia</i>	22/1,04	Центральна Азія
<i>Cupressaceae</i> F. Neger	<i>Thuja occidentalis</i>	60/2,84	Північна Америка
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer platanoides</i>	16/0,76	Аб.
	<i>Acer saccharinum</i>	4/0,19	Північна Америка
	<i>Acer negundo</i>	13/0,61	Північна Америка
<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia cordata</i>	29/1,37	Аб.
<i>Oleacea</i> Link.	<i>Forsythia suspense</i> Vahl.	7/0,33	Китай
<i>Platanaceae</i> Lindl.	<i>Platanus acerifolia</i>	4/0,19	Гібрид, випадково з'явився в Англії
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Armeniaca vulgaris</i>	4/0,19	Горні ліси Тянь-Шаня
	<i>Pyrus communis</i>	1/0,05	Аб.
	<i>Spiraea vanhouttei</i>	111/5,25	Гібридне походження. Франція
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	43/2,03	Північний Китай
<i>Pinaceae</i> Link.	<i>Picea abies</i>	6/0,28	Аб.
	<i>Picea pungens</i>	16/0,76	Північна Америка
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	20/0,95	Західний Китай
<b>Всього</b>		2116	

Примітка: чисельник – число рослин, шт.; знаменник – % від їх кількості у насадженні; Аб. – абориген

У зелених масивах санітарно-захисної зони підприємства Дніпроспецсталь налічується 2116 рослин, серед яких 5,58 % становлять чагарники, 91,77 % – дерева, а на ліани припадає 2,65 % (табл. 3.10). Флористичний склад представлений 26 видами, що належать до 17 родин.

У захисних насадженнях даного заводу виявлено два види чагарників – *Spiraea vanhouttei* та *Forsythia suspensa*, і один вид ліан – *Parthenocissus quinquefolia*. Чагарники зростають перед головним корпусом заводу. У більшій кількості серед них поширена *Spiraea vanhouttei* – 5,25 % від чисельності всіх рослин зеленої зони підприємства. *Parthenocissus*

*quinquefolia* активно поширюється по всій лісосмузі, що призводить до негативного впливу на деревну рослинність.

Зареєстровано лише по одному екземпляру *Pyrus communis* та *Populus nigra*, 2 дерева *Salix alba*, 3 екземпляри *Aesculus hippocastanum* та *Ulmus laevis*, а також по 4 дерева *Acer saccharinum*, *Armeniaca vulgaris*, *Platanus acerifolia*. Домінуючими видами у насадженні є *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*, їхня загальна частка складає 29,63 % та 36,81 % відповідно. У насадженнях також зростають декоративні гарноквітучі види дерев – *Tilia cordata*, *Aesculus hippocastanum* й *Catalpa bignonioides*, сумарна кількість яких налічує 57 екземплярів.

Серед видового складу деревних рослин санітарно-захисного насадження підприємства «Дніпроспецсталь» аборигенними є 8 видів, тоді як інтродукованих майже вдвічі більше – 18 (табл. 3.10). За загальною кількістю екземплярів інтродуценти значно переважають і становлять 95,18 % від усіх рослин, що зростають у зеленій зоні.

Аналіз розподілу досліджуваних рослин за відношенням до вологозабезпечення показав, що найчисельнішу групу становлять ксерофіти – 70,7 % від загальної кількості дерев у насадженні (рис. 3.18). Найпоширенішими серед них є *Ulmus pumila* (29,63 %) та *Robinia pseudoacacia* (36,81 %). Частка мезоксерофітів у загальному складі насаджень становить 11,73 %, найбільшу чисельність у цій групі має *Populus simonii* (9,59 %). Наступною за поширеністю є група мезофітів, до якої належить 10,68 % дерев захисної лісосмуги. Вона представлена 8 видами, серед яких *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Platanus acerifolia*, *Picea abies*, *Spiraea vanhouttei* та *Forsythia suspensa*. Частка ксеромезофітів становить 5,78 % від сумарної чисельності дерев у захисному насадженні. Основними представниками цієї групи є *Thuja occidentalis* (2,84 %) та *Catalpa bignonioides* (1,18 %). Представленість мезогідрофітів у загальній структурі насаджень складає 1,02 %, а до групи гідрофітів входить лише 0,1 % рослин (2 екземпляри *Salix alba*).

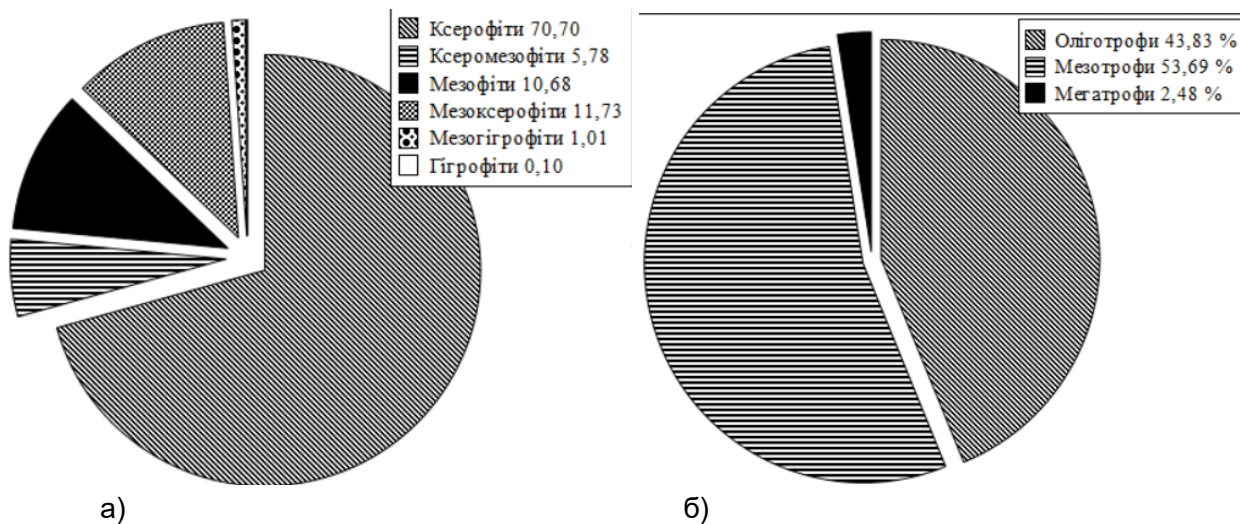


Рис. 3.18 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до вологи (а) та родючості ґрунту (б), % у СЗЗ заводу «Дніпроспецсталь»

Таким чином, 88,21 % деревних рослин, що зростають у досліджуваній захисній лісосмузі, є посухостійкими або відносно посухостійкими. Це свідчить про правильний добір асортименту, оскільки клімат у регіоні обстеження, як вже відмічалось, відзначається низькою кількістю опадів під час вегетаційного періоду та частими періодами посухи, а полив відсутній.

Класифікація відношення видів деревних рослин захисних насаджень до родючості ґрунту (рис. 3.18) показала, що домінуючу групу складають мегатрофи – 53,69 %. Основним

представником цієї групи є *Ulmus pumila*, який становить 29,63 % насаджень зеленої зони. Група оліготрофів є другою за чисельністю особин, її частка від загальної кількості дерев складає 43,83 %. У цій групі домінує *Robinia pseudoacacia* – 36,81 %. Найменш представленою є група мегатрофів – 2,48 %.

З огляду на результати дослідження, захисні насадження СЗЗ потребують реконструкції. Необхідно здійснити висадку нових стійких до забруднювачів деревних порід, а також видалити частину самосіву, що утворює щільні хащі на окремих ділянках. Крім того, доцільним буде висадження чагарників у кількості 76 екземплярів, що становитиме 10 % від загального числа дерев у насадженні.

**Титано-магнієвий комбінат.** Підприємство належить до I класу шкідливості. Ширина санітарно-захисної зони становить 1 км, а загальна площа – 55 га, з яких 27 га займають зелені насадження. Щільність деревостану – 137 шт./га, а значення індексу озеленення – 49,0 %, що майже відповідає нормам. Середня ширина насаджень у зоні становить 90 м. Їх конструкція фільтруючого типу. Всього в захисних насадженнях комбінату виявлено 2111 екз. деревних рослин.

Рослини, що зростають перед адміністративною будівлею комбінату, доглядаються працівниками. У цій зоні висаджені молоді дерева *Aesculus hippocastanum*, *Acer negundo*, а також представники хвойних порід – *Picea pungens*, *Picea abies*, *Thuja orientalis* та *Thuja occidentalis*. Деревні ряди мають перерви на окремих ділянках, де загинула частина рослин. Зелені масиви, що розташовані з північної та південної сторони підприємства, мають занедбаний вигляд. У проміжках між рядами дерев зарості самосіву (*Ulmus pumila*, *Acer negundo* та *Ailanthus altissima*) утворюють щільні хащі, які ускладнюють прохідність території. У цих зонах накопичилося багато сухих гілок та стовбурів дерев, які втратили кору та перебувають у стані сухостою.



i

Рис. 3.19 – Густий підрост у лісосмузі СЗЗ Титано-магнієвого підприємства

Самовідновлення у зоні СЗЗ відбувається активно – підріст складає 456 екз., на окремих ділянках він утворює щільні загушення (рис. 3.19). До складу підросту входять переважно *Acer negundo*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*, висота

яких досягає 4–6 м. *Parthenocissus quinquefolia* поширюється хаотично по всій території санітарно-захисних насаджень.

Дослідження показало, що у захисних насадженнях підприємства зростає 21 вид рослин (20 деревних порід та 1 вид ліан), які віднесені до 14 родин (табл. 3.11). Родина *Salicaceae* представлена чотирма видами дерев, тоді як *Ulmaceae*, *Cupressaceae*, *Pinaceae* та *Aceraceae* мають по два види. Усі інші родини включають лише по одному виду. Деякі види деревних рослин зустрічаються у незначній кількості: *Salix alba* та *Thuja orientalis* зростають у поодиноких екземплярах, а *Tilia cordata* нараховує три особини.

Таблиця 3.11

Таксономічний склад дендрофлори зелених масивів СЗЗ Титано-магнієвого підприємства

Родина	Назва рослин	Число рослин шт./%,	Походження рослин
<i>Betulaceae</i> Gray	<i>Betula pendula</i>	24/1,03	Аб.
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Robinia pseudoacacia</i>	578/24,70	Північна Америка
<i>Vitaceae</i> Lindl.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	29/1,24	Північна Америка
<i>Salicaceae</i> Lindl.	<i>Salix alba</i>	1/0,04	Аб.
	<i>Populus alba</i>	34/1,45	Сибір, Китай, Азія
	<i>Populus simonii</i>	75/3,21	Північний Китай
	<i>Populus nigra</i>	20/0,85	Аб.
<i>Ulmaceae</i> Mirb.	<i>Ulmus laevis</i>	24/1,03	Аб.
	<i>Ulmus pumila</i>	1314/56,15	Південний Казахстан, Киргизія, Китай, Японія
<i>Hippocastanaceae</i> Torr.et Grey	<i>Aesculus hippocastanum</i>	10/0,43	Горні ліси Балканського півострову (Македонія)
<i>Juglandaceae</i> Lindl.	<i>Juglans regia</i>	10/0,43	Центральна Азія
<i>Cupressaceae</i> F. Neger	<i>Thuja orientalis</i>	1/0,04	Китай, Корея.
	<i>Thuja occidentalis</i>	30/1,28	Північна Америка
<i>Aceraceae</i> Lindl.	<i>Acer platanoides</i>	8/0,34	Аб.
	<i>Acer negundo</i>	89/3,80	Північна Америка
<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia cordata</i>	3/0,13	Аб.
<i>Oleacea</i> Link.	<i>Fraxinus lanceolata</i>	13/0,56	Північна Америка
<i>Simarubaceae</i> Lindl.	<i>Ailanthus altissima</i>	44/1,88	Північний Китай
<i>Pinaceae</i> Link.	<i>Picea abies</i>	11/0,47	Аб.
	<i>Picea pungens</i>	10/0,43	Північна Америка
<i>Moraceae</i> Lindl.	<i>Morus alba</i>	12/0,51	Західний Китай
<b>Всього</b>		<b>2340</b>	

Примітка: чисельник – число рослин, шт.; знаменник – % від кількості їх даного виду. Аб. – абориген

Красивоквітучі рослини у насадженні СЗЗ Титано-магнієвого комбінату майже відсутні – зафіксовано лише 13 екземплярів. До них належать *Tilia cordata* та *Aesculus hippocastanum*. До цієї групи можна зарахувати і *Robinia pseudoacacia*, яка широко поширена у цьому зеленому масиві.

Як домінуючі деревні породи у санітарно-захисному насадженні виділені *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*, частка яких становить 56,15 та 24,70 % відповідно від сумарного обсягу рослин. Менш численними є *Thuja occidentalis* (30 екземплярів, 1,28 %), *Populus alba* (34 екземпляри, 1,45 %), *Acer negundo* (89 екземплярів, 3,80 %), *Populus simonii* (75 екземплярів, 3,21 %), *Ailanthus altissima* (44 екземпляри, 1,88 %), та Деякі види дерев, такі як

*Picea pungens*, *Picea abies*, *Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Fraxinus lanceolata*, *Juglans regia*, *Populus nigra*, *Morus alba* та *Ulmus laevis* мають чисельність меншу за 25 екземплярів кожний.

Встановлено, що кількість аборигенних видів деревних рослин складає лише 3,89 %, тоді як інтродуковані переважають – 96,11 %. За чисельністю особин у насадженнях серед інтродукованих видів найширше представлені *Ulmus pumila* (1314 екз., 56,15 %) та *Robinia pseudoacacia* (578 екз., 24,70 %), а серед аборигенних видів *Ulmus laevis* та *Betula pendula* (24 екз., 1,03 % кожний) (табл. 3.11).

Деревні породи, що зростають у санітарно-захисній зоні Титано-магнієвого комбінату, за критерієм вибагливості до вологи розподіляються таким чином: переважають ксерофіти, частка яких становить 83,58 % від загальної кількості деревних рослин (рис. 3.20). Цю групу утворюють лише чотири види – *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Morus alba* та *Ulmus pumila*, причому найбільшу чисельність має *Ulmus pumila*. Другою за кількістю є група мезоксерофітів, що охоплює 4,99 % деревних рослин. До групи мезогідрофітів віднесено *Populus nigra*, *Populus alba* та *Ulmus laevis*, які становлять 3,38 % від загального складу насадження. Найменш чисельними є гідрофіти, представлені лише одним екземпляром *Salix alba*. Мезофіти трапляються у незначній кількості – 2,42 % деревних рослин, серед яких *Picea abies*, *Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides*, *Betula pendula* та *Tilia cordata*. У складі ксеромезофітів нараховано 129 дерев, що відповідає 5,58 % від загальної чисельності зелених насаджень санітарно-захисної зони (табл. 3.11).

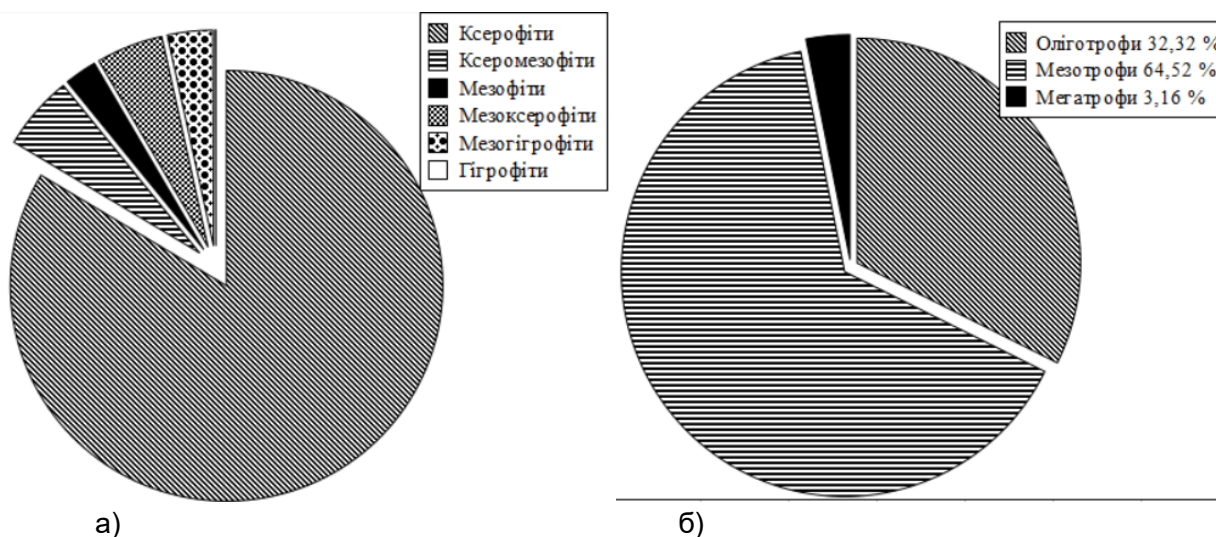


Рис. 3.20 – Співвідношення деревних рослин за вимогами до вологи (а) та живильності ґрунту (б), % у С33 Титано-магнієвого комбінату

Таким чином, 94,15 % дерев, що входять до складу лісосмуги С33 Титано-магнієвого комбінату, є посухостійкими або відносно посухостійкими, що відповідає кліматичним умовам регіону. За критерієм потреби у поживних елементах ґрунту (рис. 3.20) найбільшою є група мезотрофів, які складають 64,52 %. До оліготрофів належить 33,71 % деревних рослин, а найменшою групою є мегатрофи, частка яких становить 3,16 %. Враховуючи, що ґрунти С33 містять достатню кількість поживних речовин, асортимент рослин відповідає вимогам за цим критерієм.

Санітарно-захисні насадження Титано-магнієвого комбінату потребують певних змін, зокрема видалення надмірно розповсюдженого самосіву та підросту інвазійних видів рослин у місцях сильного загущення, відновлення рядовості посадки із рекомендованою відстанню між деревами 3 м. Для покращення ефективності насаджень можна здійснити доповнення їх чагарниковими породами, загальна кількість яких не повинна перевищувати 220 екземплярів.

### 3.2 Різноманіття та подібність видового складу захисних деревних насаджень промислових підприємств м. Запоріжжя

Різноманіття дендрофлори відіграє важливу роль у підвищенні стійкості екосистем до несприятливих біотичних і абіотичних факторів, а отже й до впливу грибкових захворювань та шкідників (Nguyen et al., 2016; Jactel, Brockerhoff, 2007). Однак, як зазначають Ch. Grossiord et al. (2014), високий рівень видового різноманіття не завжди гарантує підвищену витривалість деревних насаджень до останнього фактора.

Для забезпечення екологічної стійкості насаджень у санітарно-захисних зонах необхідно сприяти збагаченню їх видової структури. З цією метою доцільно проводити дослідження рівня різноманіття дендрофлори в захисних лісосмугах різних промислових підприємств, що дозволить розробити обґрунтовані рекомендації щодо їх оновлення та оптимізації. Аналіз видового складу деревної рослинності в зелених масивах одинадцяти санітарно-захисних зон Запорізького промислового регіону показав, що загальна кількість видів деревних рослин у цих насадженнях становить 49, з яких 5 видів належать до хвойних порід. Проте кількісний склад видів рослин у кожному окремому насадженні суттєво варіює. Зокрема, найменша різноманітність зафіксована в С33 підприємства «Склофлюс» – 11 видів, тоді як найбільша – у «Запоріжсталь», де налічується 30 видів дерев та чагарників (Sklyarenko, Bessonova, 2019).

Найбільш поширеними видами дерев у санітарно-захисних насадженнях є *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Populus alba*, *Catalpa bignonioides*, *Betula pendula*, *Morus alba*, *Populus nigra* та *Populus simonii*. Такі види дерев, як *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*, представлені в кожному із досліджуваних захисних зелених масивів.

Рідше трапляються такі види, як *Fraxinus lanceolata*, *Acer platanoides*, *Acer negundo*, *Aesculus hippocastanum* та *Tilia cordata*. Деякі породи дерев виявлені лише в окремих насадженнях. Зокрема, *Pinus sylvestris*, *Cotinus coggygria* та *Sophora japonica* характерні для зеленої смуги Трансформаторного заводу, тоді як *Sambucus nigra* й *Populus balsamifera* відзначені лише в захисному насадженні підприємства Запоріжсталь, а *Forsythia suspensa* – Дніпроспецсталь. *Hibiscus syriacus* і *Symphoricarpos albus* зростають тільки у лісосмузі Укрграфіту.

Аналіз отриманих даних показав, що видовий склад насаджень у різних промислових зонах суттєво відрізняється. Водночас слід зазначити, що за останні п'ять років кількість видів деревних рослин на досліджених ділянках залишилася без змін.

Для визначення подібності видового складу насаджень були використані індекси Жаккара та Соренсена. Результати їх розрахунків подано в таблицях 3.13 та 3.14.

Найвищі значення коефіцієнтів подібності видового складу встановлені для деревостанів санітарно-захисних зон Титано-магнієвого комбінату та заводу Вогнетрив, які склали 0,68 за Жаккаром і 0,81 за Соренсеном. Такий результат цілком закономірний, оскільки створення цих насаджень відбувалося в один часовий період (1960-ті роки), і територіально вони розташовані поруч. Високий рівень подібності дендрофлори також відзначено між захисними лісосмугами Титано-магнієвого комбінату та заводу Дніпроспецсталь – 0,67 та 0,80 відповідно. Дещо нижчі показники отримані при порівнянні дендрофлори Дніпроспецсталі та Вогнетриву: коефіцієнти становили 0,62 та 0,77. Великі значення коефіцієнтів подібності також визначені для насаджень Титано-магнієвого та Алюмінієвого комбінатів, а також при порівнянні дендрофлори С33 підприємств Вогнетрив, Укрграфіт та Алюмінієвого комбінату.

Таблиця 3.12

## Зустрічальність видів деревних рослин у зелених зонах підприємств м. Запоріжжя

Назва рослин	Назви заводів										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Acer negundo</i>	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+
<i>Acer platanoides</i>	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+
<i>Acer pseudoplatanus</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-
<i>Acer saccharinum</i>	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
<i>Aesculus hippocastanum</i>	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+
<i>Ailanthus altissima</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Armeniaca vulgaris</i>	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-
<i>Betula pendula</i>	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+
<i>C. bignonioides</i>	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cornus mas</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-
<i>Cotinus coggygria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Daphne mezereum</i>	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-	-
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+
<i>Forsythia suspensa</i>	-	-	-	-	+						
<i>Fraxinus lanceolata</i>	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+
<i>Hibiscus syriacus</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Juglans regia</i>	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+
<i>Juniperus sabina</i>	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+
<i>Malus domestica</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
<i>Malus silvestris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Morus alba</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Picea abies</i>	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+
<i>Picea pungens</i>	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+
<i>Pinus sylvestris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Platanus acerifolia</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+
<i>Populus alba</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Populus balsamifera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Populus nigra</i>	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+
<i>Populus pyramidalis</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
<i>Populus simonii</i>	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+
<i>Prenus tomentosa</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
<i>Pyrus communis</i>	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-
<i>Quercus robur</i>	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-
<i>Robinia pseudoacacia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rosa canina</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+
<i>Salix alba</i>	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+
<i>Sambucus nigra</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Sophora japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Sorbus aucuparia</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
<i>Spiraea vanhouttei</i>	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-
<i>Symphoricarpos albus</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Syringa vulgaris</i>	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
<i>Thuja occidentalis</i>	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-
<i>Thuja orientalis</i>	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-
<i>Tilia cordata</i>	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+
<i>Ulmus laevis</i>	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-
<i>Ulmus carpinifolia</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
<i>Ulmus pumila</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ulmus glabra</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-

Примітка: назви заводів: 1 – Титано-магнієвий комбінат; 2 – «Кокс»; 3 – «Склофлюс»; 4 – «Укрграфіт»; 5 – «Дніпроспецсталь»; 6 – Абразивний комбінат; 7 – Алюмінієвий комбінат; 8 – Феросплавний завод; 9 – «Запоріжсталь»; 10 – Трансформаторний завод; 11 – «Вогнетрив»; «+» – присутність виду рослини, «-» – відсутність виду рослини

Великі величини коефіцієнтів подібності також визначені для насаджень Титано-магнієвого та Алюмінієвого комбінатів, а також при порівнянні дендрофлори СЗЗ підприємств «Вогнетрив», «Укрграфіт» та Алюмінієвого комбінату.

Таблиця 3.13

Коефіцієнт подібності видового складу деревостанів СЗЗ заводів м. Запоріжжя, за Жаккаром

Назви заводів	Назви заводів										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	–	0,33	0,29	0,47	0,67	0,39	0,57	0,32	0,47	0,35	0,68
2	0,33	–	0,44	0,30	0,32	0,24	0,33	0,47	0,23	0,19	0,36
3	0,29	0,44	–	0,31	0,29	0,25	0,35	0,41	0,28	0,09	0,22
4	0,47	0,30	0,31	–	0,41	0,35	0,46	0,38	0,42	0,26	0,53
5	0,67	0,32	0,29	0,41	–	0,57	0,48	0,27	0,48	0,42	0,62
6	0,39	0,24	0,25	0,35	0,57	–	0,26	0,28	0,48	0,36	0,46
7	0,57	0,33	0,35	0,46	0,48	0,26	–	0,37	0,45	0,32	0,53
8	0,32	0,47	0,41	0,38	0,27	0,28	0,37	–	0,30	0,18	0,40
9	0,47	0,23	0,28	0,42	0,48	0,48	0,45	0,30	–	0,36	0,48
10	0,35	0,19	0,09	0,26	0,42	0,36	0,32	0,18	0,36	–	0,37
11	0,68	0,36	0,22	0,53	0,62	0,46	0,53	0,40	0,48	0,37	–

Примітка: назви підприємств позначені як на табл. 3.12

Таблиця 3.14

Коефіцієнт подібності видового складу деревостанів СЗЗ заводів м. Запоріжжя, за Серенсеном

Назви заводів	Назви заводів										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	–	0,50	0,45	0,64	0,80	0,56	0,73	0,48	0,64	0,52	0,81
2	0,50	–	0,61	0,46	0,49	0,38	0,50	0,64	0,38	0,32	0,53
3	0,45	0,61	–	0,47	0,44	0,40	0,51	0,58	0,43	0,16	0,36
4	0,64	0,46	0,47	–	0,58	0,52	0,63	0,55	0,59	0,42	0,69
5	0,80	0,49	0,44	0,58	–	0,72	0,65	0,42	0,65	0,59	0,77
6	0,56	0,38	0,40	0,52	0,72	–	0,41	0,43	0,65	0,53	0,63
7	0,73	0,50	0,51	0,63	0,65	0,41	–	0,54	0,62	0,48	0,70
8	0,48	0,64	0,58	0,55	0,42	0,43	0,54	–	0,46	0,31	0,64
9	0,64	0,38	0,43	0,59	0,65	0,65	0,62	0,46	–	0,53	0,65
10	0,52	0,32	0,16	0,42	0,59	0,53	0,48	0,31	0,53	–	0,54
11	0,81	0,53	0,36	0,69	0,77	0,63	0,70	0,57	0,65	0,54	–

Примітка: назви підприємств позначені як на табл. 3.12

Найменший рівень подібності у видовому складі рослин зафіксовано між насадженнями санітарно-захисних зон заводів Трансформаторного та «Склофлюс», а також між Трансформаторним та Феросплавним заводами. Перший розташований на значній відстані від металургійного промислового комплексу та належить до IV класу шкідливості. Завдяки цьому вплив промислових забруднювачів на рослинність у цій зоні є значно меншим, що дозволило формувати склад деревних насаджень не лише з урахуванням їхньої стійкості, а й декоративних характеристик. Крім того, істотну роль у підборі асортименту

дерев відіграло керівництво підприємства, яке свого часу активно працювало над оптимізацією захисних насаджень.

Порівняльний аналіз складу деревостанів санітарно-захисних зон промислових підприємств Запоріжжя показує, що індекс подібності значно варіює. За Жаккаром його значення змінюється у межах 0,09–0,67, а за Соренсеном — 0,16–0,81. Хоча показники, отримані за методом Соренсена, дещо вищі, діапазон варіації коефіцієнтів, розрахованих обома методами, є подібним. Однак крайні значення індексів трапляються рідко, більшість показників знаходиться у середньому діапазоні.

Цікаво відзначити, що в умовах міських екосистем коефіцієнт подібності дендрофлори парків, розрахований за Жаккаром, зазвичай змінюється в межах 0,30–0,70 (Kovuzin, Belyaeva, 2008). Це свідчить про те, що в окремих промислових санітарно-захисних зонах Запоріжжя видовий склад лісосмуг значно менш схожий між собою порівняно з міськими парками.

Для оцінки видового різноманіття деревних насаджень у СЗЗ Запорізького промислового регіону проведено розрахунок індексів біорізноманіття та домінування. Важливо відзначити, що кількість рослин окремих видів змінювалася протягом 2016–2024 років унаслідок природного відпаду та висаджування нових екземплярів.

Показники видового багатства у досліджуваних деревостанах СЗЗ підприємств за індексом Маргалефа представлені у таблиці 3.15. Найвищі його значення зафіксовані у захисних лісосмугах підприємств «Укрграфіт» (3,68) та «Запоріжсталь» (3,56), що вказує на найбільше видове різноманіття деревних рослин саме в цих СЗЗ. Високі показники також виявлені у насадженнях СЗЗ Трансформаторного, Алюмінієвого заводів та «Дніпроспецсталь», хоча вони дещо нижчі порівняно з даними, отриманими для захисних зелених масивів заводу «Укрграфіт».

Таблиця 3.15

Коефіцієнти видового різноманіття деревних насаджень зелених зон заводів

Підприємство	Індекси видового багатства та різноманіття біоценозів		Індекси домінування	
	Маргалефа	Шеннона	Бергера – Паркера	Сімпсона
Титано-магнієвий комбінат	2,453	0,617	0,569	0,390
Кокс	1,599	0,809	0,286	0,181
Склофлюс	1,490	0,462	0,686	0,507
Укрграфіт	3,697	0,957	0,322	0,163
Дніпроспецсталь	3,145	0,800	0,378	0,251
Абразивний комбінат	2,138	0,472	0,713	0,529
Алюмінієвий комбінат	3,289	0,870	0,331	0,223
Завод феросплавів	1,696	0,432	0,533	0,449
Запоріжсталь	3,563	0,707	0,382	0,271
Трансформаторний завод	3,37	1,181	0,159	0,084
Завод Вогнетрив	2,651	0,797	0,276	0,209

Найнижчий рівень видового багатства (за Індексом Маргалефа) встановлено у захисних зелених масивах підприємства «Склофлюс» (1,49), що пояснюється невеликою площею цієї СЗЗ і значним домінуванням представників родини *Ulmaceae*. Низькі значення цього індексу також отримані для санітарно-захисних зон Коксохімічного (1,60) та Феросплавного заводів (1,70). Отже, показники видового багатства для одинадцяти досліджених СЗЗ змінюються від 1,49 («Склофлюс») до 3,68 («Укрграфіт»).

Для оцінки видового різноманіття в угрупованнях із невеликою кількістю видів застосовується індекс Шеннона. Він часто використовується для аналізу як природних, так і штучних екосистем (Blood et al., 2016; Hejda et al., 2009; Nagendra & Gopal, 2009). Оцінка біорізноманіття дендрофлори захисних лісосмуг досліджуваних підприємств за індексом Шеннона показала, що отримані результати дещо відрізняються від показників, розрахованих за Маргалєфом. Наприклад, за індексом Маргалєфа найвище видове багатство притаманне СЗЗ підприємства «Укрграфіт», тоді як за Шенноном – Трансформаторного заводу.

Найменший показник видового багатства за Шенноном, аналогічно до індексу Маргалєфа, виявлено для дендрофлори санітарно-захисної зони підприємства «Склофлюс» (0,46). Відмінності в оцінці різноманіття за індексами Шеннона та Маргалєфа пояснюються особливостями методології їхнього розрахунку. Індекс *Маргалєфа* (*dmg*) оцінює видовий склад або ж щільність видів, відображаючи співвідношення їхньої кількості до площі або до загального числа особин у насадженні (Margalef, 1958). Чим більше різноманіття у складі деревостану, тим вищий цей показник. У разі збільшення загального числа рослин без змін у кількості їх видів індекс знижується. Індекс Шеннона (Shannon, Weaver, 1963) оцінює водночас два ключові параметри біорізноманіття: чисельність видів і рівномірність їхньої кількісної представленості. Тому цей індекс використовується як комплексний показник стану біоценозів, їхньої стійкості та організованості. Він застосовується не лише для аналізу окремих видів, а й для таксонів вищого рівня або ж інших компонентів екосистеми.

Загалом отримані результати вказують на низьке видове багатство переважної більшості досліджених насаджень СЗЗ. Для співставлення проаналізуємо дані, що надані у науковій літературі. Так, у лісових екосистемах передмістя та міст південно-східних регіонів США індекс Шеннона становить 2,3–3,2, що пояснюється більшою кількістю немісцевих, інвазійних видів дерев (Blood et al., 2016). У вторинних лісах Барангаю Каміас (Філіппіни) індекс Шеннона дорівнює 2,28 (Mancera et al., 2013), а для лісових масивів у північній частині Західної Вірджинії – 1,68–2,40 (Brashears et al., 2004). У лісах Харківської області значення цього показника варіюють у межах 1,4–2,7 (Букша та ін., 2014), а у запорізьких парках – 3,76–4,21 (Чонгова, 2013). Для насаджень парку смт Петриківка коефіцієнт видового різноманіття за Маргалєфом становить 12,5 (Бессонова, Іванченко, 2021). Порівняно з іншими селищними парками Дніпропетровської області цей показник є найбільшим. Так, для парків у смт Іларіонове та Магдалинівка він дорівнює – 11,5 та 7,0 відповідно (Бессонова, Іванченко, 2020; Іванченко, Бессонова, 2020), у парку смт Обухівка – 5,1 (Бессонова та ін., 2024), а у с. Олександрівка – 7,7 (Ivanchenko, Bessonova, 2015).

Ці значення суттєво вищі за показники, отримані для обстежених нами санітарно-захисних насаджень запорізьких підприємств, що свідчить про значно менше видове різноманіття останніх. Водночас у міських парках Бангалора (Індія) індекс Шеннона має досить низькі значення – 0,9–1,1 (Nagendra, Gopal, 2009).

Оцінка рівня домінування у деревних насадженнях проводилась за індексом Бергера-Паркера. Цей показник відображає частку найбільш поширеного виду, що дозволяє оцінити його домінуючий вплив у насадженні (Magurran, 2004). Розраховані значення цього індексу (табл. 3.15) вказують на те, що у деяких санітарно-захисних лісосмугах надмірно домінує один вид. Це особливо помітно для підприємств «Склофлюс», «Феросплавів», Абразивного та Титано-магнієвого комбінатів. Для підвищення стійкості насаджень та покращення їхніх екологічних функцій необхідно збагачувати видовий склад цих лісосмуг шляхом підсаджування нових порід дерев.

Аналіз домінування деревних видів у захисних насадженнях з використанням індексу Сімпсона показує результати, схожі з тими, що були отримані при застосуванні індексу Бергера-Паркера. Найвищі значення цього показника встановлені для санітарно-захисних зон чотирьох підприємств – «Склофлюс», «Феросплавів» Абразивного, та Титано-магнієвого

комбінатів. Це свідчить про низький рівень видового різноманіття та значну перевагу окремих видів (значне домінування) у загальній структурі насаджень.

У захисних лісосмугах заводів «Склофлюс», «Феросплавів», Титано-магнієвого комбінату домінуючим видом є *Ulmus pumila*, частка якого у загальному складі дерев становить 68,61 %; 56,15 % та 53,34 % відповідно (Sklyarenko, Bessonova, 2019). У насадженнях Абразивного комбінату переважає *Daphne mezereum*, кількість особин якої складає 70,75 % від загальної чисельності рослин у деревостані цього підприємства.

Як видно з табл. 3.15, відносно високі показники домінування спостерігаються також у зелених масивах підприємств «Дніпроспецсталь», «Запоріжсталь» та Алюмінієвий комбінат. Найнижчі значення цього показника за індексами Сімпсона і Бергера-Паркера характерні для захисних насаджень Трансформаторного заводу – 0,084 та 0,159 відповідно. Відомо, що чим нижчі ці значення, тим рівномірніше розподілені рослинні угруповання за чисельністю, тобто немає чітко вираженого домінанта. Індeksi домінування за Сімпсоном використовуються у дослідженнях різних природних екосистем (Mancera et al., 2013). Для природних лісів Харківської області цей показник варіює у межах 0,15–0,37 (Букша та ін., 2014). Порівняння цих даних з результатами, отриманими для захисних лісосмуг промислових підприємств, демонструє значно вищий рівень домінування у чотирьох досліджених СЗЗ. Для міського парку цей показник коливається в межах 0,09–0,15, що підтверджує значно меншу концентрацію домінуючих видів порівняно з насадженнями санітарно-захисних зон промислових об'єктів.

Таким чином, у результаті виконаних досліджень можна зробити такі узагальнення. Санітарно-захисні лісосмуги одинадцяти промислових підприємств відповідають нормативним вимогам щодо площі озеленення та конструкції, за винятком деяких ділянок насаджень підприємств «Вогнетрив» і «Укрграфіт». Проте їхній стан потребує реконструкції через значну кількість старих та ослаблених дерев, що зумовлено віком та негативним впливом промислових забруднень.

Загалом у захисних зелених зонах заводів Запоріжжя виявлено 49 видів деревних рослин, 10 з яких зростають на територіях більшості досліджених СЗЗ, решта – на окремих з них. Видовий склад насаджень значно різниться, варіюючи від 11 («Склофлюс») до 30 видів («Запоріжсталь»). Такі рослини, як *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*, виявлені у кожному обстеженому насадженні СЗЗ одинадцяти промислових підприємств. Серед найпоширеніших видів дерев, що зростають у більшості досліджених санітарно-захисних зелених масивів, можна виділити *Betula pendula*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Populus simonii*, *Populus alba*, *Catalpa bignonioides*, *Morus alba*, та *Populus nigra*. Водночас лише два з них – *Betula pendula* та *Populus nigra* — належать до місцевих видів.

Дещо рідше трапляються такі види дерев, як *Acer platanoides*, *Tilia cordata* (аборигенні породи), а також *Aesculus hippocastanum* та *Fraxinus lanceolata* (інтродуковані). Такі рослини, як *Cotinus coggygria*, *Pinus sylvestris* та *Sophora japonica*, зустрічаються виключно у санітарно-захисному насадженні Трансформаторного заводу, причому лише остання рослина є інтродукованою. *Populus balsamifera* та *Sambucus nigra* ростуть тільки у захисних насадженнях заводу «Запоріжсталь», тоді як *Hibiscus syriacus* та *Symphoricarpos albus* – лише у зелених масивах підприємства «Укрграфіт», а *Forsythia suspensa* – у насадженнях «Дніпроспецсталь».

Серед аборигенних видів рослин, які домінують у захисних насадженнях одинадцяти підприємств, найбільшу чисельність мають *Daphne mezereum* (14,87 % від загальної кількості деревних рослин), *Acer platanoides* (1,40 %), *Tilia cordata* (1,40 %), *Ulmus laevis* (1,04 %) та *Betula pendula* (0,92 %). Найчисельнішими інтродукованими видами є *Ulmus pumila* (27,24 %), *Robinia pseudoacacia* (21,78 %), *Acer negundo* (11,95 %), *Populus alba* (3,62 %) та *Ailanthus altissima* (3,05 %) (додаток 1. Табл. А).

Згідно з дослідженнями (Бессонова, Пономарьова, 2016), у посушливих умовах зростання високий рівень життєздатності демонструють *Morus alba* та *Armeniaca vulgaris*. Проте їхня частка у зелених захисних насадженнях Запорізького промислового регіону незначна (0,05 та 1,02 % відповідно), що зрозуміло, оскільки висаджувати плодово-ягідні рослини у санітарно-захисних зонах не рекомендується. У обстежених зелених масивах види таких рослин, як *Forsythia suspensa*, *Hibiscus syriacus*, *Syringa vulgaris*, *Pyrus communis*, *Sambucus nigra*, *Rosa canina*, *Prunus tomentosa* та *Populus balsamifera* зустрічаються у кількості менше 10 екземплярів.

Для санітарно-захисних насаджень Абразивного підприємства основними видами є *Daphne mezereum* та *Robinia pseudoacacia*; для підприємства «Укрграфіт» – *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia* та *Morus alba*. У захисних лісосмугах заводів «Дніпроспецсталь», Алюмінієвого та Титано-магнієвого комбінатів домінують *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*. Лісові насадження в межах санітарно-захисної зони заводів «Коксохім» та «Вогнетрив» представлені переважно *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*. Варто зазначити, що значна присутність *Acer negundo* у цих насадженнях є результатом його природного самовідновлення. Основними породами у лісосмугах СЗЗ підприємств «Склофлюс» і «Коксохім» є *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*, у насадженнях Феросплавного заводу домінують *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*.

За критеріями потреби у волозі та родючості ґрунту усі види деревних у досліджених насадженнях СЗЗ відповідають умовам зростання, окрім рослин насаджень Трансформаторного заводу, де асортимент підібрано не зовсім відповідно до посушливих кліматичних умов. Це, можливо, пояснюється тим, що за рослинами зелених зон підприємства здійснюється догляд.

Інтродуковані види дерев і чагарників широко використовуються у зелених зонах України. Їхня кількість у міських зелених масивах перевищує чисельність місцевих видів у кілька разів (Кохно, 2007). Рослини-інтродуценти відіграють ключову роль у покращенні міського середовища та сприяють збереженню природного біорізноманіття (Alvey, 2006).

Важливість інтродуцентів зумовлена їхньою стійкістю до несприятливих факторів та декоративними якостями, що сприяє збагаченню дендрофлори міських територій. Основним критерієм успішного вирощування таких рослин є їхня адаптивна мінливість, яка забезпечує виживання у специфічних умовах. Переважна більшість інтродуцентів, що використовуються у санітарно-захисних насадженнях промислових підприємств Запоріжжя, демонструє високий рівень стійкості до забруднення, посухи та підвищених температур.

Кількість видів інтродукованих деревних рослин у обстежених захисних зелених зонах промислових підприємств Запорізького регіону коливається від 57,7 % до 69,2 % від їх загального обсягу у деревостанах. Найвищою вона є у зелених масивах СЗЗ підприємства «Дніпроспецсталь» (68,0 %) та Феросплавного заводу (69,2 %). Кількість видів інтродукованих рослин мало відрізняється і в санітарно-захисних зонах таких заводів, як «Укрграфіт» (63,0 % від числа видів), «Абразивний» (63,1 %), «Склофлюс» (63,6 %), Титано-магнієвого комбінату (65,0 %). У СЗЗ Алюмінієвого та Коксохімічного заводів цей показник однаковий і становить 58,3 %, а близьким за значенням він є й для захисних насаджень Трансформаторного заводу – 57,7 %.

Проте за кількістю особин, що належать до видів деревних рослин, які походять з інших географічних зон, захисні зелені масиви досліджуваних підприємств значно відрізняються. У лісосмузі Абразивного комбінату виявлено найменшу їхню чисельність – 27,0 % від усіх рослин даного деревостану. Відносно невелика кількість таких рослин зростає у СЗЗ Трансформаторного заводу – 45,6 %. За часткою екземплярів інтродуцентів від загальної кількості деревних рослин у зелених насадженнях СЗЗ заводи можна розташувати в такій послідовності: «Вогнетрив» (93,0 %), «Дніпроспецсталь» (95,0 %), «Титано-магнієвий»

(96,1 %), «Запоріжсталь» (97,5 %), «Склофлюс» (97,7 %), «Феросплавів» (99,2 %). Отже, у деревостанах СЗЗ цих підприємств практично всі особини рослин є інтродуцентами.

У захисних насадженнях СЗЗ заводів Коксохімічного, Алюмінієвого та «Укрграфіт» кількість рослин-інтродуцентів дещо менша порівняно з насадженнями СЗЗ перелічених вище заводів – 83,0; 83,2; 84,1 % відповідно до чисельності всіх деревних рослин у їх зелених зонах.

Слід зазначити, що деякі види інтродуцентів, які зростають у досліджених лісосмугах, проявляють значну інвазійну активність. До найагресивніших належать *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia* та *Acer negundo*. Їхній самосів швидко розповсюджується, утворюючи густі зарості за відсутності належного догляду, що може негативно впливати на щільність насаджень, їхню структуру й фільтрувальну здатність, а також на біорізноманіття. Однак необхідно підкреслити, що у сформованих захисних насадженнях досліджуваних підприємств саме ці види дерев характеризуються найвищою стійкістю в умовах зростання та найефективнішим виконанням санітарно-гігієнічних функцій.

Особливо небезпечним інвазійним видом є *Parthenocissus quinquefolia*, який трапляється у шести санітарно-захисних лісосмугах, швидко розростається та обвиває дерева, перешкоджаючи їх нормальному розвитку. Як зазначають дослідники (Абдулоєва, Карпенко, 2012), притінення стимулює активний ріст цієї ліани, а механічне ушкодження спричиняє інтенсивне відгалуження нових пагонів. Тому необхідно здійснювати регулярний контроль та механічне видалення рослин *Parthenocissus quinquefolia* у межах санітарно-захисних лісосмуг.

Розраховані за Шенноном і Маргалєфом коефіцієнти видового багатства свідчать про найбільше різноманіття деревних рослин у зелених зонах Трансформаторного, Алюмінієвого заводів і «Запоріжсталь». Найменшим цей показник був для захисних зелених масивів заводу «Укрграфіт». Коефіцієнт домінування Сімпсона і Бергера-Паркера найвищий для деревостанів заводів «Склофлюс», «Феросплавів» й Абразивного комбінату, а найменший – для насаджень Трансформаторного заводу і «Укрграфіт».

Таким чином, санітарно-захисні насадження більшості підприємств потребують розширення видового складу з урахуванням стійкості дерев до промислових поллютантів та екологічних умов. Для покращення стану зелених насаджень санітарно-захисних зон доцільно впровадити комплекс заходів, спрямованих на підвищення їхньої екологічної ефективності. Зокрема, рекомендується здійснити доповнення деревостану на ділянках із сухостоєм та на місці розривів рядів між деревам, висаджуючи стійкі до впливу промислових поллютантів молоді рослини. Варто систематично проводити омолоджувальну обрізку, а також видалення сухостійних та аварійних дерев. Особливу увагу слід приділити очищенню територій, де самосів інвазійних видів утворює надмірно щільні зарості, що порушують структуру насаджень. Необхідним є також прорідження спонтанного підросту, щільність і розміщення якого суперечать вимогам до конструкцій зелених насаджень у СЗЗ. Доцільним є введення до складу насаджень чагарникових порід у кількості 5–10 % від загальної чисельності дерев, що сприятиме збільшенню листової поверхні, посиленню пилопоглинальної здатності та підвищенню санітарно-гігієнічної ефективності зелених масивів. До рекомендованих для використання чагарників, які характеризуються високою стійкістю до забруднювачів, належать: *Juniperus communis*, *Euonymus europaea*, *Ligustrum vulgare*, *Cornus alba*, *Rosa canina*.

## РОЗДІЛ 4

### ТАКСАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ДЕРЕВ САНІТАРНИХ НАСАДЖЕНЬ ЗАВОДІВ М. ЗАПОРІЖЖЯ

#### 4.1. Аналіз розподілу дерев за висотними характеристиками в СЗЗ промислових об'єктів м. Запоріжжя

Таксаційні показники є ключовим елементом аналізу деревних насаджень, оскільки вони дозволяють визначити та описати стан деревостану за його біологічними та санітарно-гігієнічними параметрами. Отримані дані застосовуються для розробки заходів з оптимізації існуючих ландшафтних структур, догляду за зеленими насадженнями та архітектурного планування територій. Динамічні нормативи основних таксаційних характеристик деревостанів відіграють важливу роль у формуванні ефективної системи їх обліку (Оборська, 2010).

Висота дерев, що залежить від вікових характеристик, вважається одним із найточніших критеріїв для класифікації насаджень за рівнем їх продуктивності (Цурик, 2008). Особливості змін таксаційних параметрів деревних рослин у процесі вікового розвитку значною мірою зумовлюються структурою посадок та екологічними умовами зростання. Ці фактори особливо важливо враховувати в умовах впливу аеротехногенних забруднень.

Таксаційні показники є також основними параметрами, що характеризують запас фітомаси та приріст як окремих дерев, так і цілісних насаджень. Вони дозволяють оцінювати як сприятливі, так і несприятливі умови росту. Ці дані мають вирішальне значення при плануванні реконструкції насаджень, оскільки структурні параметри закладаються ще на етапі проектування. У цьому процесі важливо враховувати особливості формування крони та стовбура дерев.

З огляду на вікові зміни деревних рослин, під час реконструкції насаджень слід передбачати їх оптимальне поєднання та просторове розташування вже на етапі висадки. Це дозволить у майбутньому забезпечити відповідність структури насаджень як таксаційним параметрам, так і художньому задуму в період їх зрілості.

Виходячи з викладеного, актуальним є дослідження таксаційних показників деревних насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств.

Результати оцінки висотного розподілу деревних рослин у СЗЗ Коксохімічного заводу представлені в табл. 4.1. Найбільшу чисельність складають дерева, висота яких знаходиться в межах 8,1–10,0 м (33,30 %) та від 10,1 до 12,0 м, що становить 32,58 % від загальної кількості дерев, які зростають у зеленій зоні.

Мінімальна кількість дерев представлена у сьомій висотній групі (діапазон від 14,1 до 16,0 м) – лише 1,65 % (16 шт.) Серед них 1 екземпляр *Ailanthus altissima*, 3 – *Robinia pseudoacacia* та 5 особин *Ulmus pumila*. Ці деревні рослини є найстарішими у складі даного деревостану. Дерев, що перевищують висоту 16,0 м, у захисних насадженнях цього заводу не виявлені.

Усі дерева видів *Elaeagnus angustifolia*, *Populus balsamifera* та *Betula pendula*, зосереджені у висотних межах 8,1–10,0 м та 10,1–12,0 м. Значний відсоток особин *Catalpa bignonioides*, *Ailanthus altissima*, *Morus alba* та *Ulmus parvifolia*, також належать до цих висотних градацій. За зростанням кількості рослин у висотних групах їх можна впорядкувати наступним чином: 8,1–10,0 > 10,1–12,0 > 4,1–6,0 > 14,1–16,0 > 12,1–14,0 > 6,1–8,0 > до 4,0.

Таблиця 4.1

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних насадженнях  
Коксохімічного заводу

Назва рослин	Висота, м						
	до 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0
<i>Acer platanoides</i>			4/80	1/20			
<i>Ailanthus altissima</i>	12/6,74	15/8,42	21/11,80	88/49,44	37/20,79	4/2,25	1/0,56
<i>Betula pendula</i>				21/45,65	25/54,35		
<i>Catalpa bignonioides</i>	11/7,91	26/18,71	12/8,63	33/23,74	34/24,46	23/16,55	
<i>Elaeagnus angustifolia</i>					1/100		
<i>Morus alba</i>	1/2,56	3/7,69	12/30,77	17/43,59	6/15,39		
<i>Populus alba</i>					1/12,5	7/87,5	
<i>Populus balsamifera</i>					2/100		
<i>Quercus robur</i>		1/100					
<i>Robinia pseudoacacia</i>	2/1,22	12/7,32	4/2,44	36/21,95	86/52,44	21/12,80	3/1,83
<i>Ulmus laevis</i>	6/5,45	18/16,37	32/29,09	51/46,36	1/0,91	2/1,82	
<i>Ulmus pumila</i>	10/3,61	20/7,22	9/3,25	76/27,44	124/44,77	33/11,91	5/1,80
Всього, шт	42	95	94	323	316	84	16
% від загальної кількості екземплярів	4,33	9,79	9,69	33,30	32,58	8,66	1,65

Примітка: чисельник – число рослин, шт.; знаменник – % від кількості дерев даного виду

У зелених захисних насадженнях заводу «Склофлюс» найбільше рослин має висоту в межах 10,1–12,0 м, що становить 50,40 % від загальної чисельності дерев (табл. 4.2) До цієї висотної групи належать такі види: *Morus alba*, *Ulmus pumila*, *Ulmus carpiniifolia*, *Ailanthus altissima* та *Robinia pseudoacaciata*.

Таблиця 4.2

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних насадженнях заводу  
«Склофлюс»

Назва рослин	Висота, м						
	До 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0;	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>				2/100			
<i>Ailanthus altissima</i>	22/14,77	38/25,50	12/ 8,05	10/6,71	43/28,86	15/10,07	9/6,04
<i>Morus alba</i>		1/9,09	7/63,64	2/18,18	1/9,09		
<i>Populus alba</i>							2/100
<i>Populus balsamifera</i>						1/100	
<i>Pyrus communis</i>			1/100				
<i>Robinia pseudoacacia</i>			1/4	2/8	21/84	1/4	
<i>Tilia cordata</i>	10/100						
<i>Ulmus carpiniifolia</i>	4/13,33	11/36,67	6/20,00	5/16,67	4/13,33		
<i>Ulmus pumila</i>	13/2,30	12/2,13	46/8,16	100/17,73	332/58,87	44/7,80	17/3,01
Всього, шт	49	62	73	121	401	61	28
% від загальної кількості екз.	6,16	7,80	9,18	15,22	50,44	7,67	3,77

Примітка: чисельник – число рослин, шт.; знаменник – % від кількості дерев даного виду

Другою за чисельністю є група дерев з висотою в межах 8,1–10,0 м – 121 екземпляр (15,22 %). До цієї градації належать *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus carpinifolia*, *Morus alba*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus carpinifolia*, *Robinia pseudoacacia* та *Acer pseudoplatanus*. Найменша кількість дерев представлена у висотному діапазоні 16,1–14,0 м – 28 екземплярів (3,77 % від загального чисесла рослин у насадженні). Дерев за вишки до 4 метрів (49 екземплярів) – це переважно молоді підсажені рослини: *Tilia cordata* (10 шт.), а також підріст *Ailanthus altissima*, *Ulmus carpinifolia* та *Ulmus pumila*.

За кількістю дерев у висотних групах їх можна впорядкувати таким чином: 10,1–12,0 > 8,1–10,0 > 6,1–8,0 > 4,1–6,0 > 12,1–14,0 > до 4,0 > 14,1–16,0.

У санітарно-захисній зоні заводу «Укрграфіт» найчисельнішою є група дерев, висота яких становить 18,1–20,0 м (30,20 % від загальної кількості особин) (табл. 4.3). Другою за кількісною представленістю є група з висотою дерев 20,1–22,0 м – 186 екземплярів (19,85 %).

Аналіз розподілу дерев за висотою свідчить, що найбільше їх припадає на висотні діапазони 18,1–20,0 м (*Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Morus alba*) та 20,1–22,0 м (*Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Populus alba*). Найменше дерев належить до групи 12,1–14,0 м – 34 штуки (3,63 %).

Дерев за вишки до 4 метрів, як і в інших пробних ділянках, презентовані підростом, головним чином, насінневого походження (*Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Morus alba*, *Fraxinus lanceolata* тощо). Інші види дерев – це молоді підсажені рослини, розміщені біля центрального входу (*Juglans regia*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Malus domestica*).

У захисних зелених насадженнях Трансформаторного підприємства найчисельнішою є група дерев з висотою 16,1–18,0 м (21,11 % від загальної чисельності) та 14,1–16,0 м (17,08 %) (табл. 4.4). До цих груп належать такі види: *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Acer saccharinum*, *Aesculus hippocastanum*, *Ailanthus altissima*, *Betula pendula*, *Quercus robur*, *binia pseudoacacia*, *Sophora japonica*, *Tilia cordata*, *Ulmus pumila* та *Juglans regia*.

Найменша чисельність деревних рослин зафіксована у висотній групі 24,1–26,0 м – 17 екземплярів (1,04 %), серед яких 13 екземплярів *Populus pyramidalis* і по 2 екземпляри *Robinia pseudoacacia* та *Ailanthus altissima*. У висотні групи до 4,0 м і 8,1–10,0 м входить однакова кількість дерев (по 52 екземпляри), як і в класи 20,1–22,0 м та 10,1–12,0 м (по 118 екземплярів). Найбільшу кількість у групі висот до 4 м становить *Cotinus coggygria*, що зростає мозаїчно невеликими групами. Всього у зеленій зоні Трансформаторного заводу визначено 46 шт. рослин даного виду, На території СЗЗ інших досліджуваних підприємств *Cotinus coggygria* не виявлена. Висоту до 4 м мають також 4 молодих дерева *Acer saccharinum* і по одній особині *Juglans regia* та *Ulmus pumila*.

У захисній лісосмузі даного заводу було виявлено 109 дерев за вишки 22,1–24,0 м та 17 екземплярів – 24,1–26,0 м, які є найвищими у захисному насадженні. У даних градаціях переважають *Populus pyramidalis*, *Populus nigra*, *Quercus robur*, *Robinia pseudoacacia*. Наявність дерев такої висоти не було встановлено в СЗЗ інших обстежених підприємств. За зменшенням кількості рослин у висотних групах їх можна впорядкувати так: 24,1–26,0 > 6,1–8,0 > до 4,0 = 8,1–10,0 > 22,1–24,0 > 10,1–12,0 = 20,1–22,0 > 4,1–6,0 > 12,1–14,0 > 18,1–20,0 > 14,1–16,0 > 16,1–18,0.

Отже, у захисному насадженні Трансформаторного заводу переважають дерева висотою 4,1–6,0 м та 16,1–18,0 м, тоді як найменша кількість рослин належить до висотної групи 10,1–12,0 м.

Дані щодо розподілу дерев за висотою в зелених насадженнях СЗЗ заводу «Вогнетрив» наведені в табл. 4.5. Найчисельнішою є група молодих дерев висотою 4,1–6,0 м – 772 екземпляри, що становить 28,42 % від загального обсягу деревних рослин, а також група 16,1–18,0 м – 653 екземпляри (24,04 %).

Таблиця 4.3

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях підприємства «Укрграфіт»

Назва рослин	Висота, м									
	До 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 8,0	8,1 – 10,0;	10,1 – 12,0	12,1 – 14,0	14,1 – 16,0	16,1 – 18,0	18,1 – 20,0	20,1 – 22,0
<i>Acer negundo</i>	1/50	1/50								
<i>Acer platanoides</i>	11/84,62	1/7,69	1/7,69							
<i>Ailanthus altissima</i>	5/9,44	16/30,19	8/15,09	152/8,30	1/1,89	1/1,89	2/3,77	2/3,77	1/1,89	2/3,77
<i>Catalpa bignonioides</i>							1/100			
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1/100									
<i>Fraxinus lanceolata</i>	21/56,76	3/8,11	1/2,70	1/2,70	3/8,11			5/13,51	3/8,11	
<i>Juglans regia</i>	7/77,78	2/22,22								
<i>Malus domestica</i>	4/100									
<i>Morus alba</i>	7/6,03	9/7,76	8/6,90	6/5,17	8/6,90	8/6,90	5/4,31	8/6,90	47/40,51	10/8,62
<i>Populus alba</i>								1/1,43	18/25,71	51/72,86
<i>Populus simonii</i>										4/100
<i>Populus nigra</i>										3/100
<i>Populus pyramidalis</i>									1/100	
<i>Pyrus communis</i>		1/100								
<i>Robinia pseudoacacia</i>	20/5,48	16/4,38	24/6,58	28/7,67	195,21	16/4,38	26/7,12	27/7,40	133/36,44	56/15,34
<i>Salix alba</i>	1/50								1/50	
<i>Thuja orientalis</i>	4/100									
<i>Tilia cordata</i>	6/85,71	1/14,29								
<i>Ulmus carpinifolia</i>	5/2,73	5/2,73	14/7,65	14/7,65	16/8,74	7/3,83	4/2,19	13/7,10	56/30,60	49/26,78
<i>Ulmus laevis</i>	4/6,56	3/4,92		1/1,64	6/9,83	2/3,28	7/11,48	4/6,56	23/37,70	11/18,03
Всього, шт	97	58	56	65	53	34	45	60	283	186
% від загальної кількості екземплярів	10,35	6,19	5,98	6,94	5,66	3,63	4,80	6,40	30,20	19,85

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця 4.4

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях Трансформаторного підприємства

Назва рослин	Висота, м											
	до 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0	20,1–22,0	22,1–24,0	24,1–26,0
<i>Acer negundo</i>			6/3,85			16/10,26	62/39,74	72/46,15				
<i>Acer platanoides</i>			5/2,67		2/1,07	2/1,07	27/14,44	54/28,88	72/38,50	20/10,70	3/1,60	2/1,07
<i>Acer saccharinum</i>	4/5	3/3,75	2/2,50	4/5			8/10	14/17,50	20/25	18/22,50	7/8,75	
<i>Aesculus hippocastanum</i>			5/7,94	5/7,94	10/15,87	4/6,35	1/1,59	38/60,32				
<i>Ailanthus altissima</i>		1/6,67					2/13,33	8/53,33	4/26,67			
<i>Armeniaca vulgaris</i>		2/40	3/60									
<i>Betula pendula</i>				2/3,03	15/22,73	4/6,06	31/46,97	14/21,21				
<i>Catalpa bignonioides</i>		2/100										
<i>Cotinus coggygria</i>	46/26,74	126/73,26										
<i>Fraxinus lanceolata</i>							2/14,29	4/28,57	4/28,57	3/21,43	1/7,14	
<i>Juglans regia</i>	1/10		2/20		2/20		4/40	1/10				
<i>Malus silvestris</i>		8/100										
<i>Picea abies</i>				5/15,15	1/3,03	7/21,21	20/60,61					
<i>Pinus sylvestris</i>						2/15,38	6/46,15	5/38,46				
<i>Platanus acerifolia</i>					2/20				6/60	2/20		
<i>Populus nigra</i>						1/1,34		4/13,33		4/13,33	21/70	
<i>Populus pyramidalis</i>				1/0,75	1/0,75	2/1,49		5/3,73	27/20,15	23/17,16	62/46,27	13/9,70
<i>Quercus robur</i>				23/20,54		2/1,79	15/13,39	13/11,61	11/9,82	36/32,14	12/10,71	
<i>Robinia pseudoacacia</i>			1/1,16	2/2,33			8/9,30	41/47,67	21/24,42	8/9,30	3/3,49	2/2,33
<i>Sophora japonica</i>			2/20		1/10		5/50	2/20				
<i>Sorbus aucuparia</i>		5/27,78	2/11,11	1/5,56	10/20,31							
<i>Thuja orientalis</i>		8/34,78	6/26,09	9/39,13								
<i>Tilia cordata</i>					74/28,03	126/47,73	63/23,86	1/0,38				
<i>Ulmus parvifolia</i>	1/0,78	1/0,78	2/1,56			1/0,78	26/20,31	70/54,69	23/17,97	4/3,13		
Всього, шт./% від загальної кількості екземплярів	52/3,17	156/9,52	36/2,20	52/3,17	118/7,20	167/10,19	280/17,08	346/21,11	188/11,47	118/7,20	109/6,65	17/1,04

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Найменша кількість дерев представлена у висотній категорії 10,1–12,0 м – 25 екземплярів, серед яких 12 шт. *Ulmus pumila*, 9 шт. *Acer negundo*, 2 шт. *Ailanthus altissima* та по 1 шт. *Fraxinus lanceolata* і *Tilia cordata*.

Рослини заввишки до 4 м та в межах 4,1–6,0 м здебільшого є підростом природного самовідновлення (*Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Acer negundo*) та молодими деревами, висадженими близько 10 років тому (*Picea pungens* – 10 екз., *Picea abies* – 3 екз.). Група деревних рослин з висотою у діапазоні 16,1–18,0 м включає переважно *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Acer platanoides*. Значна чисельність дерев також спостерігається у висотних класах 14,1–16,0 м (569 шт.) і 18,1–20,0 м (337 шт.).

Загалом, кількість рослин заввишки більше, ніж 14 м, становить 1586 екземплярів, що складає 58,39 % загальної сукупності дерев даної санітарної зони. Найвищі дерева (18,1–20,0 м) представлені *Populus alba* (225 шт.), *Ulmus pumila* (74 шт.). Меншу чисельність рослин, що віднесені до даної висотної градації, становлять *Populus nigra* (29 шт.) та *Populus simonii* (16 шт.). За кількістю дерев у висотних класах їх можна впорядкувати так: 4,1–6,0 > 16,1–18,0 > 14,1–16,0 > 18,1–20,0 > 8,1–10,0 > 12,1–14,0 > 6,1–8,0 > до 4,0 > 10,1–12,0.

Таким чином, у захисному зеленому масиві заводу «Вогнетрив» переважають дерева висотою від 4,1 до 6,0 м та від 16,1 до 18,0 м, а мінімальна їх кількість – у висотній групі 10,1–12,0 м. Зростання великої кількості молодих рослин у захисних насадженнях даного підприємства (до 4,5–5,5 м заввишки) пояснюється спонтанним розповсюдженням видів дерев, що відносять до інвазійних (*Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Acer negundo*). Кількісно переважають особини *Acer negundo* (556 шт.). Значно меншою чисельністю у захисних насадженнях заводу «Вогнетрив» представлені *Robinia pseudoacacia* та *Ailanthus altissima*. Відомо, що ці види дерев характеризуються високим життєвим потенціалом і великою стійкістю до несприятливих умов існування. Слід зазначити, що мала частка дерев цієї висотної категорії відноситься до висаджених рослин під час невеликої модернізації насаджень на даному підприємстві (*Betula pendula*, *Acer platanoides*, *Catalpa bignonioides*).

Дані щодо розподілу дерев за висотою в зеленій захисній зоні Титано-магнієвого комбінату представлено в табл. 4.6. Найчисельнішими є групи дерев висотою 16,1–18,0 м (23,19 %), 4,1–6,0 м (19,04 %) і 14,1–16,0 м (17,01 %). У цих висотних класах найбільш значно представлені *Acer negundo*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila* й *Robinia pseudoacacia*.

Найвищі дерева зелених насаджень СЗЗ цього заводу входять до категорії від 18,1 до 20,0 м. Їх кількість становить 2,34 % загальної чисельності (54 екземпляри), що є найменшим показником серед усіх висотних груп. Частка дерев заввишки до 4 м та 4,1–6,0 м також є невеликою – 4,2 %. До цієї категорії належать молоді дерева, висаджені близько 10 років тому: *Picea pungens*, *Picea abies*, *Thuja occidentalis*, *Betula pendula*, *Aesculus hippocastanum*, *Juglans regia*, але переважну більшість становлять самосійні рослини, які відносять до інвазійних видів, – *Acer negundo*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila*, та *Robinia pseudoacacia*. У зелених захисних насадженнях комбінату найбільшу частку рослин цієї висотної категорії становить *Ulmus pumila*. Необхідно вказати на відсутність верхівок у 92 % рослин тополі білої, які були зрізані внаслідок санітарної обрізки.

Отже, найбільша кількість дерев у захисних зелених насадженнях Титано-магнієвого комбінату входить до градацій висот 16,1–18,0 м, 14,1–16,0 м і 4,1–6,0 м, а найменша – до групи 18,1–20,0 м. У класах висот (крім першого, третього і дев'ятого) за чисельністю домінує *Ulmus pumila*. Загальна кількість дерев цієї породи становить 1314 шт. Найбільша частка рослин цього виду віднесена до категорії висот 4,1–6,0.

Таблиця 4.5

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях підприємства «Вогнетрив»

Назва рослин	Висота, м								
	До 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0;	10,0–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0
<i>Acer negundo</i>	41/5,38	556/72,97	22/2,89	57/ 7,48	9/1,18	23/ 3,02	51/ 6,69	3/0,39	
<i>Acer platanoides</i>	10/13,16	20/ 26,32	3/3,95				23/30,26	20/26,32	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	15/93,75						1/ 6,25		
<i>Ailanthus altissima</i>		44/64,71	1/1,47	1/1,47	2/2,94			20/29,41	
<i>Betula pendula</i>				10/ 90,91				1/9,09	
<i>Catalpa bignonioides</i>		5/100							
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	6/100								
<i>Fraxinus lanceolata</i>	1/16,67		1/16,67	2/33,33	1/6,67		1/16,67		
<i>Juglans regia</i>			1/50	1/50					
<i>Morus alba</i>						5/27,78	13/72,22		
<i>Picea abies</i>	2/66,67	1/33,33							
<i>Picea pungens</i>	3/30		7/70						
<i>Platanus acerifolia</i>								1/100	
<i>Populus alba</i>		3/1,02		1/0,34				64/21,84	225/ 76,79
<i>Populus nigra</i>							10/20,83	15/ 31,25	23/ 47,92
<i>Populus simonii</i>							4/10,0	23/ 57,50	13/32,50
<i>Robinia pseudoacacia</i>		40/5,89	42/6,19	1/0,15			285/41,97	311/45,80	
<i>Salix alba</i>		1/100							
<i>Tilia cordata</i>					1/50		1/50		
<i>Ulmus pumila</i>		102/15,25	2/0,30	18/2,69	12/1,79	57/8,52	207/30,94	195/29,15	76/11,36
Всього, шт	78	772	79	91	25	85	596	653	337
% від загальної кількості екземплярів	2,87	28,42	2,91	3,35	0,92	3,13	21,94	24,04	12,41

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця 4.6

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях Титано-магнієвого комбінату

Назва рослин	Висота, м								
	До 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0;	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0
<i>Acer negundo</i>	39/43,82	10/11,24	3/3,37		1/1,12	1/1,12	35/39,33		
<i>Acer platanoides</i>	1/12,50	2/25	4/50		1/12,50				
<i>Aesculus hippocastanum</i>	1/10	3/30		6/60					
<i>Ailanthus altissima</i>	2/4,55	14/31,82	14/31,82		14/31,82				
<i>Betula pendula</i>	10/41,67	2/8,33		11/45,83	1/4,17				
<i>Fraxinus lanceolata</i>				1/7,69	8/61,54	3/23,08	1/7,69		
<i>Juglans regia</i>	9/90	1/10							
<i>Morus alba</i>			1/8,33	1/8,33	1/8,33	6/50,00	2/16,67	1/8,33	
<i>Picea abies</i>	1/9,09			5/45,45		5/45,45			
<i>Picea pungens</i>	3/30	7/70							
<i>Populus alba</i>					2/5,88		3/8,82	16/47,06	13/38,24
<i>Populus nigra</i>						16/80		1/5	3/15
<i>Populus simonii</i>				1/1,33	1/1,33		1/1,33	50/66,67	22/29,33
<i>Robinia pseudoacacia</i>		50/8,65	17/2,94	137/23,70	25/4,33	53/9,17	85/14,71	209/36,16	2/0,35
<i>Salix alba</i>				1/100					
<i>Thuja occidentalis</i>	30/100								
<i>Thuja orientalis</i>					1/100				
<i>Tilia cordata</i>				1/33,33	1/33,33	1/33,33			
<i>Ulmus laevis</i>			1/4,17	6/25,0	5/20,83	2/8,33	3/12,50	5/20,83	2/8,33
<i>Ulmus pumila</i>	1/0,08	351/26,71		117/8,90	209/15,91	107/8,14	263/20,02	254/19,33	12/0,91
Всього, шт	97	440	40	287	270	194	393	536	54
% від загальної кількості екземплярів	4,20	19,04	1,73	12,42	11,68	8,39	17,01	23,19	2,34

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

У табл. 4.7 подано розподіл дерев за висотою в санітарно-захисній зоні Феросплавного заводу. Найчисельнішу групу утворюють дерева, що належать до градації 10,1–12,0 м (49,74 % від загальної кількості деревних рослин у насадженні). Це – *Ulmus pumila*, *Ulmus carpiniifolia* та *Robinia pseudoacacia*. Найменшу кількість дерев зафіксовано у висотному діапазоні від 16,1 до 18,0 м, що становить 2,72 % від загального обсягу рослин у захисних насадженнях заводу (31 шт.). Переважна частка дерев, висота яких менша, ніж 4 м, як і в обстежених захисних насадженнях інших заводів, є результатом спонтанного природного самовідновлення. До цієї групи належать *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Fraxinus lanceolata*, *Morus alba*. Крім того, у групу дерев до 4 м входять молоді рослини, висаджені біля центрального входу близько 10 років тому: *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Juglans regia*, *Malus domestica*. Отже, майже половина дерев у цьому насадженні належить до висотного класу 10,1–12,0 м, а найменша їх частина – до групи 16,1–18,0 м.

У захисних зелених зонах Феросплавного заводу за чисельністю дерев (у порядку збільшення) згідно класам висот їх можна впорядкувати наступним чином: 16,1–18,0 < до 4,0 < 14,1–16,0 < 4,1–6,0 < 6,1–8,0 < 8,1–10,0 < 12,1–14,0 < 10,1–12,0.

Таблиця 4.7

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних насадженнях Феросплавного підприємства

Назва рослин	Висота, м							
	До 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0;	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0
<i>Ailanthus altissima</i>	4/40	4/40	2/20					
<i>Betula pendula</i>	2/100							
<i>Catalpa bignonioides</i>		11/100						
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1/50	1/50						
<i>Fraxinus lanceolata</i>		1/50			1/50			
<i>Malus domestica</i>	1/100							
<i>Morus alba</i>			5/100					
<i>Populus alba</i>							4/50	4/50
<i>Robinia pseudoacacia</i>	21/4,7 9	27/6,1 6	56/12,7 9	62/14,1 6	222/50,6 8	20/4,57	30/6,8 5	
<i>Salix alba</i>		1/100						
<i>Ulmus carpiniifolia</i>	2/7,41	7/25,9 3	5/18,52	6/22,22	5/18,52	1/3,70	1/3,70	
<i>Ulmus parvifolia</i>	9/1,43	30/4,7 5	23/3,65	59/9,35	338/53,5 7	137/21,7 1	8/1,27	27/4,2 8
Всього, шт	40	82	91	127	566	158	43	31
% від кількості екземплярів	3,51	7,21	8	11,16	49,74	13,88	3,78	2,72

Примітка: чисельник – кількість рослин, шт.; знаменник – % від числа дерев даного виду

Розподіл дерев у захисних зелених масивах Алюмінієвого заводу наведено у табл. 4.8. Більшість з них у цьому насадженні належить до висотного класу 10,1–12,0 м (*Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Fraxinus lanceolata*), що становить 30,13 % від загальної чисельності дерев у деревостані даного підприємства. На другому місці за чисельністю є клас рослин заввишки від 8,1 до 10,0 м. Це – *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Populus alba*, *Fraxinus lanceolata*, загальна кількість яких складає 222 екземпляри, тобто 22,68 %. Найменше дерев зафіксовано у класі висот 18,1–20,0 м, до якого належать лише три особини родини *Salicaceae*. Рослини, які нижчі ніж 4 м, представлені переважно молодими деревами, підсадженими близько 10 років тому. До цієї групи належать *Thuja occidentalis*, *Tilia platyphyllos*, *Thuja orientalis*, та інші.

Послідовність розподілу дерев за висотними класами виглядає так: 18,1–20,0 < 12,1–14,0 < до 4,0 < 4,1–6,0 < 6,1–8,0 < 16,1–18,0 < 14,1–16,0 < 10,1–12,0 < 8,1–10,0

Дані щодо груп висот дерев у зелених насадженнях санітарно-захисної зони підприємства «Дніпроспецсталь» наведено у табл. 4.9. Найбільшою кількістю особин презентовані класи 10,1–12,0 м (26,42 %), 14,1–16,0 м (24,56 %) і 12,1–14,0 м (22,91 %). У цих висотних категоріях переважають такі види рослин, як *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila*, *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia* та *Populus simonii*. До групи найвищих дерев (18,1–20,0 м) віднесено лише один екземпляр *Platanus acerifolia*. Клас до 4 м представлений молодими деревами, висадженими у 2015 році: *Thuja occidentalis* та *Juglans regia*. Таким чином, найбільше дерев припадає на градації висот 10,1–12,0 м, 14,1–16,0 м і 12,1–14,0 м. Ранжування виглядає так: 10,1–12,0 > 14,1–16,0 > 12,1–14,0 > 16,1–18,0 > 6,1–8,0 > до 4,0 = 8,1–10,0 > 4,1–6,0 > 18,1–20,0.

Як видно з результатів досліджень, наведених у табл.4.10, найчисельнішими у деревостані санітарно-захисної зони Абразивного комбінату є висотні класи 16,1–18,0 м (23,26 %) та 18,1–20,0 м (22,17 %). Найменше рослин зафіксовано у категорії до 4,0 м – лише 37 екземплярів (2,89 %). У висотному класі 12,1–14,0 м дерева відсутні, а у групі до 4 м представлені молоді підсажені рослини: *Catalpa bignonioides*, *Juglans regia*. Найбільше рослин віднесено до класів висот 16,1–18,0 м (*Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba*) та 18,1–20,0 м (*Populus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus nigra*). Отже, за результатами аналізу отриманих даних розподіл дерев зелених захисних насаджень Абразивного підприємства за висотними групами виглядає наступним чином: до 4,0. < 4,1–6,0 < 10,1–12,0 < 16,1–18,0 < 6,1–8,0 < 8,1–10,0 < 14,1–16,0 < 18,1–20,0.

У зелених зонах заводу «Запоріжсталь» найбільша кількість деревних рослин спостерігається у висотних класах від 14,1 до 16,0 м та від 10,1 до 12,0 м, що становить від сумарної чисельності рослин у захисних лісосмугах 28,24 % й 23,22 % відповідно (табл. 4.11). Найвищі рослини у деревостанах даного підприємства представлені лише 16 екземплярами *Populus alba*. Їх висота – 20,1–22,0 м. Переважна кількість дерев приурочена до висотних груп від 4,1 до 6,0 м та від 10,1 до 12,0 м. Це – *Ailanthus altissima*, *Populus simonii*, *Ulmus pumila*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*. Класи висот до 4 м та від 4,1 до 6,0 м охоплюють рослини, що з'явилися внаслідок природного насінневого відновлення (*Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*), а також види дерев, які були висаджені під час модернізації захисних зелених насаджень даного підприємства. Це красиводекоративні – *Catalpa bignonioides* та *Aesculus hippocastanum*, а також високодекоративні – *Thuja occidentalis*, *Betula pendula*, *Juglans regia*.

Ранжування висотних груп дерев захисних насаджень заводу «Запоріжсталь» виглядає так: 20,1–22,0 < до 4,0 < 6,1–8,0 < 8,1–10,0 < 12,1–14,0 < 18,1–20,0 < 14,1–16,0 < 16,1–18,0 < 10,1–12,0 > 4,1–6,0 .

Таблиця 4.8

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях Алюмінієвого підприємства

Назва рослин	Висота, м								
	До 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 8,0	8,1 – 10,0;	10,1 – 12,0	12,1 – 14,0	14,1 – 16,0	16,1 – 18,0	18,1 – 20,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1/50		1/50						
<i>Aesculus hippocastanum</i>			11/100						
<i>Ailanthus altissima</i>	3/11,11	2/7,41		4/14,81	1/3,70		15/55,56	2/7,41	
<i>Betula pendula</i>							2/100		
<i>Catalpa bignonioides</i>		9/56,25	5	1/6,25	1/6,25				
<i>Fraxinus lanceolata</i>		5/8,77	4/7,02	18/31,58	19/33,33	1/1,75	9/15,79	1/1,75	
<i>Morus alba</i>		2/22,22		1/11,11			6/66,67		
<i>Picea pungens</i>		12/92,31	1/7,69						
<i>Platanus acerifolia</i>								1/100	
<i>Populus alba</i>			1/3,45	10/34,48	4/13,79		8/27,59	5/17,24	1/3,45
<i>Populus nigra</i>			2/40					1/20	2/40
<i>Populus simonii</i>								1/100	
<i>Quercus robur</i>		3/100							
<i>Robinia pseudoacacia</i>		3/0,86	9/2,59	140/40,23	130/37,36	22/6,32	26/7,47	18/5,17	
<i>Salix alba</i>		1/6,66	4/26,67	6/40,00	4/26,67				
<i>Sorbus aucuparia</i>						2/100			
<i>Thuja occidentalis</i>	25/100								
<i>Thuja orientalis</i>	6/100								
<i>Tilia cordata</i>	7/50,0	4/28,57					3/21,43		
<i>Ulmus carpinifolia</i>	1/0,28	13/3,60	7/1,94	42/11,63	127/35,18	10/2,77	105/29,09	56//15,51	
<i>Ulmus laevis</i>	2/6,25	1/3,13	8/25,0		9/28,13	1/3,13	8/25,0	3/9,38	
Всього, шт	45	55	53	222	295	36	182	88	3
% від загальної кількості екземплярів	4,6	5,62	5,41	22,68	30,13	3,68	18,59	8,99	0,31

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця 4.9

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях підприємства «Дніпроспецсталь»

Назва рослин	Висота, м								
	До 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0;	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0
<i>Acer negundo</i>	1/7,69			4/30,77	5/39,46		2/15,38	1/7,69	
<i>Acer platanoides</i>	3/18,75		7/43,75	3/18,75	1/6,25		2/12,50		
<i>Acer saccharinum</i>						1/25	2/50	1/25	
<i>Aesculus hippocastanum</i>					3/100				
<i>Ailanthus altissima</i>			7/16,28	8/18,60	15/34,88	1/2,33	12/27,91		
<i>Armeniaca vulgaris</i>			4/100						
<i>Betula pendula</i>			1/2,27	31/70,45	1/2,27		11/25,00		
<i>Catalpa bignonioides</i>	1/4	8/32	9/36	3/12	2/8		2/8		
<i>Juglans regia</i>	21/95,45				1/4,55				
<i>Morus alba</i>		2/10		1/5	13/65		4/20		
<i>Picea abies</i>				6/100					
<i>Picea pungens</i>			6/37,50		10/62,50				
<i>Platanus acerifolia</i>			2/50				1/25		1/25
<i>Populus alba</i>				3/17,65	2/11,76	2/11,76	3/17,65	7/41,18	
<i>Populus nigra</i>							1/100		
<i>Populus simonii</i>			18/8,87		29/14,29	48/23,65	64/31,53	44/21,67	
<i>Pyrus communis</i>				1/100					
<i>Robinia pseudoacacia</i>		30/3,85	47/6,03	3/0,39	236/30,30	169/21,69	252/32,35	42/5,39	
<i>Salix alba</i>							2/100		
<i>Thuja occidentalis</i>	60/100								
<i>Tilia cordata</i>				16/55,17	13/44,83				
<i>Ulmus carpiniifolia</i>		3/0,48	20/3,19	7/1,12	180/28,71	224/35,73	118/18,82	75/11,96	
<i>Ulmus laevis</i>					2/66,67		1/33,33		
Всього, шт	86	43	121	86	513	445	477	170	1
% від загальної кількості екземплярів	4,43	2,21	6,32	4,43	26,42	22,91	24,56	8,75	0,05

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця 4.10

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях Абразивного підприємства

Назва рослин	Висота, м								
	До 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 8,0	8,1 – 10,0;	10,1 – 12,0	12,1 – 14,0	14,1 – 16,0	16,1 – 18,0	18,1 – 20,0
<i>Acer negundo</i>	1/25			3/75					
<i>Acer platanoides</i>	1/5,26	4/21,05	7/36,84	1/5,26	4/21,05		2/10,53		
<i>Acer saccharinum</i>							1/100		
<i>Aesculus hippocastanum</i>	19/37,25	10/19,61	11/21,57	7/13,73	4/7,84				
<i>Armeniaca vulgaris</i>			1/100						
<i>Catalpa bignonioides</i>	12/11,43	31/29,52	26/24,76	29/27,62	7/6,67				
<i>Elaeagnus angustifolia</i>		1/50	1/50						
<i>Juglans regia</i>							7/100		
<i>Morus nigra</i>			1/33,33		2/66,67				
<i>Picea abies</i>					2/100				
<i>Picea pungens</i>			2/22,22	7/77,78					
<i>Populus alba</i>		15/4,73	17/5,36	19/5,99			12/3,79	41/12,93	213/67,19
<i>Populus nigra</i>				5/10,20	12/24,49		6/12,24		26/53,06
<i>Pyrus communis</i>			1/100						
<i>Robinia pseudoacacia</i>		3/0,55	48/8,76	46/8,39	13/2,37		158/28,83	235/42,88	45/8,21
<i>Ulmus pumila</i>	4/2,47		5/3,09	20/12,35	53/32,72		58/35,80	22/13,58	
Всього, шт	37	64	120	137	97		244	298	284
% від загальної кількості екземплярів	2,89	5	9,37	10,69	7,57	-	19,05	23,26	22,17

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця 4.11

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях заводу «Запоріжсталь»

Назви рослин	Висота, м									
	До 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0;	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0	20,1–22,0
<i>Acer negundo</i>	1/0,06	1065/61,49	7/0,40	15/0,87	147/8,49	3/0,17	11/0,64	483/27,89		
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1/9,09	7/63,64	3/27,27							
<i>Aesculus hippocastanum</i>	8/17,78			2/4,44	31/68,89			4/8,89		
<i>Ailanthus altissima</i>	25/21,55	55/47,41	1/0,86	3/2,59	12/10,34	1/0,86	13/11,21		6/5,17	
<i>Armeniaca vulgaris</i>					2/100					
<i>Betula pendula</i>		7/41,18	9/52,94	1/5,88						
<i>Catalpa bignonioides</i>	3/100									
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	7/70	2/20	1/10							
<i>Fraxinus lanceolata</i>			1/25			1/25	2/50			
<i>Malus silvestris</i>		4/66,66	1/16,67	1/16,67						
<i>Morus alba</i>								1/50	1/50	
<i>Picea abies</i>				2/100						
<i>Picea pungens</i>					1/100					
<i>Populus alba</i>				17/29,82		6/10,53	18/31,58			16/28,07
<i>Populus balsamifera</i>								1/100		
<i>Populus nigra</i>					1/20			4/80		
<i>Populus simonii</i>		3/2,78	2/1,85	13/12,04	19/17,59	10/9,26	48/44,44	13/12,04		
<i>Pyrus communis</i>				1/50		1/50				
<i>Robinia pseudoacacia</i>	5/0,55	14/1,55	59/6,53	20/2,21	222/24,58	53/5,87	172/19,05	164/18,16	194/21,48	
<i>Thuja occidentalis</i>	15/100									
<i>Thuja orientalis</i>							9/100			
<i>Tilia cordata</i>			3/60	2/40						
<i>Ulmus pumila</i>	42/3,20	80/6,10	41/3,13	77/5,87	581/44,32	200/15,26	59/4,50	143/10,91	88/6,71	
<i>Ulmus glabra</i>				5/38,46	1/7,69	2/15,38	1/7,69		4/30,77	
Всього, шт	107	1237	128	159	1017	277	333	813	293	16
% від заг. к-ті екз.	2,44	28,24	2,92	3,63	23,22	6,32	7,6	18,56	6,69	0,37

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

## 4.2. Аналіз розподілу деревних рослин захисних зелених насаджень промислових підприємств за діаметрами стовбурів

Діаметр стовбурів дерев, так само як і їх висота, є важливим показником продуктивності деревостанів. Крім того, цей параметр необхідно враховувати під час планування реконструкції насаджень.

Результати аналізу розподілу дерев за діаметрами стовбурів у зелених насадженнях Коксохімічного підприємства наведено у додатку В, табл. В.1 та на рис. 4.1. Найчисельнішою є група дерев з діаметрами стовбура 8,1–12,0 см, яка від сумарного обсягу рослин у насажденні становить 14,85 % (рис. 4.1). У цій категорії домінують *Betula pendula* та *Ailanthus altissima*. Другу позицію займають класи дерев з діаметрами від 16,1 до 20,0 см і від 28,1 до 32,0 см, які складають відповідно 10,21 та 10,10 %. Найменш чисельно представлено групи з діаметрами від 98,1 до 100,0 см, а також від 88,1 до 92,0 см і від 84,1 до 88,0 см, що становить 0,31, 0,21 й 0,10 %. До цих категорій переважно належать *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Morus alba* та *Ulmus pumila*.

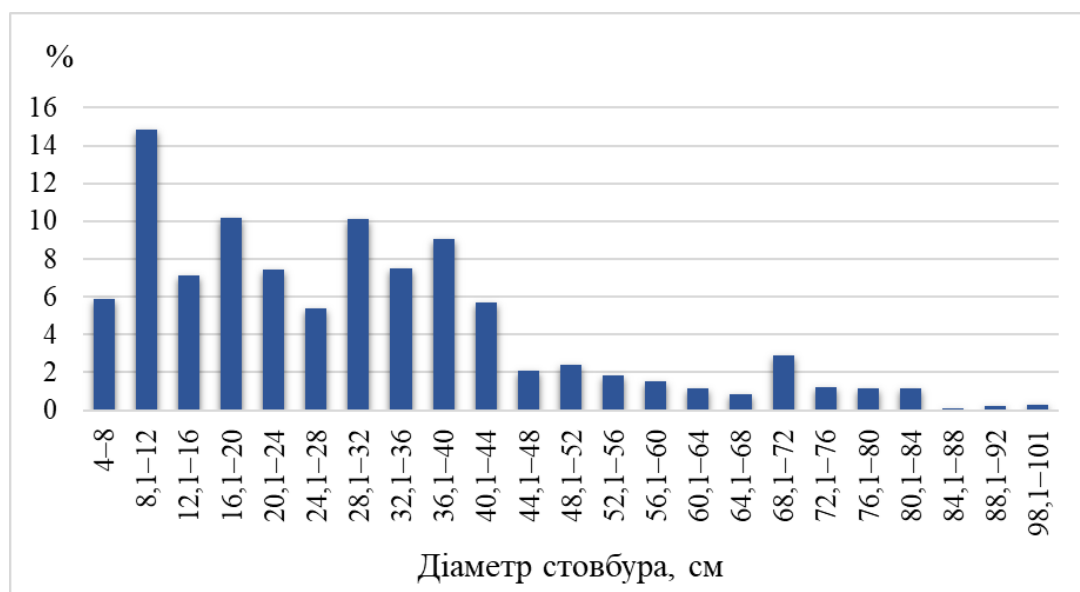


Рис. 4.1 – Представленість класів дерев за товщиною стовбурів у захисних насадженнях Коксохімічного підприємства, %

Як показано на рисунку 4.2, у захисних зонах підприємства «Склофлюс» переважає група дерев з товщиною стовбурів у межах 20,1–24,0 см, частка яких становить 11,95 % від суми всіх рослин у зелених масивах. У цій категорії домінують *Ailanthus altissima* та *Ulmus pumila* (додаток В, табл. В.2).

Деяко менш чисельними є класи дерев з діаметром стовбурів 28,1–32,0 см та 36,1–40,0 см які становлять відповідно 10,31 та 10,94 % від загального обсягу дерев у насажденні. Найменша кількість рослин належить до категорій діаметрів від 78,1 до 82,0 см (0,50 %), від 88,1 до 92,0 см (0,38 %) та від 72,1 до 76,0 см (0,50 %). Ці дерева є найстарішими у складі захисних насаджень заводу «Склофлюс»; серед них переважають *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*.

У зелених насадженнях СЗЗ підприємства «Укрграфіт» найбільш чисельною є група дерев із діаметрами стовбурів у межах 28,1 і 32,0 см, яка становить 7,04 % від сумарного обсягу дерев. У цій категорії переважають *Morus alba* та *Robinia pseudoacacia* (рис. 4.3). Майже такою ж чисельністю рослин представлені класи діаметрів 100,1–104,0 см. У складі насаджень це найбільш старі дерева, серед яких домінують *Robinia pseudoacacia*, *Populus*

*alba*, *Ulmus laevis* та *Ulmus pumila*. Найбільша товщина стовбурів деревних рослин у захисних лісосмугах даного заводу сягає 104,1–108,0 см. У цієї групи входять *Populus nigra*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba*, *Ulmus laevis* та *Ulmus pumila*.



Рис. 4.2 – Представленість класів дерев за товщиною стовбурів у захисних насадженнях підприємства «Склофлюс», %



Рис. 4.3 – Представленість класів дерев за товщиною стовбурів у захисних насадженнях заводу «Укрграфіт» %

Дещо менше представлені дерева з діаметрами 68,1–72,0 см, 8,1–12,0 см та 16,1–20,0 см, що становить відповідно 5,34, 5,55 й 6,62 % від сумарного обсягу рослин у деревостанах захисної зони заводу «Укрграфіт». Найменш чисельними є групи з діаметрами 84,1–88,0 см (1,60 %), 92,1–96,0 см (1,50 %) та 88,1–92,0 см (1,07 %). У цих категоріях переважають *Populus alba*, *Ulmus laevis*, *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*.



Рис. 4.4 – Представленість класів дерев за товщиною стовбурів у захисних насадженнях Трансформаторного заводу, %

Дані щодо розподілу деревних рослин за величинами діаметрів стовбурів у зелених масивах СЗЗ Трансформаторного підприємства надані на рис. 4.4 та в додатку В, табл. В.3. Превалюючою у зелених насадженнях є група дерев класу 28,1–32,0 см, чисельність якої дорівнює 19,26 % від сумарної кількості деревних рослин у захисних насадженнях. Найбільше особин із такою товщиною стовбура серед видів *Robinia pseudoacacia* та *Acer negundo*. На другому місці за представленістю знаходяться дві градації діаметрів – від 32,1 до 36,0 см та від 24,1 до 28,0 см, частка яких становить відповідно 11,47 % та 17,14 %. Найменша кількість дерев виявлена у категоріях 84,1–88,0 см та 88,1–92,0 см – лише два та один екземпляри відповідно. До групи з найбільшими діаметрами стовбурів (92,1–96,0 см) віднесено 5 деревних особин, серед яких *Quercus robur*, *Acer saccharinum* та *Populus pyramidalis*.

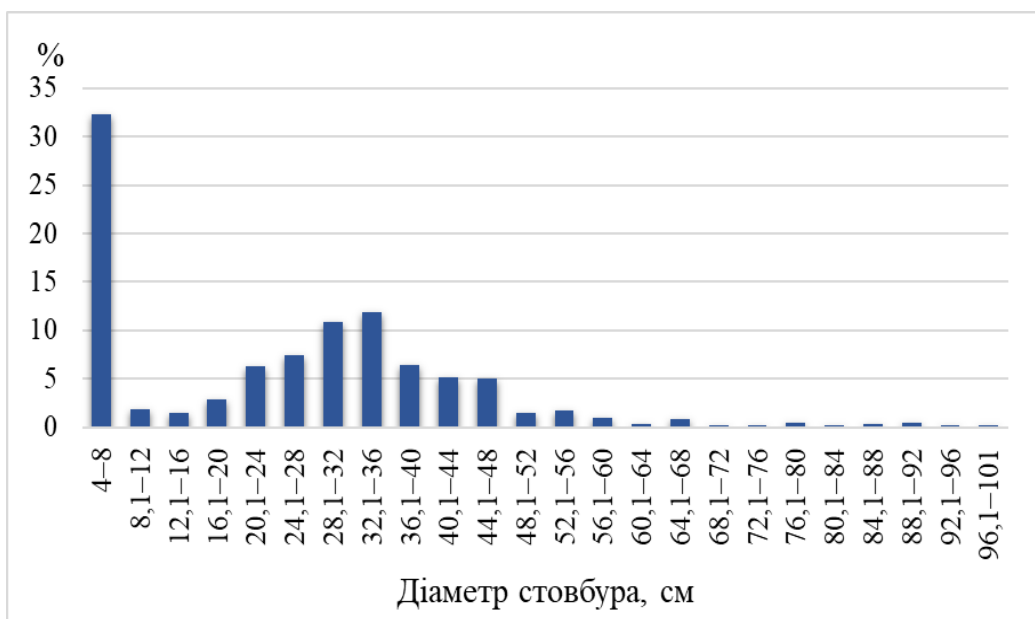


Рис. 4.5 – Представленість класів дерев за товщиною стовбурів у захисних насадженнях підприємства «Вогнетрив», %

У захисних зелених насадженнях підприємства «Вогнетрив» чисельно домінує група дерев із діаметрами 4,1–8,0 см (додаток В, табл. В.4). До цієї категорії включено 767 екземплярів підросту, що сформувався природним самосівом (*Ailanthus altissima*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*), а також молоді дерева, висаджені 10–15 років тому (*Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides*, *Picea abies*, *Populus nigra*). Другу за представленістю групу утворюють дерева з діаметрами стовбурів 32,1–36,0 см (рис. 4.5), серед яких домінують *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba*, *Acer negundo* та *Ulmus pumila*.

Найменшу частку дерев становлять категорії з діаметрами 80,1–84,0 см, 92,1–96,0 см, 96,1–100,0 см та 72,1–76,0 см. Основними видами рослин у вказаних групах є *Populus nigra* та *Populus alba*. Серед дерев у насадженні також зафіксовано двостовбурний екземпляр *Acer negundo* з діаметрами стовбурів 17 см та 28 см.

Чисельна представленість дерев захисних зелених зон Титано-магнієвого заводу у класах діаметрів стовбурів подана на рис. 4.6 та в додатку В, табл. В.5.

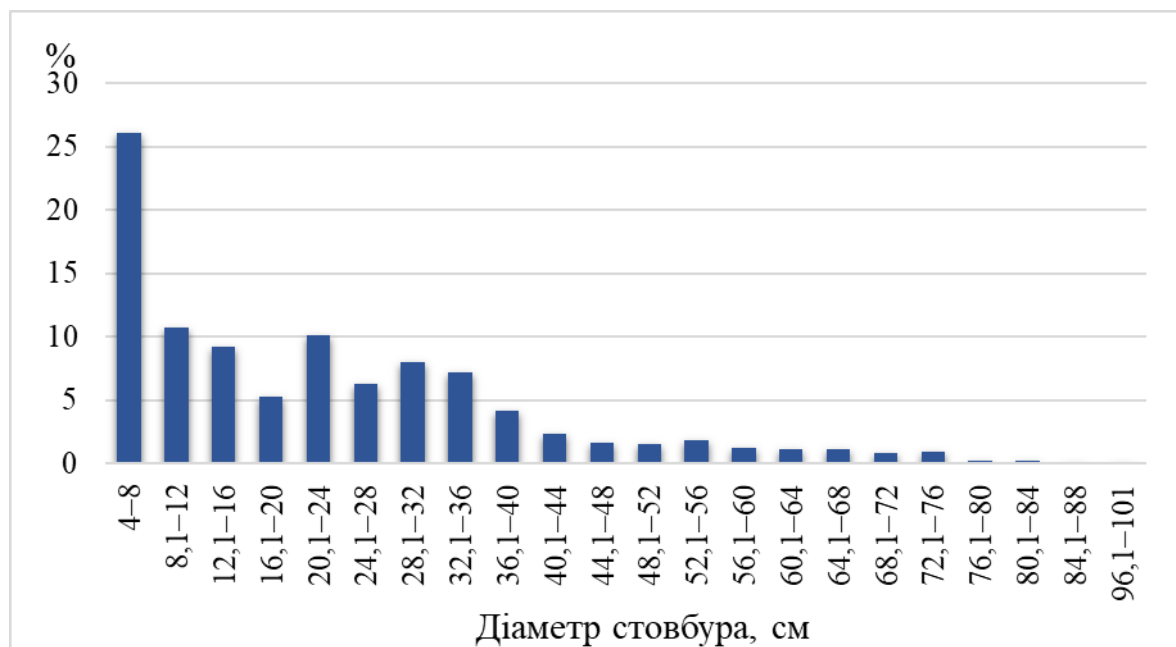


Рис. 4.6 – Представленість класів дерев за діаметрами стовбурів у захисних насадженнях Титано-магнієвий комбінату

Домінуючою групою в насадженнях є дерева з діаметрами стовбурів 4,1–8,0 см, які становлять 26,12 % від загальної кількості. Найбільш чисельно у цій категорії представлені *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* та *Acer negundo*. Варто зазначити, що більшість дерев цієї групи є підростом насінневого походження.

Деяко меншими за кількістю дерев є групи із діаметрами стовбурів 8,1–12,0 см та 20,1–24,0 см (10,73 % та 10,08 % відповідно), а також 12,1–16,0 см (9,21 % від сумарної кількості дерев).

Найменше представлені у захисних деревостанах Титано-магнієвого комбінату градації діаметрів 96,1–100,0 см та 84,1–88,0 см (по 0,04 %), а також 76,1–80,0 см та 80,1–84,0 см (по 0,22 %). У цих класах переважають *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia* та *Populus alba*. Серед дерев зеленої зони заводу виявлено екземпляр *Populus alba* з двома стовбурами, діаметрами 15 см та 21 см.

Дані щодо представленості дерев зелених насаджень Феросплавного підприємства у класах діаметрів стовбурів надані у додатку В, табл. В.6 та на рис. 4.7.



Рис. 4.7 – Представленість класів деревних рослин за товщиною стовбурів у захисних насадженнях Феросплавного заводу , %

Превалюючою є група дерев із діаметрами стовбурів 28,1–32,0 см, що становить 13,87 % від загальної кількості рослин у деревостані. У цій групі домінують *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*. Наступні за чисельністю є класи діаметрів 20,1–24,0 см, 16,1–20,0 см та 24,1–28,0 см, в них майже однакова кількість дерев, частка яких складає 10,30, 9,34 та 9,16 % від суми рослин у захисних деревостанах заводу. Найменш численні градації діаметрів від 72,1 до 76,0 см, від 88,1 до 92,0 см, від 80,1 до 84,0 см й від 84,1 до 88,0 см. Частка рослин, яка входить до цих класів, така: 0,44, 0,35, 0,26 та 0,09 % відповідно. Найбільша товщина стовбурів, що була визначена в насадженнях, знаходиться у діапазоні від 88,1 до 92,0 см. У зелених масивах Феросплавного заводу присутні багатостовбурні дерева: Це – *Robinia pseudoacacia* – 20 та 15 см; 17 та 15 см; *Ulmus pumila* – 14 та 18 см; 21 та 20 см; 24 та 30 см; 18, 16, 12 й 8 см; *Fraxinus lanceolata* – 30 та 15 см.

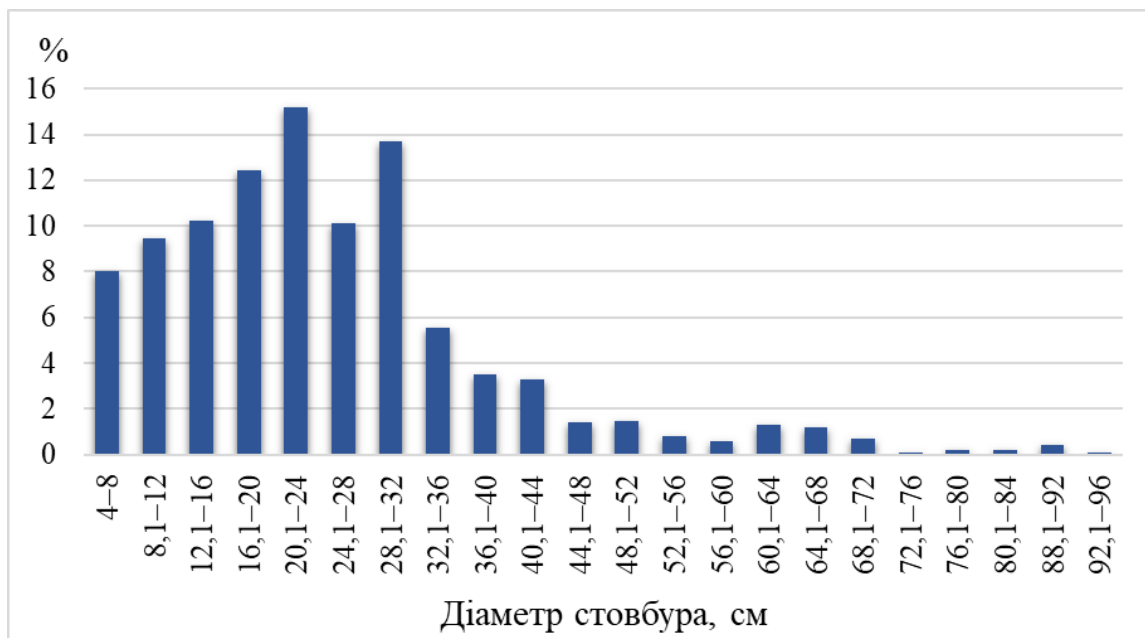


Рис. 4.8 – Представленість класів деревних рослин за товщиною стовбурів у захисних насадженнях Алюмінієвого комбінату, %

У зеленій санітарно-захисній зоні Алюмінієвого заводу найбільше дерев належить до класу діаметрів 20,1–24,0 см, що становить 15,21 % від загальної кількості дерев у насадженні (рис. 4.8 та додаток В, табл. В.7). У цій групі домінують *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*. Дещо менш чисельними є групи дерев із діаметрами 16,1–20,0 см та 28,1–32,0 см. Їх частка від сумарного обсягу рослин у насадженні становить та 12,43 і 13,72 % відповідно (рис. 4.8).

У невеликих кількостях представлені дерева з діаметрами у межах від 72,1 до 76,0 см та від 92,1 до 96,0 см (їх частка в кожному з цих класів – 0,10 %), а також від 80,1 до 84,0 см та від 76,1 до 80,0 см, представленість рослин 0,20 % в обох вищевказаних класах. До цих груп належать переважно *Populus alba*, *Salix alba*, *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*. У насадженні виявлено дерева з двома та трьома стовбурами: *Platanus acerifolia* – 12 та 49 см *Morus alba* – 22 та 20 см; 34 та 30 см; 26 та 18 см; 8 й 10 см; *Salix alba* – 64 і 70 см; *Fraxinus lanceolata* – 31, 19 та 22 см; *Catalpa bignonioides* – 6 10, 8 та 12 см; *Robinia pseudoacacia* – 22 та 20 см; 16 й 21 см; 21 та 18 см; 32,17 та 14 см; 9, 16 й 20 см; два стовбури, кожний по 8 см; *Ulmus pumila* – 15 та 14 см; 22 та 20 см; 28 та 31 см.; 15 та 30 см; 12 та 17 см; 24 та 22 см; 21 та 20 см.

На рис. 4.9 і в додатку В, табл. В.8 надані результати щодо представленості деревних рослин деревостанів СЗЗ підприємства «Дніпроспецсталь» у класах за товщиною стовбурів.



Рис. 4.9 – Представленість класів дерев за товщиною стовбурів у захисних насадженнях підприємства «Дніпроспецсталь», %

Кількісно домінує клас дерев із діаметрами 20,1–24,0 см, що становить 17,10 % від сумарного числа деревних рослин у захисних зелених насадженнях цього підприємства. У даній категорії переважають *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, та *Populus simonii*. Меншу чисельність мають класи діаметрів у межах від 28,1 до 32,0 см, від 24,1 до 28,0 см та від 16,1 до 20,0 см. Частка рослин у цих градаціях – 10,8, 11,86 та 12,94 % від їх суми у деревостанах заводу відповідно. Кількість дерев у кожній із цих груп майже однакова. Найменше рослин з діаметрами 60,1–64,0 см (0,10 %), 56,1–60,0 см (0,15 %) та 68,1–72,0 см (0,31 %). Найтовстіший стовбур мають дерева *Populus alba* та *Robinia pseudoacacia* (понад 72 см). Встановлена наявність дерев з двома та трьома стовбурами: *Ailanthus altissima* має діаметри стовбурів – 13 та 20 см; *Acer platanoides* – 24 та 12 см; *Betula pendula* – 8 й 12 см, *Ulmus pumila* – 24, 14 й 20 см.

У захисних насадженнях Абразивного заводу виявлено найбільше дерев з діаметрами 20,1–24,0 см, що становить 15,43 % від сумарної чисельності деревних рослин захисного насадження (рис. 4.10 та додаток В, табл. В.9). У цій групі переважають такі породи: *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*. Трохи менше виявлено дерев з діаметрами в межах 16,1–20,0 см, 28,1–32,0 см та 24,1–28,0 см, що від загальної кількості рослин у деревостані заводу становить 13,02 %, 12,24 % та 11,54 % відповідно (рис. 4.10). Малочисельними є групи дерев із діаметрами від 64,1 до 68,0 см, від 76,1 до 80,0 см та від 84,1 до 88,0 см (0,23 %), (0,47 %) 0,70 %). У цих класах домінують *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia* та *Populus nigra*. У захисному зеленому масиві зростають двостовбурне та тристовбурне дерева: *Ulmus pumila* – 10, 12 та 30 см; *Robinia pseudoacacia* – 20 та 26 см.

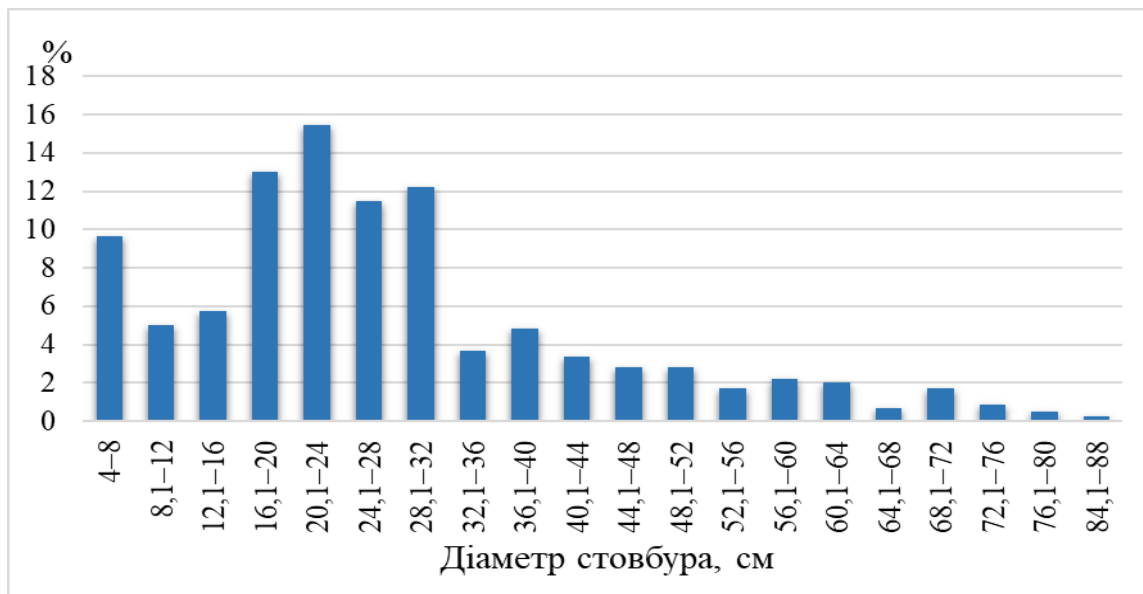


Рис. 4.10 – Представленість класів дерев за діаметрами стовбурів у захисних насадженнях Абразивного комбінату, %

Дані з розподілу дерев у санітарно-захисній зоні заводу «Запоріжсталь» представлені на рис. 4.11 й в табл. В.10 додатка В. Найбільше дерев мають діаметр 4,1–8,0 см, що становить від загальної їх кількості у насадженнях заводу 29,24 %. У цій категорії домінують *Ulmus pumila*, *Acer negundo* та *Ailanthus altissima*, причому переважає підріст (905 шт.), що сформувався внаслідок насінневого самовідновлення. У трохи меншій чисельності зростають рослини, які віднесені до груп з діаметрами від 24,1 до 28,0 см та від 20,1 до 24,0 см (11,55 і 18,79 % відповідно від загальної чисельності дерев) (рис. 4.11). Малочисельними є градації з діаметрами 88,1–92,0 см (0,02 %), 84,1–88,0 см та 60,1–64,0 см (0,07 %), а також 76,1–80,0 см (0,09 %). У захисних насадженнях цього підприємства виявлено дерево клена ясенелистого з двома стовбурами, діаметри яких 24 й 17 см.

Таким чином, у зелених масивах СЗЗ заводів «Склофлюс» та «Коксохім» висота дерев не перевищує 16 м, а у насадженнях Феросплавного підприємства – 18 м. У захисних зелених зонах Абразивного комбінату висаджена найбільша кількість молодих дерев порівняно з СЗЗ інших обстежених підприємств. Слід відмітити, що у деревних насадженнях Титано-магнієвий комбінату та заводів «Вогнетрив» і «Запоріжсталь» зростає значна кількість підросту природного самосіву, заввишки переважно від 4,1 до 6,0 м та та нижчого, ніж 4,0 м. Варто вказати, що у деревостанах Титано-магнієвого комбінату через суховерхість зрізані верхівки у 92 % рослин тополі білої.

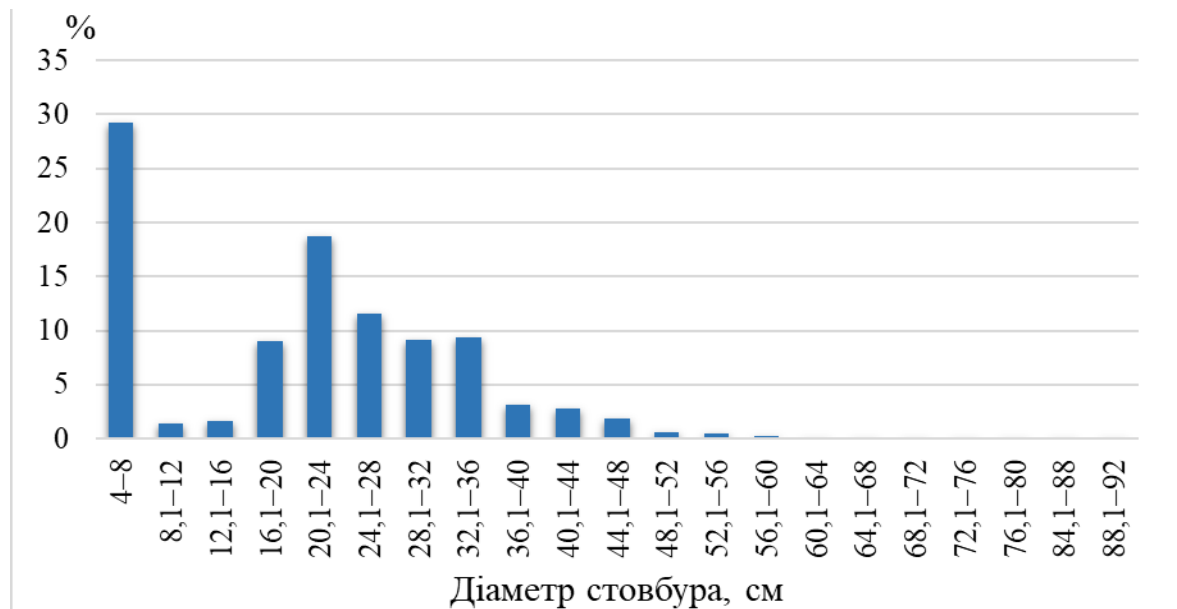


Рис. 4.11 – Представленість класів дерев за товщиною стовбурів у захисних насадженнях заводу «Запоріжсталь», %

З узагальненої таблиці (табл.4.12), що містить дані щодо представленості дерев у висотних класах, очевидно, що найбільш високі дерева характерні для насаджень СЗЗ підприємства «Укрграфіт» (від 20,1 до 22,0 м) та Трансформаторного виробництва (від 20,1 до 26,0 м). Натомість найнижчі дерева зростають у захисних зелених масивах СЗЗ таких заводів, як «Запоріжсклофлюс», «Коксохім» і «Феросплавів». Так, у зелених масивах виробництв «Склофлюс» та «Коксохім» висота дерев не перевищує 16 м, а у насадженнях Феросплавного заводу – 18 м. У зелених зонах більшості інших підприємств максимальна висота дерев становить 18,1–20,0 м, причому найбільша їх кількість зафіксована у СЗЗ Абразивного заводу (22,17 %) й заводу «Укрграфіт» (30,20 %). Мінімальна кількість дерев цих класів висот визначена у деревостанах Алюмінієвого комбінату (0,31 %) й виробництва «Дніпроспецсталь» (0,05 %).

У захисних насадженнях таких підприємств, як «Склофлюс», «Дніпроспецсталь», «Коксохім», «Запоріжсталь», «Феросплавів», Алюмінієвий комбінат найбільш чисельною є висотна градація від 10,1 до 12,0 м. Водночас у зелених зонах заводів «Запоріжсталь», «Вогнетрив», Трансформаторний та Абразивний найбільше дерев у висотному класі від 16,1 до 18,0 м. У захисних насадженнях заводів «Вогнетрив» і «Запоріжсталь», Титано-магнієвого комбінату виявлена значна кількість деревних рослин, віднесених до висотної групи 4,1–6,0 м. До цієї категорії здебільшого належать підріст *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*, що сформувався з самосіву. Дерев, що мають найбільшу товщину стовбурів, зростають у захисних зелених масивах СЗЗ підприємства «Укрграфіт». У окремих особин він досягає до 112 см (*Robinia pseudoacacia*, *Populus alba*, *Ulmus laevis*, *Populus nigra* та *Ulmus pumila*). У дерев СЗЗ Коксохімічного заводу зафіксована трохи менша максимальна товщина стовбурів: у межах від 98,1 до 102,0 см. Найменші значення цього показника виявлені у дерев захисних насаджень заводу «Дніпроспецсталь» (68,1–72,0 см). Серед рослин із найбільшими діаметрами у всіх досліджених санітарно-захисних насадженнях домінують *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba*, *Ulmus pumila*, *Populus nigra*. Для зелених насаджень СЗЗ підприємств «Вогнетрив» і «Запоріжсталь», а також Титано-магнієвого комбінату притаманна велика кількість природного самосівного підросту, тому в цих насадженнях найчисленніші рослини, що включені до градації 4,1–8,0 см. У досліджених захисних зелених зонах переважна кількість домінуючих видів дерев *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila* віднесена до розрядів діаметрів: від 32,1 до 36,0 см; від 28,1 до 32,0 см.

Таблиця 4.12

Представленість деревних рослин за класами висот у захисних зелених насадженнях заводів м. Запоріжжя

СЗЗ підприємства	Висота, м											
	до 4,0	4,1–6,0	6,1–8,0	8,1–10,0	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0	20,1–22,0	22,1–24,0	24,1–26,0
1	4,2	19,04	3,46	10,69	11,68	8,39	17,01	23,19	2,34			
2	6,16	7,80	9,18	15,22	50,44	7,67	3,77					
3	4,33	9,79	9,69	33,30	32,58	8,66	1,65					
4	10,35	6,19	5,98	6,94	5,66	3,63	4,80	6,40	30,20	19,85		
5	4,43	2,21	6,32	4,43	26,42	22,91	24,56	8,75	0,05			
6	2,89	5	9,37	10,69	7,57	-	19,05	23,26	22,17			
7	4,6	5,62	5,41	22,68	30,13	3,68	18,59	8,99	0,31			
8	3,60	7,12	8	11,16	49,74	13,88	3,78	2,72				
9	2,44	28,24	2,92	3,63	23,22	6,32	7,6	18,56	6,69	0,37		
10	3,17	9,52	2,20	3,17	7,20	10,19	17,08	21,11	11,47	7,20	6,65	1,04
11	2,87	28,42	2,91	3,35	0,92	3,13	21,94	24,04	12,41			

Примітка. Назви заводів: 1 – Титано-магнієвий; 2 – «Склофлюс»; 3 – «Коксохім»; 4 – «Укрграфіт»; 5 – «Дніпроспецсталь»; 6 – Абразивний; 7 – Алюмінієвий; 8 – Феросплавний; 9 – «Запоріжсталь»; 10 – Трансформаторний; 11 – «Вогнетрив»

## РОЗДІЛ 5

### ОЦІНКА ВІТАЛІТЕТНОГО СТАНУ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ЗАХИСНИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН ЗАВОДІВ

#### 5.1. Визначення віталітетного стану деревних рослин та деревостанів

Під час комплексного дослідження штучних деревних насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств як в теоретичному, так і в практичному аспектах важливою є оцінка їхнього загального стану як індикатора з метою прогнозу подальшої можливості їх нормальної життєдіяльності. Аналіз віталітетного стану рослин захисних лісосмуг дозволяє провести інтегральну оцінку їхньої життєздатності за дії несприятливих техногенних факторів, зокрема емісій забруднюючих речовин.

Розгляд літературних джерел свідчить, що забруднення навколишнього середовища призводить до пошкодження деревних рослин та погіршення їхнього життєвого стану (Іванченко, Бессонова, 2016; Бессонова, Джиган, 2018; Bessonova, Dzygan, 2018; Бессонова, Чонгова, 2023; Савосько, Копич, 2012; Савосько, Квітко, 2017; Скляренко, Бессонова, 2017б). Ступінь зниження життєвості визначається якісним та кількісним складом забруднювачів, їхнім співвідношенням, умовами зростання, кліматичними факторами, а також відповідністю рослин екологічним умовам місцевості. Життєвий стан насаджень визначає їх довговічність, здатність успішно виконувати санітарно-гігієнічні функції та естетичний вигляд. У зв'язку з цим було здійснено оцінку життєвого стану деревних рослин у санітарно-захисних зонах одинадцяти промислових підприємств, що належать до різних класів шкідливості.

У табл. 5.1 представлено розподіл дерев за категоріями життєвого стану у СЗЗ Коксохімічного заводу. Ознак ослаблення не мають 8,87 % дерев від загальної кількості в насадженні. До цієї категорії належить частина рослин *Morus alba*, *Catalpa bignonioides*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila* й *Robinia pseudoacacia*.

До помірно ослаблених дерева (перший клас життєвого стану) включено найбільшу частку насаджень – 51,55 %. У дерев цього класу до 25 % сухих гілок, переважно в нижній частині крони, приріст ослаблений у порівнянні з нормою, крона слабо ажурна, листя зелене. У деяких з них стовбури і гілки мають механічні пошкодження. У даній категорії найбільше таких рослин, як *Populus alba*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus simonii*, *Ailanthus altissima*, *Catalpa bignonioides*, *Ulmus pumila* й *Ulmus laevis*.

Для середньо ослаблених дерев (II категорія стану) притаманні такі ознаки: зменшені або більш світлі листки, передчасне їх опадання, наявність сухих гілок (у межах 25–50 %), а також зріджена крона. До цієї категорії належить 273 дерева, що складає 28,14 % від сумарної чисельності рослин у деревостанах заводу. Дана група включає понад половину рослин *Catalpa bignonioides*, а також 20–40 % особин *Ailanthus altissima*, *Morus alba*, *Ulmus pumila* та *Ulmus laevis*.

Слід зазначити, що погіршення стану ряду особин *Ailanthus altissima* пояснюється дуже щільними насадженнями цієї рослини через наявність численного підросту внаслідок насінневого самовідновлення. В захисному насадженні досліджуваного підприємства визначено 7,43 % дерев III категорії (сильно ослаблені). У цій групі домінує *Betula pendula*, частка якої становить 97,82 % від загальної кількості дерев цього виду. До IV категорії (відмираючі дерева) включено 2,05 % рослин, а до V категорії (свіжий сухостій) – 1,54 %.

Найчисельнішими у цих категоріях виявився *Ulmus laevis* (8 екземплярів). До сухою минулих років (категорія VI віднесено 4 екземпляри рослин *Ulmus laevis*).

Таблиця 5.1

Представленість дерев С33 Коксохімічного заводу у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer platanoides</i>			5/100				
<i>Ailanthus altissima</i>	11/6,18	126/70,79	37/20,79	2/1,12	2/1,12		
<i>Betula pendula</i>				45/97,82		1/2,18	
<i>Catalpa bignonioides</i>	6/4,32	53/38,12	76/56,83		4/2,87		
<i>Elaeagnus angustifolia</i>			1/100				
<i>Morus alba</i>	11/28,20	13/33,33	10/25,64	5/12,82			
<i>Populus alba</i>			7/87,5		1/12,5		
<i>Populus simonii</i>		2/100					
<i>Robinia pseudoacacia</i>	15/9,14	121/73,78	17/10,36	8/4,88		3/1,83	
<i>Quercus robur</i>		1/100					
<i>Ulmus pumila</i>	43/15,52	135/48,73	80/28,88	4/1,44	12/4,32	3/1,09	
<i>Ulmus laevis</i>		49/44,54	40/36,36	8/7,27	1/0,91	8/7,26	4/3,64
Всього, шт.	86	500	273	72	20	15	4
% від загальної кількості екземплярів	8,87	51,55	28,14	7,43	2,05	1,54	0,41

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

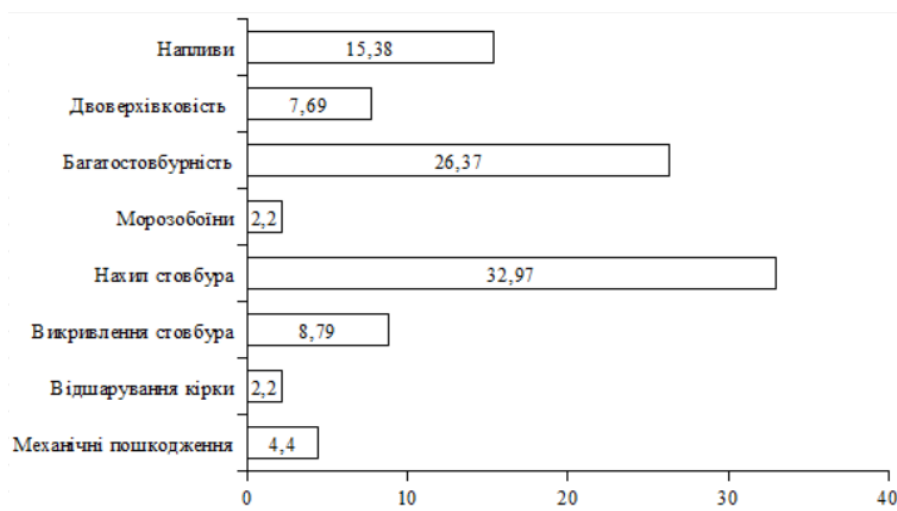


Рис. 5.1 – Чисельність дефектів стовбурів дерев у зеленій захисній зоні Коксохімічного заводу, % від їх загальної кількості

Таким чином, найбільша частка дерев зеленої зони Коксохімічного заводу належить до помірно ослаблених (категорія I), а у сумі з рослинами, що належать до категорії 0 (ознак пошкодження не мають – здорові), їх кількість складає 60,42 %. Частка сильно ослаблених і всихаючих дерев відносно невелика – 4,01 % через їх регулярне видалення.

До стійких порід за морфометричними ознаками у С33 Коксохімічного підприємства віднесені *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*.

Результати вивчення стану стовбурів дерев у захисній зеленій зоні Коксохімічного заводу представлені на рис. 5.1. Найбільш поширеними дефектами є: механічні пошкодження – 4,40 %, морозобоїни та відшарування кірки – по 2,20 %, викривлення стовбура – 8,79 %, капи – 15,38 %, нахил під різним кутом – 32,97 %, наявність двох-трьох стовбурів – 26,37 %, двоверхівковість – 7,69 %, Багатостовбурність найчастіше зустрічається серед представників роду *Ulmus*.

Визначено, що у санітарно-захисній зоні заводу «Склофлюс» 5,79 % деревних рослин не мають зовнішніх ознак пошкодження. Як видно з табл. 5.2, даній категорії життєвого стану рослин домінують: *Ailanthus altissima* – 16 шт. (10,81 % від загальної кількості дерев цього виду), *Ulmus laevis* – 6 шт. (60 %), *Ulmus parvifolia* – 22 шт. (3,90 %), Слід зазначити, що дерев останнього виду у захисній зоні даного заводу зростає всього 10 шт.

Таблиця 5.2

Представленість дерев СЗЗ заводу «Склофлюс» у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer pseudoplatanus</i>		2/100					
	16/10,81	128/86,49	4/2,68				1/0,61
<i>Morus alba</i>		9/81,82		1/9,09		1/9,09	
<i>Populus alba</i>		2/100					
<i>Populus simonii</i>		1/100					
<i>Pyrus communis</i>		1/100					
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1/4	22/88				2/8	
<i>Ulmus carpinifolia</i>	1/3,33	23/76,66		1/3,33	4/13,33	1/3,33	
<i>Ulmus laevis</i>	6/60	2/20				1/10	1/10
<i>Ulmus pumila</i>	22/3,90	442/78,37	89/15,78	3/0,53	5/0,89	2/0,35	1/0,18
Всього, шт.	46	632	93	5	9	7	3
% від заг. к-ті екз.	5,79	79,50	11,70	0,63	1,13	0,88	0,38

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

Чисельність дерев I-ї категорії життєвого стану, що відповідає рівню помірно ослаблених, становить 79,50 %. Найбільшою кількістю в цій групі представлені *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Morus alba*, *Ulmus pumila*, *Ulmus parvifolia*. До середньо ослаблених (II категорії) належать 11,70 % від сумарного числа дерев (93 шт.), серед яких два види: *Ulmus pumila* (89 шт.) та *Ailanthus altissima* (4 шт.). До III-ї категорії (сильно ослаблені) віднесено 0,63 % дерев, IV-ї категорії (відмираючі дерева) – 1,13 %, а VI-ї категорії (сухостій минулих років) – лише 3 екземпляри. Чисельність дерев V-ї категорії (свіжий сухостій) становить 0,88 %.

Таким чином, життєвий стан, що визначено як незадовільний, діагностовано у 3,02 % дерев. У зелених зонах заводу «Склофлюс» достатньо високу стійкість, яку оцінено за візуальними ознаками, мають *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*. На жаль, більш глибокий аналіз зробити неможливо через мале різноманіття деревних видів у зелених захисних насадженнях цього підприємства.

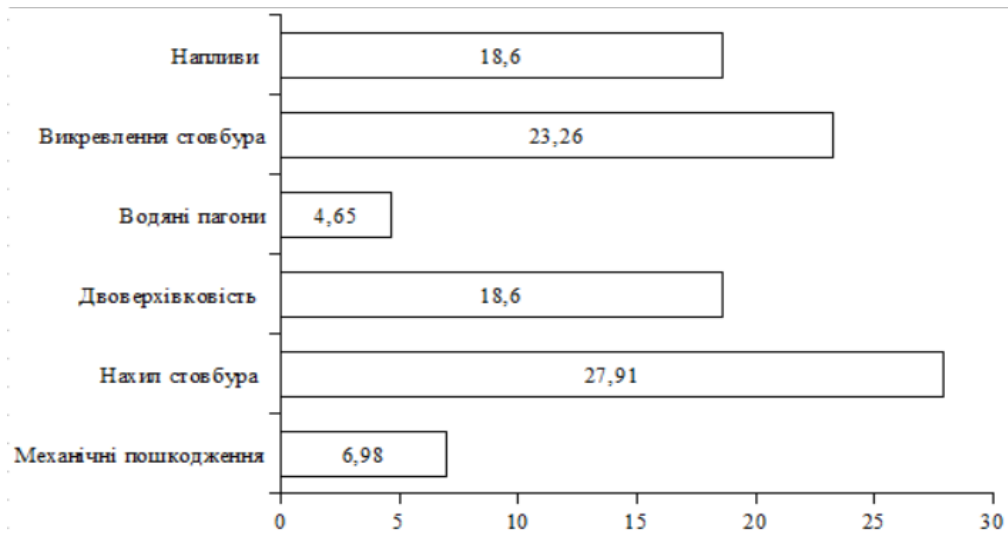


Рис. 5.2 – Чисельність дефектів стовбурів дерев у зеленій захисній зоні заводу «Склофлюс», % від їх сумарного обсягу

Зустрічальність дефектів стовбурів деревних рослин у санітарно-захисній зоні підприємства «Склофлюс» наведено на рис. 5.2. Найбільш поширеними є: нахил стовбура – 27,91 %, його викривлення – 23,26 %, капи та двоверхівковість – 18,60 %, механічні пошкодження – 6,98 %, водяні пагони – 4,65 %.

За отриманими даними найбільша толерантність до інгредієнтів промислових викидів підприємства «Склофлюс» встановлена у *Morus alba*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila* й *Robinia pseudoacacia*.

Результати з оцінки життєвого стану деревних рослин зелених масивів підприємства «Укрграфіт» надані в табл. 5.3. В цілому до групи здорових рослин (категорія 0) віднесено 13,02 % дерев, що зростають у цих захисних насадженнях. Максимальна частка дерев даної категорії зафіксована серед екземплярів *Robinia pseudoacacia* (36 шт., 9,86 %, від загальної кількості особин даного виду рослин), *Ailanthus altissima* (58,49 %, 31 шт.), *Fraxinus lanceolata* (40,54 %, 15 шт.).

Найбільша кількість деревних рослин у насадженні (61,58 %) внесена до групи помірно ослаблених (I категорія стану). Основними представниками цієї групи є *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* та *Ulmus laevis* (Скляренко, Бессонова, 2017).

До категорії II (середньо ослаблені) належить 180 дерев, що складає 19,21 % від сумарної кількості деревних рослин у захисних насадженнях даного заводу. До цієї групи входить понад 50 % особин *Morus alba* та 20–30 % дерев *Ulmus laevis*, *Ulmus pumila* й *Robinia pseudoacacia*. До III-ї категорії життєвого стану віднесено 47 дерев (5,02 % від загального обсягу рослин у деревостані). Тільки 0,53 % рослин належать до IV-ї категорії (відмираючі дерева), а 0,21 % – є свіжим сухостоєм (V категорія). Чотири особини включені до категорії VI. До найбільш толерантних рослин захисних деревостанів заводу «Укрграфіт» можна перелічити такі види: *Robinia pseudoacacia*, *Morus alba*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*,

На рис. 5.3 надана представленість частоти різних патологій стовбурів деревних рослин у зеленій зоні заводу «Укрграфіт». Найбільш поширеними серед патологічних змін є: відшарування кірки, механічні пошкодження, викривлення стовбура та його нахил, напливи й дупла, водяні пагони. Найчастіше, як і у насадженнях заводів «Коксохім» та «Склофлюс», зустрічаються викривлення і нахил стовбура ((16,61 й 31,67 % відповідно).

Таблиця 5.3

Представленість дерев СЗЗ заводу «Укрграфіт» у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer negundo</i>	2/100						
<i>Acer platanoides</i>	3/23,08	8/61,54	1/7,69		1/7,69		
<i>Ailanthus altissima</i>	31/58,49	22/41,51					
<i>Catalpa bignonioides</i>		1/100					
<i>Elaeagnus angustifolia</i>		1/100					
<i>Fraxinus lanceolata</i>	15/40,54	22/59,46					
<i>Juglans regia</i>		4/44,44	5/55,56				
<i>Malus domestica</i>		4/100					
<i>Morus alba</i>	9/7,46	40/34,48	51/43,97	15/12,93			1/0,86
<i>Populus alba</i>		48/68,57	12/17,14	10/14,29			
<i>Populus simonii</i>		2/50	1/25	1/25			
<i>Populus nigra</i>		2/66,67	1/33,33				
<i>Populus pyramidalis</i>			1/100				
<i>Pyrus communis</i>	1/100						
<i>Robinia pseudoacacia</i>	36/9,86	250/68,49	63/17,26	11/3,01	4/1,10	1/0,27	
<i>Salix alba</i>		2/100					
<i>Thuja orientalis</i>	4/100						
<i>Tilia cordata</i>		6/85,71	1/14,29				
<i>Ulmus pumila</i>	15/8,20	121/66,12	36/19,67	7/3,83		1/0,55	3/1,64
<i>Ulmus laevis</i>	6/9,84	44/72,13	8/13,11	3/4,92			
Всього, шт.	122	577	180	47	5	2	4
% від загальної кількості екз.	13,02	61,58	19,21	5,02	0,53	0,21	0,43

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

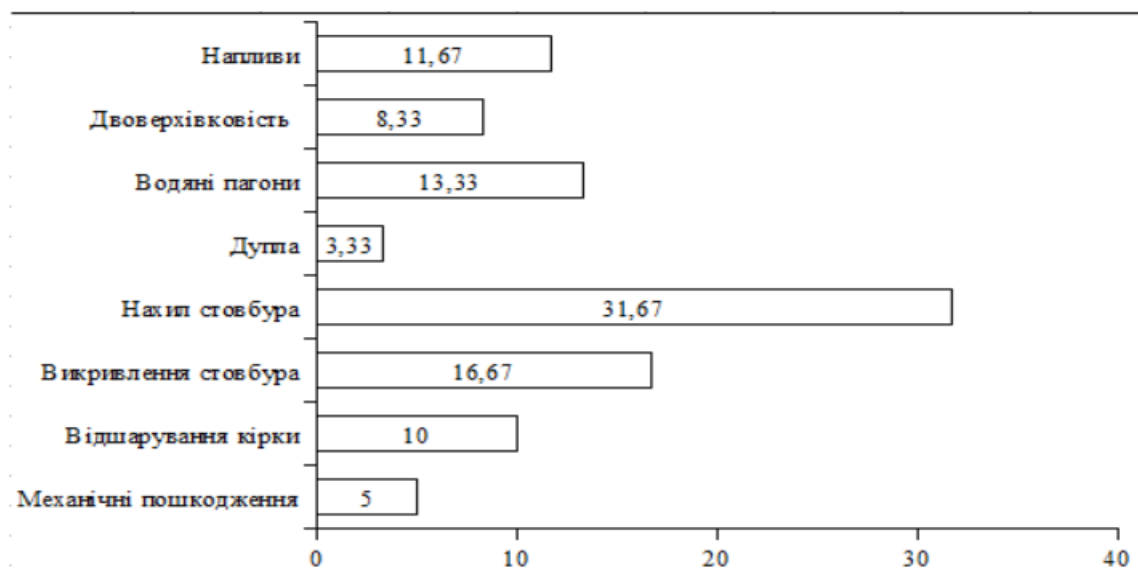


Рис. 5.3 – Чисельність дефектів стовбурів дерев у зеленій захисній зоні заводу «Укрграфіт», % від їх сумарного обсягу

Групування дерев за життєвим станом у насадженнях Феросплавного підприємства наведено у табл. 5.4. До категорії без ознак ослаблення віднесено 8,61 % особин від загальної кількості дерев у зеленій зоні. У цій групі домінують *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima* й *Robinia pseudoacacia*. Найбільша частка дерев – 59,75 % – належить до категорії помірно ослаблених. Основними представниками цієї групи є *Ailanthus altissima*, *Catalpa bignonioides*, *Ulmus parvifolia*, *Ulmus pumila*, *Populus alba*, *Morus alba* *Robinia pseudoacacia*, та всі рослини *Fraxinus lanceolata*.

Таблиця 5.4

Представленість деревних рослин СЗЗ Феросплавного виробництва у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Ailanthus altissima</i>	4/40	6/60					
<i>Betula pendula</i>			2/100				
<i>Catalpa bignonioides</i>		5/45,45	6/54,54				
<i>Elaeagnus angustifolia</i>		1/50		1/50			
<i>Fraxinus lanceolata</i>		2/100					
<i>Malus domestica</i>			1/100				
<i>Morus alba</i>	3/60	2/40					
<i>Populus alba</i>		4/50	1/12,50	3/37,50			
<i>Robinia pseudoacacia</i>	43/9,82	333/76,02	51/11,64	4/0,91	1/0,23	6/1,37	
<i>Salix alba</i>			1/100				
<i>Ulmus carpinifolia</i>	2/7,41	10/37,03	7/25,93	8/29,62			
<i>Ulmus pumila</i>	46/7,29	317/50,23	251/39,77	5/0,79	1/0,16	10/1,58	1/0,16
Всього, шт.	98	680	320	21	2	16	1
% від заг. к-ті екз.	8,61	59,75	28,12	1,85	0,18	1,44	0,09

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

До середньо ослаблених (категорія II) віднесено 28,12 % дерев від сумарної чисельності рослин у зелених масивах заводу. У цій групі найбільше представлені *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ulmus carpinifolia*. До VI-ї та IV-ї категорій включено по одному екземпляру *Ulmus parvifolia*. До V-ї категорії (свіжий сухостій) належить 1,44 % дерев (16 екземплярів), серед яких 6 – *Robinia pseudoacacia* й 10 – *Ulmus pumila*, хоча ці рослини віднесені до групи стійких. Це пояснюється великою густотою зростання цих видів рослин в окремих групах та значною їх чисельністю в насадженні (відповідно 438 та 631 екземплярів), що підвищує і частку ушкоджених. Таким чином, з урахуванням відсотка рослин, що віднесені до 0 і I категорій життєвого стану рослин у захисних насадженнях цього підприємства до найбільш толерантних видів можна віднести *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*.

Обсяг інших порід дерев, зростаючих у зеленій захисній зоні Феросплавного заводу, є незначним, що ускладнює об'єктивну оцінку стійкості багатьох із них за даних умов зростання.

Кількісні значення різних патологічних змін стовбурів деревних рослин у санітарно-захисній зоні Феросплавного заводу представлені на рис. 5.4. Найбільш поширеними видами

патологій є: механічні пошкодження, наявність декількох стовбурів, нахил та викривлення стовбура, двоверхівковість, морозобоїни та капи. Найчастіше зустрічаються такі, як багатостовбурність та нахил (33,75 й 23,75 % від суми всіх порушень стовбурів).

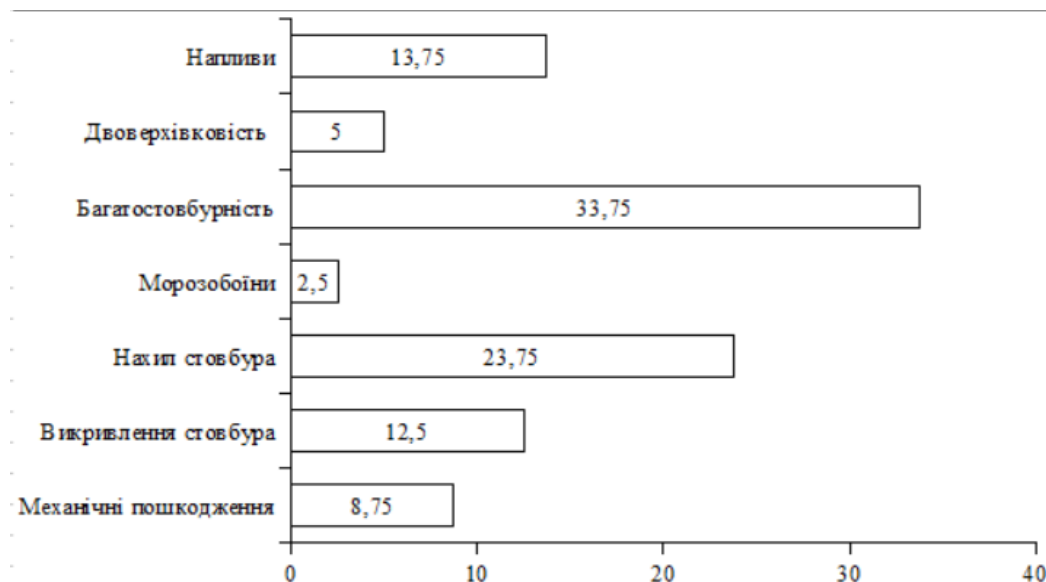


Рис. 5.4 – Чисельність патологій стовбурів дерев у зеленій захисній зоні Феросплавного підприємства, % від їх сумарної чисельності

У табл. 5.5 та 5.6 надано поділ рослин, включаючи самосів, у зеленій зоні підприємства «Вогнетрив» за категоріями життєвого стану представлено у. У зв'язку з тим, що у зелених масивах даного заводу «Вогнетрив» відзначена велика чисельність підросту деревних рослин, було проведено його оцінку за категоріями життєвого стану (табл. 5.5). До 0-ї (без ознак ослаблення) та I-ї категорій (помірно ослаблені) віднесено майже однакову частку рослин – 31,55 % та 38,07 % відповідно, II-а категорія (середньо ослаблені) включає 16,69 % підросту, III-я – 13,69 %. До цих двох останніх груп віднесено тільки *Acer negundo*. Таким чином, більшість підросту самосійного походження перебуває у відносно доброму стані. Це можна пояснити тим, що переважна більшість його особин це – *Acer negundo* та *Ulmus pumila*, які спонтанно розповсюджуються по території захисної зеленої зони і, взагалі, характеризуються високим життєвим потенціалом. Наявність значної кількості підросту *Acer negundo* II і III-категорій життєвого стану викликано надзвичайно густим його зростанням, що негативно впливає на життєві функції, особливо на фоні дії забруднювачів.

Таблиця 5.5

Групування самосіву деревних порід СЗЗ підприємства «Вогнетрив» за категоріями життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев			
	0	I	II	III
<i>Acer negundo</i>	208/34,90	155/26,00	128/21,47	105/17,61
<i>Acer platanoides</i>	10/33,33	20/66,67		
<i>Robinia pseudoacacia</i>	24/60	16/40		
<i>Ulmus pumila</i>		101/100		
Всього, шт.	242	292	128	105
% від заг. к-ті екз.	31,55	38,07	16,69	13,69

Примітка: чисельник – число, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

Відповідно до шкали оцінки життєвого стану, 6,36 % дерев у захисних насадженнях заводу «Вогнетрив» не мають ознак ослаблення (табл 5.6).

Найбільшу частку серед цієї групи складають: *Ailanthus altissima* – 65 шт. (95,59 % від числа деревних рослин цього виду у захисній зоні) та *Robinia pseudoacacia* – 47 шт. (7,36 %). Переважна кількість дерев зелених масивів даного заводу – 53,82 % – віднесені до помірно ослаблених (I-категорія). Найчисельнішими у цій групі є *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila* та *Populus alba*. До середньо ослаблених (II категорія життєвого стану) належать переважно *Ulmus pumila* (440 шт., 77,46 %) та *Populus alba* (107 шт., 36,52 % від загальної кількості дерев у захисних зелених насадженнях).

Таблиця 5.6

Представленість дерев насаджень підприємства «Вогнетрив» у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer negundo</i>	2/1,20	112/67,47	38/22,89		4/2,41	4/2,41	6/3,61
<i>Acer platanoides.</i>		14/30,43	25/54,35	6/13,04			1/2,17
<i>Aesculus hippocastanum</i>			16/100				
<i>Ailanthus altissima</i>	65/95,59	1/1,47	1/1,47				1/1,47
<i>Betula pendula</i>		4/36,36	7/63,64				
<i>Catalpa bignonioides</i>			5/100				
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1/16,67	4/66,66		1/16,67			
<i>Fraxinus lanceolata</i>		5/83,33	1/16,67				
<i>Juglans regia</i>	1/50		1/50				
<i>Morus alba</i>	3/16,67	15/83,33					
<i>Picea abies</i>			3/100				
<i>Picea pungens</i>		10/100					
<i>Platanus acerifolia</i>	1/100						
<i>Populus alba</i>	4/1,37	182/62,12	107/36,52				
<i>Populus nigra</i>			46/95,83		1/2,08		1/2,08
<i>Populus simonii</i>		21/52,50	4/10,0	14/35,00			1/2,50
<i>Robinia pseudoacacia</i>	47/7,36	556/87,01	32/5,01			1/0,16	3/0,47
<i>Salix alba</i>		1/100					
<i>Tilia cordata</i>			2/100				
<i>Ulmus pumila</i>		124/21,83	440/77,46		1/0,18	3/0,53	
Всього, шт	124	1049	728	21	6	8	13
% від заг. к-ті екз.	6,36	53,82	37,35	1,08	0,31	0,41	0,67

Примітка: чисельник – обсяг дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

До III-ї категорії життєвого стану включено 1 дерево *Elaeagnus angustifolia*, 6 – *Acer platanoides* та 14 дерев *Populus simonii*. Незначна кількість рослин віднесена до IV-ї категорії – 0,31 % (6 шт.) та до V-ї категорії – 0,41 % (8 шт.). У насадженнях виявлено сухостій минулих років, чисельність якого становить 0,67 % (13 дерев). Отже, до найбільш стійких видів деревних рослин захисної зеленої зони заводу «Вогнетрив» віднесено: *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Populus alba*.

Частка різних патологій стовбурів деревних рослин зелених насаджень даного заводу представлена на рис. 5.5. Найпоширенішими з них є викривлення та двоверхівковість

стовбура – по 11,36 % та його нахил – 68,18 %, Значно рідше виявлені механічні пошкодження, багатостовбурність та морозобоїни.

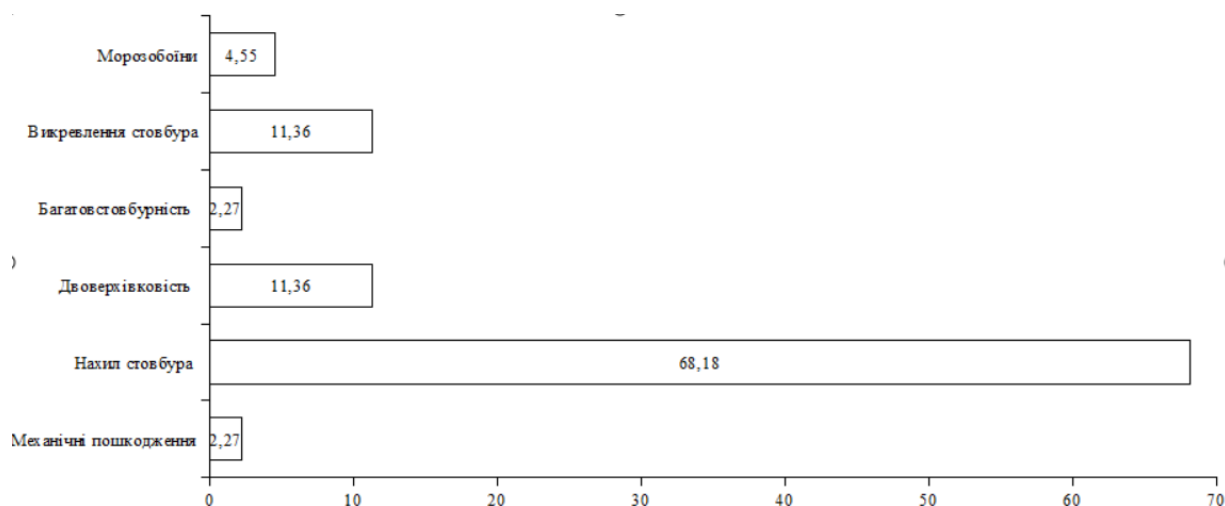


Рис. 5.5 – Чисельність патологій стовбурів дерев у зеленій захисній зоні підприємства «Вогнетрив», % від їх сумарної чисельності

Підріст насінневого походження, що росте на території санітарно-захисної зони заводу «Запоріжсталь», презентований чотирма видами деревних рослин, серед яких абсолютну більшість складає *Acer negundo* (табл. 5.7). Всі ці види підросту самосійного походження відносяться до інвазійних, які характеризуються високим рівнем віталітетного стану. Підріст поділено на відповідні класи, що відбивають його стан. Найбільша кількість особин належить до II-ї категорії (середньо ослаблені) – 36,41 %, до 0-ї і (високий рівень життєвості) – 27,09 %, до I-ї і до III-ї – 19,21 та 17,28 % відповідно. Отже, за часткою переважають середньо ослаблені рослини. У всіх групах найбільша кількість особин представлена *Acer negundo*. Підріст *Ailanthus altissima* та *Robinia pseudoacacia* другого класу відсутній. До III-ої категорії життєвості віднесено лише підріст *Acer negundo*. Не виявлено жодної особини будь-якого виду деревних рослин у IV-ої та V-ої категорії життєвого стану, як і у зелених зонах заводу «Вогнетрив». Характерно, що видовий склад самосіву такий же, як і в СЗЗ заводу «Вогнетрив», проте відсоток рослин, що віднесені до категорій I і 0 життєвого стану значно менший, але більша частка його, що має ознаки характерні для II і III категорій. Це свідчить про більш складні екологічні умови в захисній зеленій зоні заводу «Запоріжсталь».

Таблиця 5.7

Групування підросту деревних порід захисної зони підприємства «Запоріжсталь» за категоріями життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев			
	0	I	II	III
<i>Acer negundo</i>	242/22,72	195/18,31	413/38,78	215/20,19
<i>Ailanthus altissima</i>	41/100			
<i>Robinia pseudoacacia</i>	14/87,50	2/12,50		
<i>Ulmus pumila</i>	40/32,79	42/34,43	40/32,79	
Всього, шт	337	239	453	215
% від заг. к-ті екз.	27,09	19,21	36,41	17,28

Примітка: чисельник – чисельність, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

Таким чином, сумарна кількість здорового і помірно ослабленого підросту, що виражена у відсотках до його загальної кількості у зелених насадженнях підприємства «Запоріжсталь», у 1,27 разів більша ніж відсоток середньо ослаблених і у 2,68 разів перевищує кількість сильно ослаблених рослин. Ці дані вказують на середній рівень життєвого стану підросту даного заводу. Слід вказати, що умови його зростання ускладнюються не тільки забрудненням довкілля, але й дуже високою густотою стояння рослин.

Розподіл дерев у штучних насадженнях санітарно-захисної зони заводу «Запоріжсталь» наведено в табл. 5.8. Як видно, 5,47 % рослин не мають ознак ослаблення. До I-ї категорії життєвого стану (помірно ослаблені) віднесено 61,54 % дерев. Основними ознаками ослаблення є пошкодження окремих листків, всихання до 25 % переважно нижніх гілок, морозобоїни тощо. В цій групі представлені всі екземпляри *Armeniaca vulgaris*, *Populus nigra*, *Populus balsamifera* та *Morus alba*. У найбільшій кількості також зустрічаються *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Populus alba*.

Таблиця 5.8

Представленість дерев захисної зони підприємства «Запоріжсталь» у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев, шт.						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer pseudoplatanus</i>		6/54,55	5/45,45				
<i>Acer negundo</i>	4/0,60	232/34,78	431/64,62				
<i>Aesculus hippocastanum</i>				45/100			
<i>Ailanthus altissima</i>	61/81,33	14/18,67					
<i>Armeniaca vulgaris</i>		2/100					
<i>Betula pendula</i>			13/76,47	3/17,65			1/5,88
<i>Catalpa bignonioides</i>			3/100				
<i>Elaeagnus angustifolia</i>		7/70	1/10		1/10	1/10	
<i>Fraxinus lanceolata</i>		3/75	1/25				
<i>Malus silvestris</i>		2/33,33	4/66,67				
<i>Morus alba</i>		1/100	1/100				
<i>Picea abies</i>				2/100			
<i>Picea pungens</i>			1/100				
<i>Populus alba</i>		45/78,95	7/12,28	5/8,77			
<i>Populus balsamifera</i>		1/100					
<i>Populus nigra</i>		5/100					
<i>Populus simonii</i>		5/4,63	91/84,26	8/7,41	3/2,78	1/0,93	
<i>Pyrus communis</i>	1/50	1/50					
<i>Robinia pseudoacacia</i>	85/9,58	736/82,98	45/5,07	6/0,68	7/0,79		8/0,90
<i>Thuja occidentalis</i>				15/100			
<i>Thuja orientalis</i>	9/100						
<i>Tilia cordata</i>			5/100				
<i>Ulmus pumila</i>	18/1,51	861/72,41	261/21,95	26/2,19	2/0,17	2/0,17	19/1,60
<i>Ulmus glabra</i>	2/15,38	9/69,23	2/15,38				
Всього, шт.	180	1930	871	110	13	4	28
% від заг. к-ті екз.	5,47	61,54	27,77	3,51	0,41	0,13	0,89

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

До середньо ослаблених дерев (категорія II життєвого стану) включено 27,77 % дерев від їх суми у захисних насадженнях заводу (871 шт). До цієї категорії віднесено значну частку *Ulmus pumila* *Acer negundo* й *Populus simonii*. До сильно ослаблених дерев (категорія III) належить 3,51 %, а до IV-ї категорії (відмираючі дерева) – 0,41 % дерев.

Сухостій минулих років представлений одним деревом *Betula pendula*, вісьмома – *Robinia pseudoacacia* та дев'ятнадцятьма деревами *Ulmus pumila*. До V-ї категорії (свіжий сухостій) включено чотири дерева: *Elaeagnus angustifolia* та *Robinia pseudoacacia* (по 1 шт.), *Ulmus pumila* (2 шт). Слід зазначити, що на території санітарно-захисної зони підприємства спостерігається багато пеньків дерев. Це вказує на поступову їх загибель.

Таким чином, найбільша частка дерев від загальної їх кількості у зеленій зоні підприємства «Запоріжсталь» належить до I-ї категорії життєвого стану, що вказує на помірний рівень ослаблення насаджень. Це можна пояснити правильним підбором стійких деревних порід для озеленення у даних екологічних умовах і задовільним доглядом за рослинами. До найстійкіших порід у зелених насадженнях даного підприємства за візуальними спостереженнями віднесені *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*.

Результати щодо чисельного розподілу різних патологічних змін стовбурів деревних рослин у санітарно-захисній зоні підприємства «Запоріжсталь» наведено на рис. 5.6. Серед основних типів пошкоджень найбільш поширеними є викривлення стовбура та його нахил, багатостовбурність, а також механічні ушкодження.

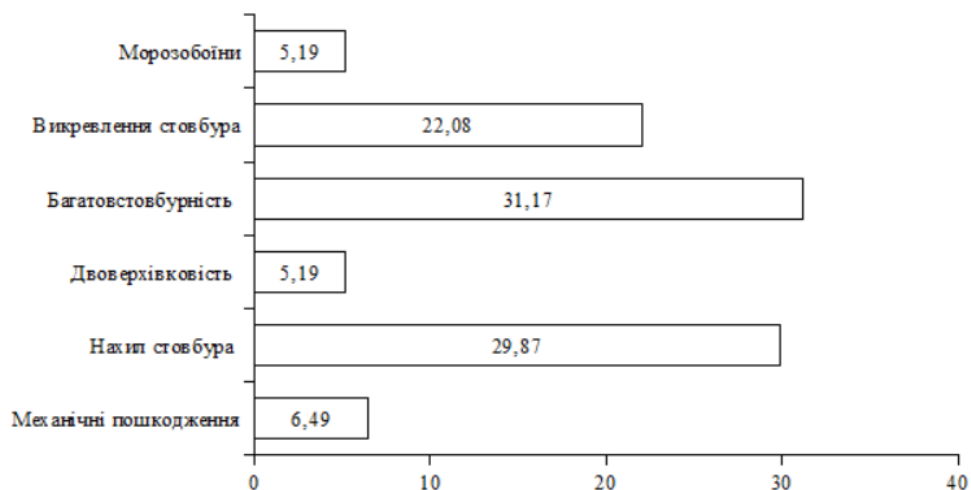


Рис. 5.6 – Чисельність дерев з дефектами стовбурів у зеленій захисній зоні підприємства «Запоріжсталь», % від їх загальної кількості

Дані з представленості дерев зелених насаджень у санітарно-захисній зоні підприємства «Дніпроспецсталь» у різних категоріях життєвого стану наведені у табл. 5.9. Виявлено 164 екземпляри дерев без ознак ослаблення (категорія 0), що становить 8,44 % від сумарної кількості рослин. У цій групі домінує *Robinia pseudoacacia*, чисельність таких видів, як *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila* й *Morus alba* набагато менша, а інші рослини в цій категорії відсутні або представлені в кількості менше 10, хоча відсоток від загальної їх наявності у насадженні може бути доволі значним.

Найбільша частка дерев (68,28 %) належить до I-ї категорії (помірно ослаблені). Серед цієї групи найчисельнішими є *Ulmus pumila*, *Populus simonii*, *Robinia pseudoacacia*, *Catalpa bignonioides* та *Ailanthus altissima*.

Частка відмираючих дерев (категорія IV) становить лише 1,08 %. До: свіжого сухостою віднесені *Populus alba* (1 шт.), *Catalpa bignonioides* (1 шт.), *Robinia pseudoacacia* (2 шт.) й *Populus simonii* (3 шт.), всього – 0,36 %.

Таблиця 5.9

Представленість дерев зеленої зони підприємства «Дніпроспецсталь» у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer negundo</i>	2/15,38	4/30,77	7/53,85				
<i>Acer platanoides</i>		5/31,25	11/68,75				
<i>Acer saccharinum</i>		4/100					
<i>Aesculus hippocastanum</i>			3/100				
<i>Ailanthus altissima</i>	12/27,91	27/62,79	4/9,30				
<i>Armeniaca vulgaris</i>		4/100					
<i>Betula pendula</i>			37/84,09	7/15,91			
<i>Catalpa bignonioides</i>		14/56	6/24		2/8	1/4	2/8
<i>Juglans regia</i>		21/95,45	1/4,55				
<i>Morus alba</i>	13/65,00	2/10	4/20		1/5		
<i>Picea abies</i>			6/100				
<i>Picea pungens</i>		16/100					
<i>Platanus acerifolia</i>	3/75		1/25				
<i>Populus alba</i>	2/11,76	8/47,06	6/35,29			1/5,88	
<i>Populus nigra</i>		1/100					
<i>Populus simonii</i>	7/3,45	100/49,26	73/35,96	4/1,97	13/6,40	3/1,48	3/1,48
<i>Pyrus communis</i>	1/100						
<i>Robinia pseudoacacia</i>	105/13,48	561/72,01	96/12,32	3/0,39	2/0,26	2/0,26	10/1,28
<i>Salix alba</i>				2/100			
<i>Thuja occidentalis</i>		60/100					
<i>Tilia cordata</i>		5/17,24	24/82,75				
<i>Ulmus pumila</i>	19/3,03	494/78,79	94/14,99	2/0,32	3/0,48		15/2,39
<i>Ulmus laevis</i>			2/66,67	1/33,33			
Всього, шт	164	1326	375	19	21	7	30
% від заг. к-ті екз.	8,44	68,28	19,31	0,97	1,08	0,36	1,54

Примітка: чисельник – число рослин, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

У захисних насадженнях заводу «Дніпроспецсталь» виявлено сухостій минулих років – 30 дерев. Це вказує про недостатність належного догляду за насадженнями: не здійснюється санітарна обрізка та видалення засохлих дерев. Домінуючими у даній групі є *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*, хоча ці види дерев домінують у категоріях стану 0 та 1, що характеризує їх як стійкі у даних екологічних умовах, а більшу представленість у категорії VI, порівняно з іншими рослинами, можна пояснити тим, що їх загальна чисельність у насадженні заводу у декілька разів перевищує кількість дерев інших видів.

До найбільш стійких порід у санітарно-захисній зоні підприємства Запоріжсталь за оцінками показників життєвого стану можна віднести: *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* та *Populus simonii*.

На рис. 5.7 представлено кількісні співвідношення різних типів патологій стовбурів деревних рослин у санітарно-захисній зоні підприємства «Дніпроспецсталь». Найпоширенішими видами стовбурних порушень є механічні пошкодження: викривлення стовбура, двоверхівковість, багатостовбурність, нахил стовбура. Найрідше зустрічаються морозобоїни.

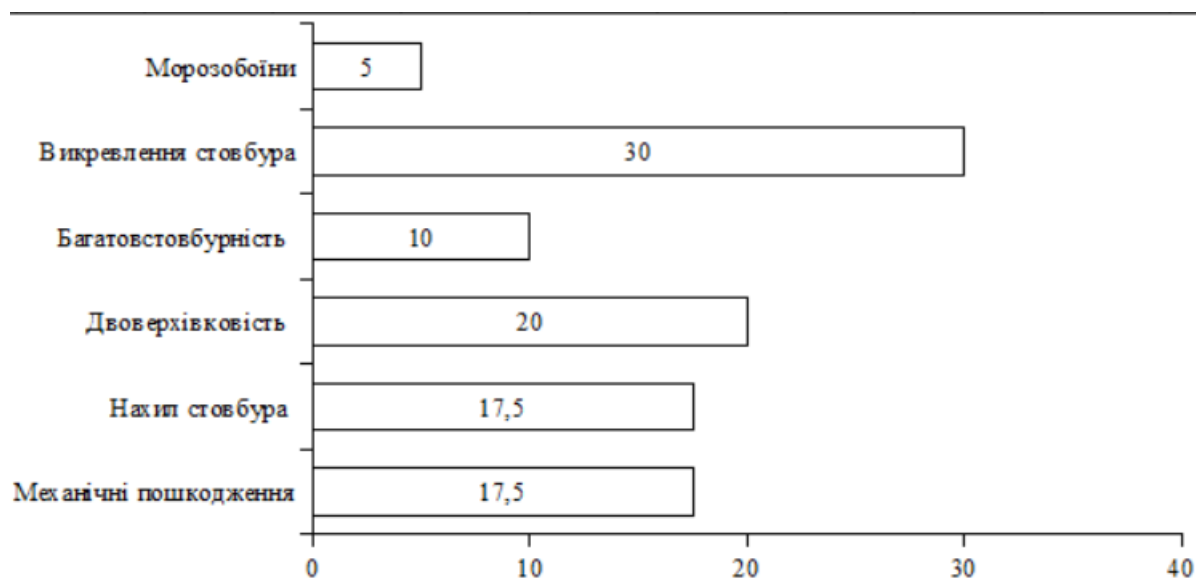


Рис. 5.7 – Чисельність дефектів стовбурів дерев у зеленій захисній зоні підприємства «Дніпроспецсталь», % від їх загальної кількості

Таблиця 5.10

Представленість дерев захисних насаджень Абразивного підприємства у різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer negundo</i>		4/100					
<i>Acer platanoides</i>		13/68,42	6/31,58				
<i>Acer saccharinum</i>		1/100					
<i>Aesculus hippocastanum</i>		51/100					
<i>Armeniaca vulgaris</i>		1/100					
<i>Catalpa bignonioides</i>		30/28,57	64/60,95	9/8,57			2/1,9
<i>Elaeagnus angustifolia</i>		2/100					
<i>Juglans regia</i>		7/100					
<i>Morus alba</i>	2/66,67		1/33,33				
<i>Picea abies</i>		2/100					
<i>Picea pungens</i>		3/33,33		6/66,67			
<i>Populus alba</i>	31/9,78	195/61,51	71/22,40	3/0,95	5/1,58		12/3,79
<i>Populus nigra</i>	10/20,41	36/73,47	2/4,08				1/2,04
<i>Pyrus communis</i>		1/100					
<i>Robinia pseudoacacia</i>	15/2,74	402/73,36	111/20,26	9/1,64	6/1,09	2/0,36	3/0,55
<i>Ulmus pumila</i>		123/75,93	37/22,84				2/1,23
Всього, шт. (1281)	58	871	292	27	11	2	20
% від заг. к-ті екз.	4,53	67,99	22,79	2,11	0,86	0,13	1,56

Примітка: чисельник – число рослин, шт.; знаменник – % від кількості дерев вказаного виду

Дослідження життєвого стану дерев у захисному насадженні Абразивного підприємства виявили, що частка здорових дерев становить лише 4,53 % (табл. 5.10). До помірно ослаблених (I-ї категорії життєвого стану) належить найбільша кількість деревних рослин — 67,99 %. У цій групі домінують *Catalpa bignonioides*, *Ulmus pumila*, *Robinia*

*pseudoacacia*, *Populus alba*, а також до неї віднесені всі особини *Picea abies*, *Acer negundo*, *Aesculus hippocastanum*, *Pyrus communis*, *Acer saccharinum*, *Elaeagnus angustifolia*, *Armeniaca vulgaris* та *Juglans regia*,

До II-ї категорії (середньо ослаблені) віднесено 22,79 % дерев від обсягу їх у захисних насадженнях заводу. Це друга за кількістю ролин категорія – 292 шт. У цій групі значну частку також становлять *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo* та *Populus alba*.

До III-ї категорії життєвого стану (сильно ослаблені) зараховано 2,11 % дерев. Менше 1 % дерев, а саме 0,86 %, віднесено до IV-ї категорії (відмираючі дерева), до категорії V (свіжий сухостій) – 2 екземпляри *Robinia pseudoacacia*. У насадженнях виявлено також сухостій минулих років (категорія VI), до якого входять 20 шт. дерев: по 2 шт. – *Ulmus pumila* та *Catalpa bignonioides*, 1 – *Populus nigra*, 3 – *Robinia pseudoacacia*, а також 12 – *Populus alba*.

На території захисних зелених масивів даного підприємства виявлена значна кількість молодих дерев *Aesculus hippocastanum* та *Catalpa bignonioides*, життєвий стан яких оцінено як помірно ослаблений (категорія I).

Найбільший відсоток деревних рослин у насадженнях санітарно-захисної зони Абразивного комбінату належить до II-ї категорії життєвого стану, що свідчить про середній рівень ослаблення зелених насаджень. До найстійкіших порід у межах цієї території віднесені *Ulmus carpinifolia*, *Populus alba* й *Robinia pseudoacacia*.

Аналіз поширеності стовбурних патологій у насадженнях санітарно-захисної зони Абразивного комбінату показав, що найбільш розповсюдженими дефектами є: нахил стовбура та його викривлення. Як видно з рис. 5.8, висока частота зустрічальності механічних пошкоджень, багатостовбурності, двоверхівковості, морозобоїн, відшарування кори стовбурів дерев у захисних деревостанах.

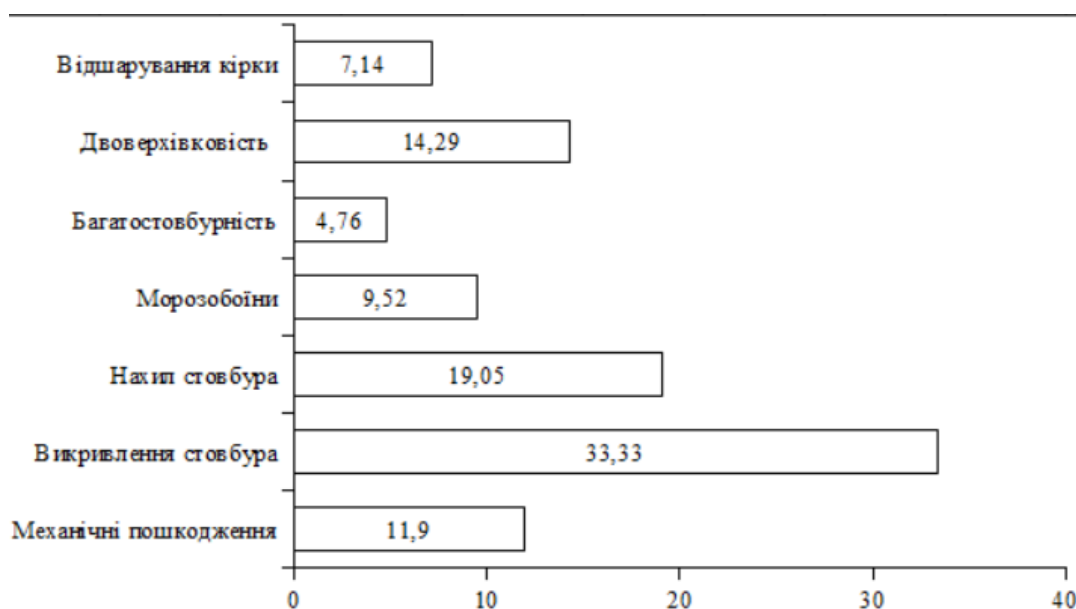


Рис. 5.8 – Чисельність дерев з дефектними стовбурами у зеленій захисній зоні Абразивного підприємства, % від їх загальної кількості

У зелених захисних насадженнях Алюмінієвого підприємства 9,50 % дерев не мають ознак ослаблення (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Представленість дерев у класах життєвого стану в захисних насадженнях  
Алюмінієвого заводу

Назва рослин	Категорія стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer pseudoplatanus</i>		1/50	1/50				
<i>Aesculus hippocastanum</i>		11/100					
<i>Ailanthus altissima</i>	13/48,15	14/51,85					
<i>Betula pendula</i>		1/50	1/50				
<i>Catalpa bignonioides</i>		5/31,25	11/68,75				
<i>Fraxinus lanceolata</i>	15/26,32	32/56,14	4/7,02		6/10,53		
<i>Morus alba</i>	1/11,11	5/55,56	3/33,33				
<i>Picea pungens</i>		13/100					
<i>Platanus acerifolia</i>		1/100					
<i>Populus alba</i>		28/96,55	1/3,45				
<i>Populus nigra</i>		5/100					
<i>Populus simonii</i>		1/100					
<i>Quercus robur</i>	2/66,67	1/33,33					
<i>Robinia pseudoacacia</i>	35/10,06	261/75	45/12,94	3/0,86	2/0,57	2/0,57	
<i>Salix alba</i>	1/6,67	11/73,33	3/20				
<i>Sorbus aucuparia</i>	2/100						
<i>Thuja occidentalis</i>			25/100				
<i>Thuja orientalis</i>	6/100						
<i>Tilia cordata</i>		8/57,14		4/28,57		2/14,29	
<i>Ulmus laevis</i>	1/3,12	23/71,88	7/21,88			1/3,12	
<i>Ulmus pumila</i>	17/4,41	212/58,73	123/34,07	4/1,11	1/0,28	1/0,28	3/0,83
Всього, шт.	93	633	224	11	9	6	3
% від заг. к-ті екз.	9,50	64,66	22,88	1,12	0,92	0,61	0,31

Примітка: чисельник – обсяг рослин, шт.; знаменник – % від кількості дерев даного виду

Найбільшу частку I-ї категорії життєвого стану (помірно ослаблені) від загальної кількості дерев даного виду складають *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus laevis*, *Populus alba*. Всі рослини *Aesculus hippocastanum*, *Populus nigra*, *Picea pungens* віднесені лише до цієї категорії. *Platanus acerifolia* та *Populus simonii*, які входять до даної групи, у насадженнях зростають тільки в одному екземплярі. Загалом до I категорії життєвого стану включено 64,66 % деревних рослин.

Показники, що характерні для середньо ослаблених рослин (категорія II), зафіксовані у 22,88 % дерев від їх сумарного обсягу у зеленій зоні. Ця друга за чисельністю група включає 224 шт. рослин, які мають такі ушкодження: зрідженість крони, наявність 25–50 % сухих гілок, освітлене або дрібне листя, передчасний листопад, суховерхість, морозобоїни, дефекти стовбурів. Найбільш чисельними видами рослин у даній групі є *Thuja occidentalis*, *Ulmus pumila*, *Catalpa bignonioides* та *Robinia pseudoacacia*. До III-ї та IV-ї категорії життєвого стану віднесено 1,12 та 0,92 % дерев відповідно. Сухостій поточного року становить 6 дерев, тоді як залишки сухоостою минулих років представлені трьома деревами.

Таким чином, максимальна частка дерев у СЗЗ Алюмінієвого заводу належить до першої категорії життєвого стану. Найбільша стійкість у зелених захисних масивах виявлена у таких порід: *Ailanthus altissima*, *Morus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus lanceolata*, *Ulmus pumila* та *Populus alba*,

На рис. 5.9 наведено результати аналізу поширеності стовбурних патологій у деревостанах санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату. Найбільш часто серед різних видів порушень зустрічаються такі, як багатостовбурність, двоверхівковість, нахил стовбура, механічні пошкодження, відшарування кірки та морозобоїни.

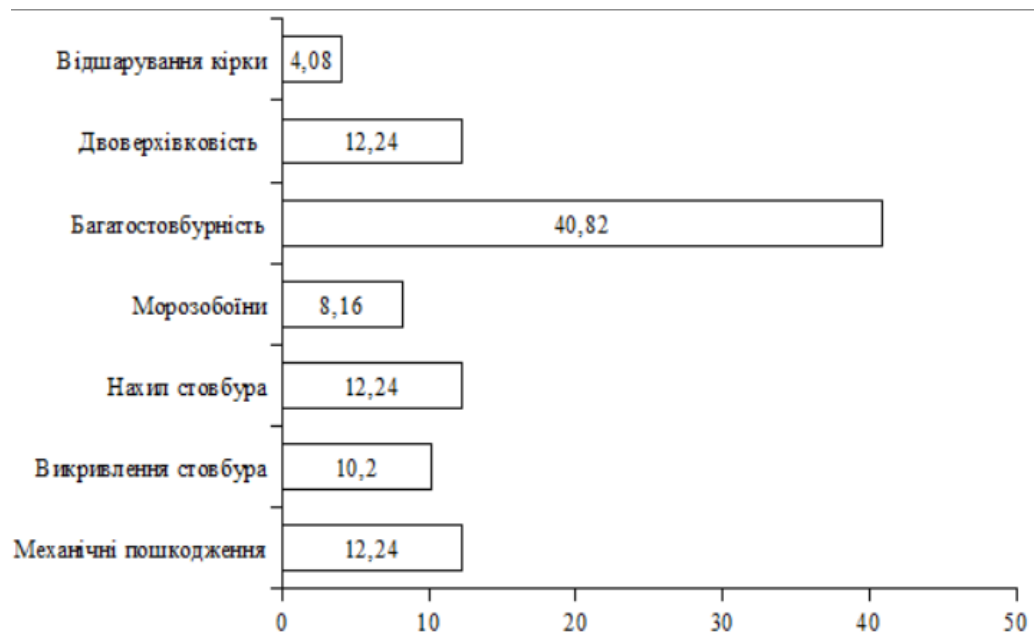


Рис. 5.9 – Чисельність стовбурних патологій дерев у зеленій захисній зоні Алюмінієвого заводу, % від їх сумарного обсягу

У санітарно-захисній зоні Титано-магнієвого комбінату, 8,19 % деревних рослин відповідно до шкали, що відображує віталітетний стан, не мають ознак ослаблення (табл. 5.12). Велика частка дерев цієї групи зафіксована серед наступних видів: *Robinia pseudoacacia* – 44 екз., *Ailanthus altissima* – 15, *Populus alba* – 17. Це становить 8,33, 50,00 та 50,00 % відповідно у розрахунку від загальної кількості особин кожного з вказаних вище видів рослин. Також до цієї категорії включені всі особини *Acer pseudoplatanus*, *Picea pungens*, *Thuja orientalis*, *Picea abies* та *Thuja occidentalis*. Ці дерева молодого віку, їх досадили під час невеликої модернізації насаджень, що була здійснена понад 12 років тому.

Переважає частина насаджень, а саме 70,85 % дерев, віднесена до I-ї категорії життєвого стану (помірно ослаблені). У цій групі найбільш чисельними є *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus simonii*, *Ulmus pumila*, *Betula pendula*.

Частка середньо ослаблених дерев складає 18,80 %. У цій групі домінують такі породи, як *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus carpiniifolia* та *Populus simonii*. Кількість сильно ослаблених рослин невелика (0,48 %). Таку оцінку отримали: по 1 шт. дерев *Aesculus hippocastanum* та *Ulmus pumila*, 3 – *Robinia pseudoacacia* й 4 шт. *Ulmus laevis*. До IV-ї категорії (всихаючі дерева) зараховано 0,7 % насаджень, а до V-ї категорії (свіжий сухостій) – 0,54 %. До сухостою минулих років (VI-а категорія) віднесено 8 дерев, що становить 0,43 % від загальної чисельності рослин захисних деревостанів Титано-магнієвого комбінату. До найстійкіших у зелених насадженнях цього підприємства можна віднести наступні деревні рослини: *Picea pungens*, *Populus alba*, *Fraxinus lanceolata*, *Morus alba*, *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, останні три види з яких включені в перелік інвазійних видів дерев України.

Представленість деревних рослин захисних насаджень Титано-магнієвого підприємства у категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану дерев						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer negundo</i>	2/4	44/88	3/6				1/2
<i>Acer pseudoplatanus</i>	8/100						
<i>Aesculus hippocastanum</i>		5/50	4/40	1/10			
<i>Ailanthus altissima</i>	15/50	15/50					
<i>Betula pendula</i>	2/8,33	19/79,17	1/4,17		2/8,33		
<i>Fraxinus lanceolata</i>	8/61,54	5/38,46					
<i>Juglans regia</i>	3/30	7/70					
<i>Morus alba</i>	7/53,33	4/33,33	1/8,33				
<i>Picea abies</i>		7/63,64	4/36,36				
<i>Picea pungens</i>	10/100						
<i>Populus alba</i>	17/50	10/29,41	6/17,65			1/2,94	
<i>Populus nigra</i>		18/90	2/10				
<i>Populus simonii</i>		37/49,33	37/49,33				1/1,34
<i>Robinia pseudoacacia</i>	44/8,33	449/85,04	22/4,17	3/0,57	5/95	3/0,57	2/0,38
<i>Salix alba</i>		1/100					
<i>Thuja occidentalis</i>	30/100						
<i>Thuja orientalis</i>	1/100						
<i>Tilia cordata</i>		3/100					
<i>Ulmus pumila</i>	4/0,42	673/69,96	268/27,86	1/0,10	6/0,62	6/0,62	4/0,42
<i>Ulmus laevis</i>	1/4,17	18/75	1/4,17	4/16,67			
Всього, шт.	152	1315	349	9	13	10	8
% від заг. к-ті екз.	8,19	70,85	18,80	0,48	0,70	0,54	0,43

Примітка: чисельник – загальний обсяг рослин, шт.; знаменник – % від кількості дерев даного виду

Групування підросту самосівного походження на території захисних зелених масивів Титано-магнієвого підприємства за класами віталітетного стану відображено у табл. 5.13. Всі особини віднесені до 0-ї та I-ї категорій. Переважну більшість рослин включено до I-ї категорії, у групі здорових знаходиться невелика частка – 7,69 %. Всі рослини *Ailanthus altissima* охарактеризовані як здорові, без ознак ослаблення, а стан практично всього підросту *Ulmus pumila* визначено як помірно ослаблений. Деяке погіршення загального вигляду рослин останнього виду можна пояснити дуже щільним їх зростанням. Слід вказати на відсутність сухих гілок, проте 92,31 % особин підросту характеризується вкороченим приростом та дещо зрідженою кроною.

Загалом, рослини підросту знаходяться в доброму стані, у значно кращому, ніж у насадженнях санітарних зелених зон інших промислових підприємств («Запоріжсталь» і «Вогнетрив»), на території яких вони також зростають у великій кількості. Це свідчить про кращі екологічні умови у СЗЗ Титано-магнієвого комбінату. Слід зазначити, що підрост походить із самосіву інвазійних видів (*Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila*, *Acer negundo* та *Robinia pseudoacacia*), які характеризуються, як відзначалося вище, високим адаптивним потенціалом та інтенсивним розмноженням.

Таблиця 5.13

Групування самосівного підросту деревних порід зелених насаджень Титано-магнієвого підприємства за класами життєвого стану

Назва рослин	Категорія життєвого стану	
	0	I
<i>Acer negundo</i>		39/100
<i>Ailanthus altissima</i>	14/100	
<i>Robinia pseudoacacia</i>	20/40	30/60
<i>Ulmus pumila</i>	1/0,28	351/99,72
Всього, шт.	35	420
% від заг. к-ті екз.	7,69	92,31

Примітка: чисельник – обсяг підросту, шт.; знаменник – % від кількості особин даного виду

Проведено розрахунки зустрічальності типів патологій стовбурів деревних рослин у захисних зелених насадженнях Титано-магнієвого комбінату (рис. 5.10). Серед дефектів найбільш поширеними є: нахил стовбура та його викривлення, багатостовбурність, водяні пагони, морозобоїни, двоверхівковість, механічні пошкодження. Найчастіше зустрічаються нахил та викривлення стовбура 24,00 та 20,00 % відповідно.

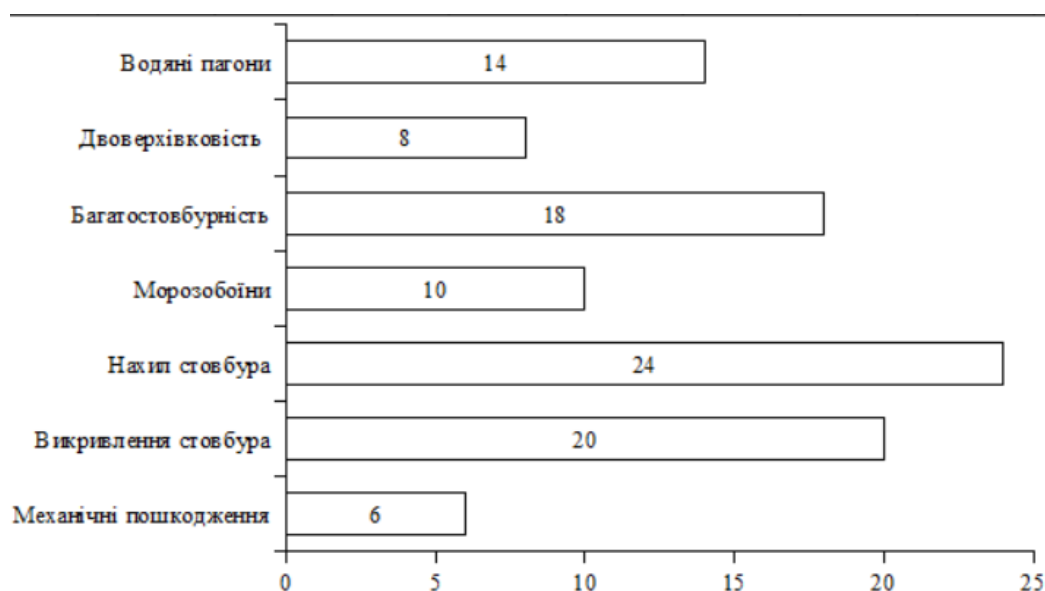


Рис. 5.10 – Чисельність дерев з різними дефектами стовбурів у зеленій захисній зоні Титано-магнієвого підприємства, % від їх сумарної кількості

Аналіз стану дерев санітарно-захисних деревостанів Трансформаторного заводу показав, що 20,13 % з них не мають ознак ослаблення (табл. 5.14).

До I-ї категорії життєвого стану (помірно ослаблені) віднесено 65,28 % деревних рослин насаджень. Найбільш поширеними у цій групі є *Acer pseudoplatanus*, *Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Cotinus coggygria*. До неї віднесено всі особини *Malus silvestris*, *Sophora japonica*, *Aesculus hippocastanum* та *Platanus acerifolia*. До групи середньо ослаблених (категорія II) зараховано 7,93 % дерев від загальної їх кількості у насадженнях заводу. У цій групі найчисельнішими є *Acer pseudoplatanus* та *Acer negundo*. В категорію III життєвого

стану входить 1,59 %, а в IV-у – 1,71 % рослин. Сухостій минулих років представлений 22 деревами, серед яких: по 1 шт.– *Betula pendula*, *Populus nigra*, *Tilia cordata*, по 4 шт. – *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*, 5 екз. – *Populus pyramidalis*, 6 екз. – *Acer negundo*. Сухостій поточного року становить 2,01 % загальної кількості дерев насаджень. У цій категорії найчисельнішими є *Cotinus coggygria* та *Populus pyramidalis*.

Таблиця 5.14

Представленість деревних рослин захисних насаджень Трансформаторного підприємства в різних категоріях життєвого стану

Назва рослин	Категорія стану дерев, шт						
	0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Acer negundo</i>	12/7,69	91/58,33	25/16,03	9/5,77	10/6,41	3/1,92	6/3,85
<i>Acer pseudoplatanus</i>		119/63,64	55/29,42	8/4,28	1/0,53	4/2,14	
<i>Acer saccharinum</i>	16/20	50/62,50	9/11,25		4/5	1/1,25	
<i>Aesculus hippocastanum</i>		63/100					
<i>Ailanthus altissima</i>	13/86,67	2/13,33					
<i>Armeniaca vulgaris</i>		3/60	1/20	1/20			
<i>Betula pendula</i>	12/18,18	53/80,30					1/1,52
<i>Catalpa bignonioides</i>	2/100						
<i>Cotinus coggygria</i>	18/10,47	127/73,84	4/2,33		9/5,23	14/8,14	
<i>Fraxinus lanceolata</i>	9/64,29	3/21,43				2/14,29	
<i>Juglans regia</i>	8/80	2/20					
<i>Malus silvestris</i>		8/100					
<i>Platanus acerifolia</i>	2/20	8/80					
<i>Picea abies</i>	20/60,61	13/39,39					
<i>Pinus sylvestris</i>	5/38,46	8/61,54					
<i>Populus nigra</i>	1/3,33	24/80	3/10,01	1/3,33			1/3,33
<i>Populus pyramidalis</i>	34/25,37	66/49,25	16/11,94	3/2,24	3/2,24	7/5,22	5/3,73
<i>Quercus robur</i>	7/6,25	100/89,29	5/4,46				
<i>Robinia pseudoacacia</i>	14/16,28	55/63,95	10/11,63	1/1,16	1/1,16	1/1,16	4/4,65
<i>Sophora japonica</i>		10/100					
<i>Sorbus aucuparia</i>	15/83,33	3/16,67					
<i>Thuja orientalis</i>	10/43,48	12/52,17		1/4,35			
<i>Tilia cordata</i>	75/28,41	185/70,08	2/0,76			1/0,38	1/0,38
<i>Ulmus pumila</i>	56/43,75	66/51,56		2/1,56			4/3,13
Всього, шт. 1639	329	1071	130	26	28	33	22
% від заг. к-ті екз.	20,13	65,28	7,93	1,59	1,71	2,01	1,34

Примітка: чисельник – число дерев, шт.; знаменник – % від кількості рослин даного виду

Таким чином,, найбільша частка переважної більшості порід захисних зелених масивів Трансформаторного підприємства представлена у групі помірно ослаблених рослин (категорія I).

Заслугове на увагу той факт, що у санітарно-захисних насаджень даного заводу зростає 112 екземплярів дерев *Quercus robur*, практично всі з яких перебувають у доброму стані. Це є унікальним явищем, оскільки, за наявними даними, дерева цього виду у захисних насаджень промислових підприємств степової зони України майже не зустрічаються.

На рис. 5.11 представлений діапазон дефектів стовбурів дерев у зеленій зоні Трансформаторного заводу. Найбільш поширеними є: двоверхівковість, нахил стовбура, відшарування кірки, морозобоїни, механічні пошкодження тощо.

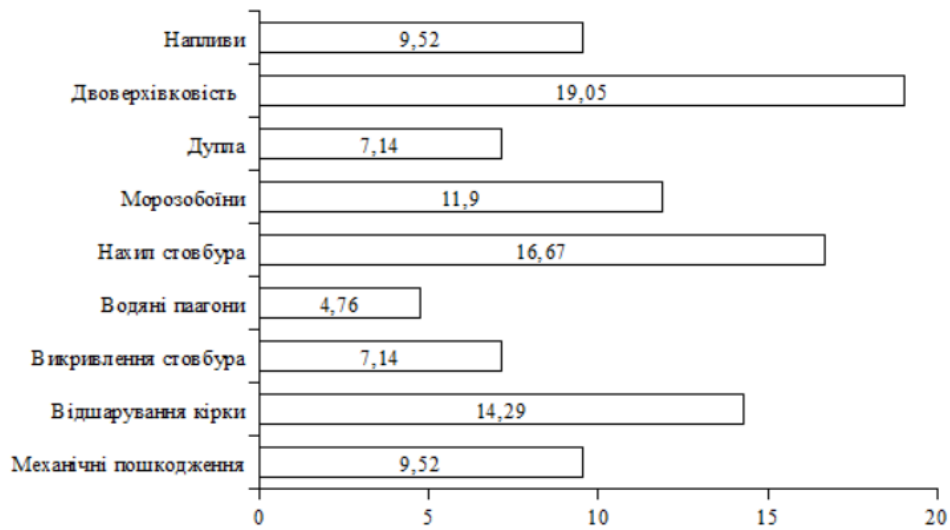


Рис.5.11 – Чисельність стовбурних патологій дерев у зеленій захисній зоні Трансформаторного заводу, % від їх сумарної кількості

Аналіз стану насаджень показав, що рівень патологій стовбурів дерев у різних санітарно-захисних зонах суттєво відрізняється (рис. 5.12). Найбільша кількість ушкоджених зафіксована у насадженнях Коксохімічного підприємства. Захисні деревостани підприємств «Феросплавів» та «Запоріжсталь» за рівнем ураження знаходяться на другому місці. Ці результати корелюють із показниками індексів життєвого стану зелених насаджень у досліджуваних санітарно-захисних зонах, підтверджуючи високий рівень впливу несприятливих умов на рослинність.

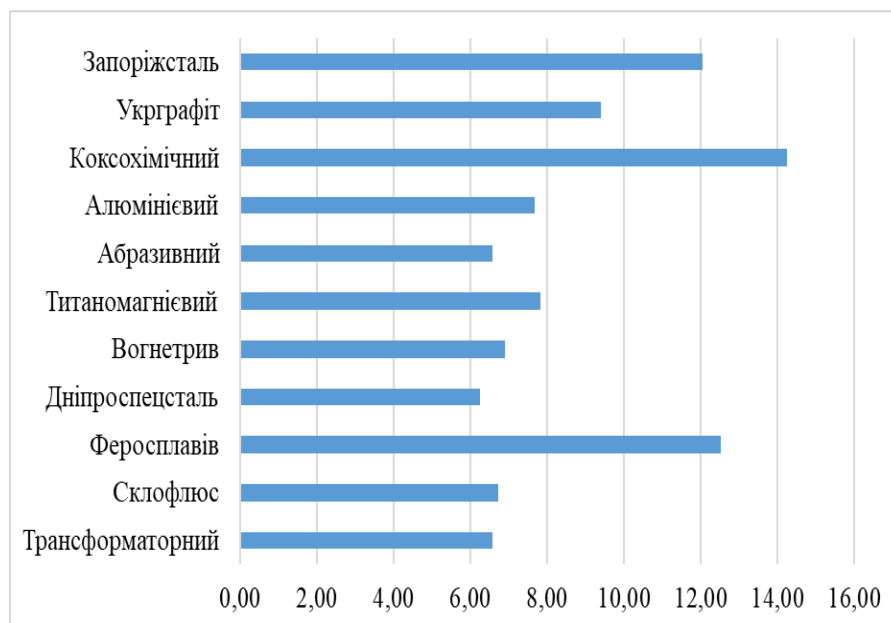


Рис. 5.12 – Чисельність патологій стовбурів дерев зелених зон заводів

На рис. 5.13 наведені величини індексів життєвого стану деревостанів ( $L_n$ ) у захисних зонах обстежених заводів. Зазначимо, що, якщо значення індексу становить 100–80, деревостан визнають здоровим. У діапазоні 79–50 він класифікується як ослаблений (пошкоджений), 49–20 – сильно пошкоджений (сильно ослаблений), 19 і нижче – повністю

зруйнований. Отримані показники вказують, що життєвий стан усіх обстежених деревостанів є ослабленим або пошкодженим.

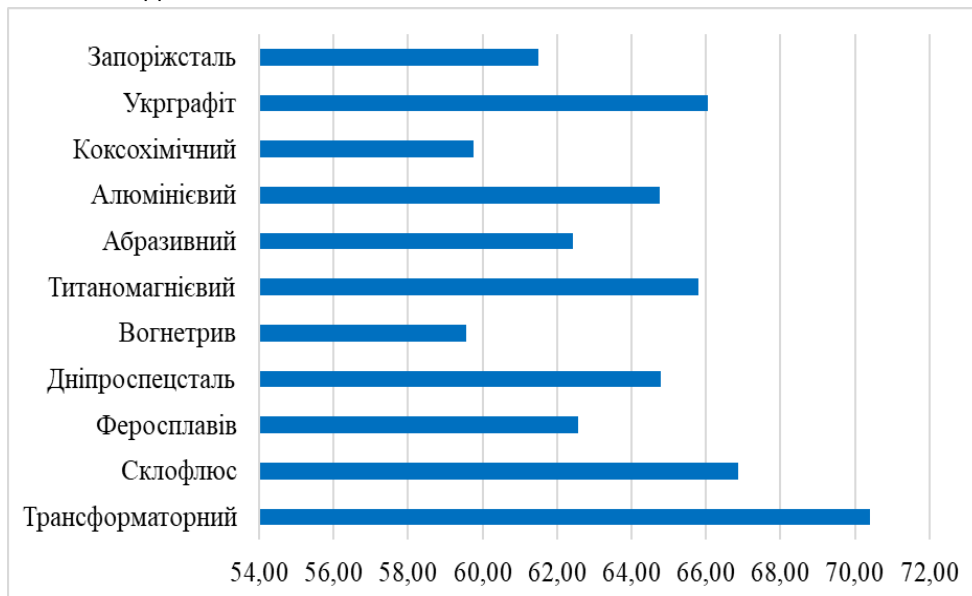


Рис. 5.13 – Величини індексів життєвого стану деревостанів зелених зон промислових підприємств

Згідно з проведеними обчисленнями, найкращий стан спостерігається у насадженнях Трансформаторного підприємства. Найгірше становище зафіксовано у зелених зонах таких заводів: «Коксохім», «Вогнетрив» та «Запоріжсталь», що свідчить про високий рівень негативного впливу навколишнього середовища на ці насадження

Варто відзначити, що заводи «Запоріжсталь» та «Коксохім» займають лідируючі позиції за рівнем викидів токсичних газоподібних поллютантів у атмосферне повітря, що безпосередньо позначається на стані зелених насаджень у їхніх санітарно-захисних зонах.

## 5.2 .Діагностика густоти зростання та життєвого стану захисних зелених насаджень підприємств м. Запоріжжя за показниками супутника Landsat

Проблематика оцінювання стану зелених насаджень у межах санітарно-захисних зон промислових об'єктів уже висвітлювалася у ряді наукових публікацій, проте питання їх динамічного моніторингу із використанням супутникових даних залишається актуальним (Semenyutina, 2018). Попри наявність окремих публікацій, присвячених вивченню зелених насаджень у межах санітарно-захисних зон промислових підприємств, кількість таких досліджень залишається обмеженою. Окрім загальної оцінки стану насаджень, важливим є також поглиблений аналіз динаміки життєздатності деревостанів з урахуванням специфічних екологічних та кліматичних умов регіону.

В обставинах зростаючого антропогенного навантаження особливої актуальності набуває створення дієвих систем екологічного моніторингу, які б дозволяли не лише фіксувати стан природних об'єктів, а й здійснювати глибокий аналіз і прогнозування змін у навколишньому середовищі. Високу ефективність таких систем здатне забезпечити втілення новітніх цифрових технологій отримання та обробки даних, наприклад, методів дистанційного зондування Землі з використанням супутникових матеріалів, таких як дані Landsat, на що вказують висновки зарубіжних вчених (Price et al., 1997; Ustin & Gamon, 2010; Adam et al., 2010; Bhandari et al., 2012; Nath & Acharjee, 2013; Pérez-Hoyos et al., 2014; Pettorelli et al., 2014; Fortes et al., 2015; Mallegowda et al., 2015; Xue & Su, 2017) та результатів

вітчизняних досліджень (Кочубей та ін., 1990; Кисельовська, 2009; Кохан, 2011, 2012; Пашков, 2014; Слободяник, 2014; Байцим та ін., 2016; Іванченко О.Є. та ін., 2022;).

Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) успішно застосовуються в сучасних екологічних дослідженнях для оцінювання широкого спектра природоохоронних та ландшафтно-екологічних процесів. Зокрема, ДЗЗ широко використовуються для обстеження антропогенного впливу на природні та штучно створені рослинні угруповання, що особливо важливо в урбанізованих і промислово навантажених регіонах, коригування топографічних карт згідно наявній ситуації, вивчення біомаси та біорізноманіття штучних та природних фітоценозів, спостереження за станом та динамікою вирубки лісів, а також встановлення сортів сільськогосподарських рослин та потенційної їх врожайності.

Значний інтерес у науковій спільноті викликають дослідження, присвячені аналізу змін щільності та життєвого стану рослинних насаджень в умовах урбанізованого середовища, зокрема в міських парках. Одним із найбільш поширених підходів до оцінки кількісних та якісних характеристик рослинного покриву на основі багатоспектральних супутникових знімків є розрахунок вегетаційних індексів. Найбільш інформативними серед них вважаються NDVI, GCI, ARVI та інші, які дозволяють оцінити ступінь озеленення територій, рівень стресу рослин, інтенсивність фотосинтетичної активності та загальний життєвий стан насаджень (Pettorelli et al., 2005; Morawitz et al., 2006; Xue & Su, 2017).

Серед численних вегетаційних індексів найбільш поширеним та інформативним є NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який широко застосовується для оцінювання щільності та біологічної активності рослинного покриву. Його значення відображають інтенсивність фотосинтетичних процесів, що, своєю чергою, дозволяє робити висновки про життєвий стан рослинності та рівень її продуктивності (Bhandari et al., 2012; Nath & Acharjee, 2013). Слід зазначити, що на його величини впливають різні чинники, зокрема: кут нахилу поверхні та експозиція, видовий склад рослинного покриву, його фізіологічний стан, а також оптичні характеристики ґрунту під розрідженою рослинністю. Діапазон значень NDVI змінюється від  $-1$  до  $+1$ .

Окрім характеристик вегетації, NDVI може опосередковано відображати рівень забруднення ґрунтів токсичними речовинами, що дозволяє використовувати його як один із індикаторів екологічного стану території (Грехнев та ін., 2015). Головними перевагами NDVI та інших вегетаційних індексів є їхня доступність, надійність, висока чутливість до змін рослинності та широкий спектр застосування у природоохоронних і моніторингових дослідженнях.

Водночас метод має і певні обмеження: необхідність попередньої радіометричної корекції супутникових знімків, висока залежність від погодних умов, зокрема, наявності хмарності, а також обмеження використання даних лише періодами активної сезонної вегетації на вивчаємих територіях.

Попри широке застосування супутникового моніторингу в аналізі стану міської рослинності, недостатньо вивченими залишаються питання динаміки змін густоти та віталітетного стану деревостанів у межах захисних насаджень промислових об'єктів, у тому числі міста Запоріжжя. Особливо актуальним є отримання об'єктивної картини їхнього сучасного екологічного стану, а також порівняння з попередніми періодами.

У межах проведеного дослідження здійснено супутниковий моніторинг захисних зелених насаджень Алюмінієвого заводу. Здійснили визначення динаміки змін стану рослинного покриву на основі багаторічних супутникових знімків. Для уніфікації результатів було застосовано стандартизовану шкалу нормалізованого відносного індексу, що дозволило створити порівняльну таблицю отриманих даних (табл. 5.15).

Виявлено суттєві зміни у щільності рослинного покриву за період 1990, 2000, 2010 та 2020 років (рис. 5.14). На отриманих знімках чітко простежується структурна трансформація насаджень упродовж 1990–2020 років. Протягом цього періоду деревна рослинність у межах

СЗЗ підприємства характеризувалася переважно розрідженою структурою та слабким розвитком фітомаси. У період між 1990 і 2000 роками зафіксовано тенденцію до деградації насаджень: площа ділянок із середньою та розрідженою рослинністю зменшилася на 9,73 %, натомість частка територій із відсутньою рослинністю зросла на 11 %. Це свідчить про інтенсивні процеси відмирання зеленого покриву в межах досліджуваної території (Скляренко, Бессонова, 2020).

У 2010 році, порівняно з 2000-м, спостерігалася позитивна динаміка у щільності зелених санітарно-захисних насаджень Алюмінієвого комбінату. Покращення стану рослинного покриву було зумовлено передусім проведенням озеленувальних робіт, під час яких висаджувалися декоративні породи дерев – *Quercus robur*, *Picea pungens*, *Ulmus laevis* та *Tilia cordata*.

Упродовж 2010–2020 років у межах досліджуваної території спостерігалися два одночасні процеси. З одного боку, на окремих ділянках зафіксовано зниження життєздатності рослин і поступове відмирання зеленого покриву. З іншого – активізувався природний процес самосіву, що сприяв поступовому освоєнню частини вільних площ молодими самосійними деревами та чагарниками.

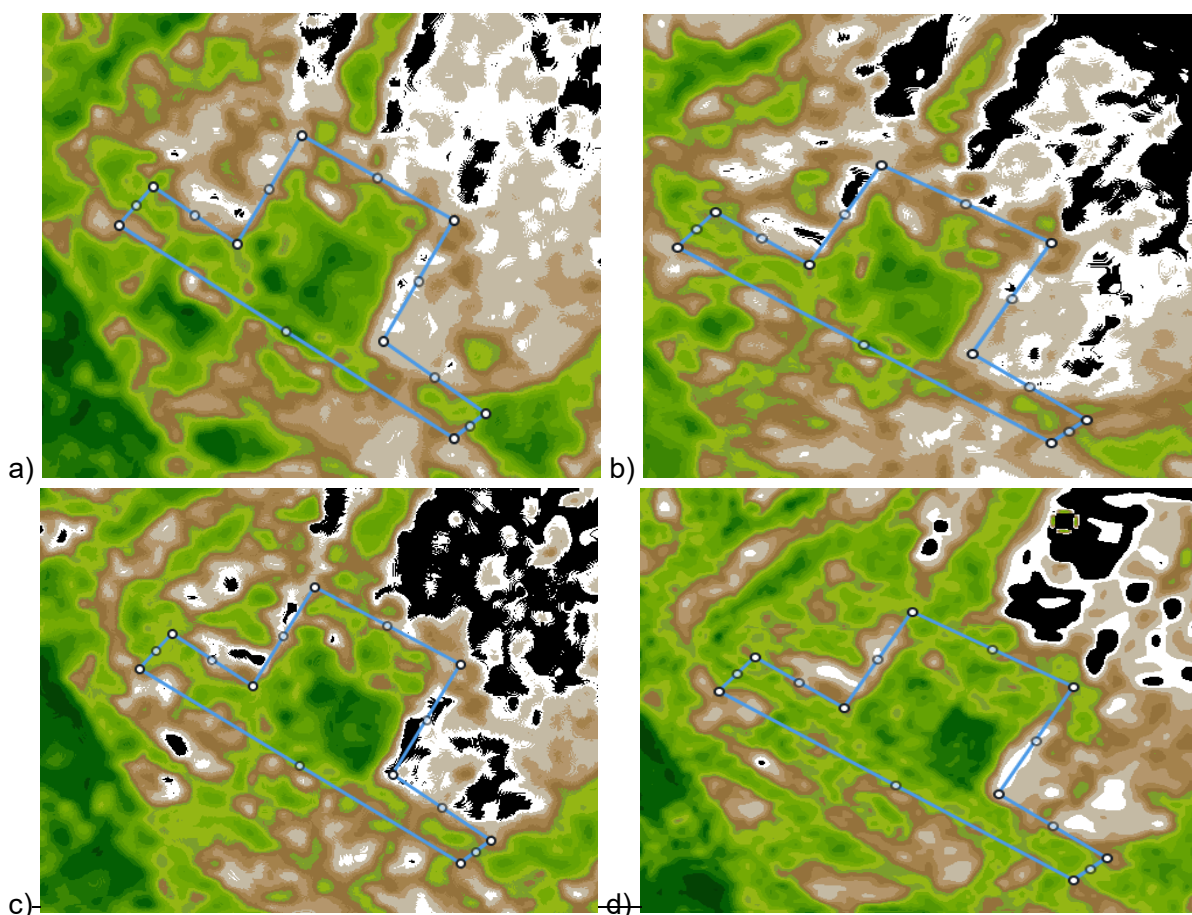


Рис. 5.14 –Густина зростання деревних рослин у зелених насадженнях Алюмінієвого комбінату а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2020

Згідно з результатами аналізу супутникових знімків, відносна площа територій із повною відсутністю рослинності у 2020 році зменшилася на 11,88 % порівняно з 1990 роком. Водночас площа ділянок, охоплених розрідженими насадженнями, зросла на 11,12 %, що свідчить про часткове відновлення рослинного покриву, хоча й з переважанням територій зі слабо розвиненою фітомасою.

Аналіз супутникових знімків засвідчив, що протягом десяти років (2010–2020) спостерігалось істотне скорочення площ із індексом NDVI у межах 0,4–0,5 – майже вдвічі. Такі значення відповідають помірній щільності рослинного покриву, що вказує на зменшення ділянок із середнім рівнем життєздатності зелених насаджень. Загалом сумарна площа територій із помірною щільністю рослинності скоротилася на 5,96 %.

Крім того, зафіксовано зменшення частки площ із низькими значеннями вегетаційного індексу (NDVI 0,1–0,2), що може свідчити про трансформацію цих ділянок – або повне зникнення рослинного покриву, або перехід до категорії розріджених насаджень. Водночас площа територій, віднесених до категорії з розрідженим рослинним покривом, зросла на 17,17 %, що вказує на істотну структурну перебудову зелених насаджень у межах санітарно-захисної зони (табл. 5.15).

Таблиця 5.15

Показники NDVI захисних насаджень Алюмінієвого заводу в досліджений період

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2020
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	0	0	0	0
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	1,05	0	2,63	2,73
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	8,42	5,79	12,89	6,83
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	19,21	12,63	11,84	21,84
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	23,42	21,58	24,74	31,91
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	26,05	35,26	27,11	25,77
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	21,84	23,95	18,42	10,24
11	Немає вегетації	-1 – 0,0	0	0,75	2,37	0,68

Таким чином, у період 1990–2000 років простежується виражена негативна динаміка стану рослинності в межах захисної зеленої зони Алюмінієвого комбінату, що виявлялася у зростанні площ із деградованим покривом. Порівняльний аналіз стану рослинності за 1990 та 2020 роки засвідчив, що зміни охопили близько 22 % загальної площі досліджуваної території. Водночас площа з помірною щільністю рослинного покриву залишилася практично незмінною, що може свідчити про стабілізацію певних ділянок та підтримання на них середнього рівня фітомаси. Починаючи з 2000 року, зафіксовано появу незначних позитивних змін, зумовлених як природними процесами самовідновлення, так і цілеспрямованими озеленувальними заходами, зокрема висадженням нових деревних порід.

Згідно з критеріями розпізнавання стану рослинності за показниками NDVI, що запропонувала І. Г. Семенова. (2014), аналіз супутникових знімків за період з 1990 по 2020 рік демонструє загальну негативну динаміку, за винятком 2010 року. Тимчасове покращення стану рослинності у 2010 році, імовірно, пов'язане з тим, що насадження, висаджені у 2000 році, досягли певного рівня розвитку і почали формувати суттєву частину загальної фітомаси. Проте в останнє десятиріччя спостерігається значне погіршення стану зелених насаджень: майже вдвічі скоротилася площа, яка відповідає доброму стану рослинності за NDVI. Водночас на 10 % зросла частка територій, класифікованих як такі, що перебувають у задовільному стані, і ще на 7,17 % – площа з рослинністю поганого стану. Загалом, за період з 1990 по 2020 рік відмічається зростання частки площ деревостанів, що перебувають в ослабленому або пригніченому стані. Встановлено, що за підсумками останнього етапу

оцінювання лише 2,73 % території було охарактеризовано як таку, що має рослинність у доброму стані, 6,83 % – у задовільному, тоді як 53,75 % площі захисних насаджень потрапляє до категорії поганого та пригніченого стану.

Таким чином, результати супутникового моніторингу свідчать про істотне погіршення як щільності, так і стану зеленого покриву санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату. Незважаючи на певне поновлення видового складу насаджень, масштаб відновлення є недостатнім для забезпечення належної екологічної функції зелених масивів. Виходячи з цього, слід констатувати нагальну потребу в проведенні реконструкції та інтенсивного озеленення території СЗЗ даного підприємства.

Здійснено аналіз змін у просторі і часі зеленого покриву санітарно-захисної зони заводу «Укрграфіт». На основі довготривалої серії багатоспектральних супутникових знімків Landsat TM/ETM+ за період 1990–2020 років виконано розрахунок вегетаційного індексу NDVI. Отримані результати дозволили визначити відносну площу територій, що відповідають різним діапазнам індексу, та проаналізувати динаміку їхніх змін (табл. 5.16). Візуальний аналіз супутникових зображень (рис. 5.15) підтвердив поступову зміну структури насаджень санітарно-захисної смуги підприємства «Укрграфіт», що також свідчить про порушення стабільності екологічного стану зелених зон в умовах промислового навантаження.

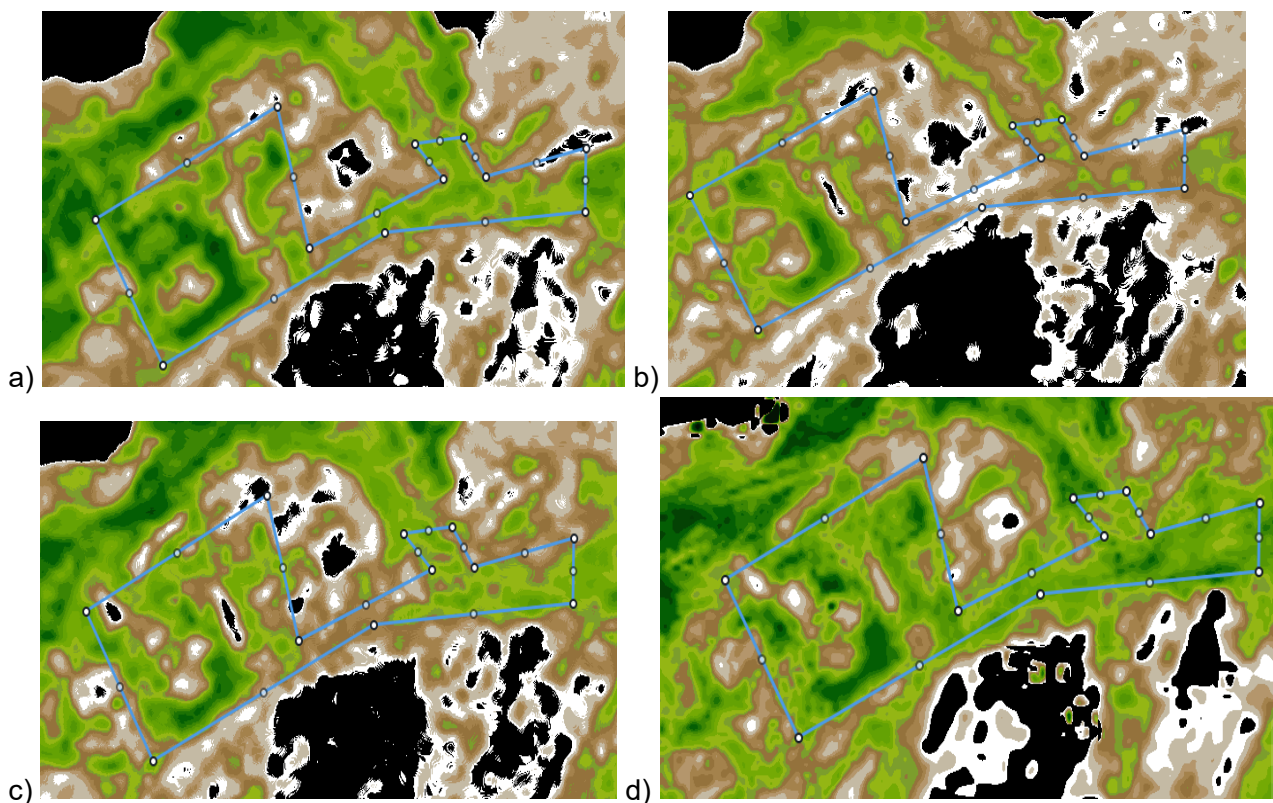


Рис. 5.15 – Густота зростання дерев у зелених насадженнях заводу Укрграфіт, а) 1990; б) 2000; в) 2010; г) 2020

У 1990 році ділянки без рослинного покриву, тобто з відкритим ґрунтом, становили 41,94 % загальної площі санітарно-захисної зони підприємства «Укрграфіт». Найгірші показники було зафіксовано у 2000 році: найбільша частка площ припадала на діапазон значень NDVI від 0,0 до 0,2, що відповідає відсутності або вкрай ослабленому розвитку рослинності.

Починаючи з 2000 року і до 2020 року, спостерігається стійка позитивна динаміка – поступово зменшується площа ділянок із відкритим ґрунтом. Згідно з результатами

інвентаризації зелених насаджень (Скляренко, Бессонова, 2017б), така тенденція зумовлена частковим озелененням території шляхом закладення насаджень декоративної рослинності.

Таблиця 5.16

Показники NDVI захисних насаджень підприємства «Укрграфіт» у період досліджень

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2020
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	0,16	0	0	0
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	4,31	0,32	0,32	4,15
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	8,29	4,15	3,67	12,60
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	16,43	4,78	10,69	29,51
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	28,07	19,78	29,82	29,35
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	30,46	44,34	37,80	17,22
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	11,48	25,36	16,27	7,02
11	Штучні матеріали	-1 – 0,0	0,80	1,28	1,44	0,16

У 1990 році рослинний покрив становив 57,26 % загальної площі захисних зелених масивів, тоді як у 2020 році ця частка збільшилася до 75,61 %, що свідчить про поступове відновлення екологічного потенціалу зеленої зони. Найгірший стан за весь період спостережень припав на 2000 рік: тоді сума розмірів ділянок із розрідженими насадженнями складала 24,56 %, а з помірною щільністю насаджень – лише 4,47 %.

Позитивні зміни, які зафіксовані у період 2000–2020 років, зумовлені низкою чинників. По-перше, на території було висаджено нові деревні породи: *Thuja orientalis*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata* та *Malus domestica*. Однак їхня частка в загальній структурі насаджень залишається незначною. По-друге, важливу роль у зростанні загальної щільності зеленого покриву відіграв природний самосів, представлений переважно інвазійними видами – *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*, які формують густі, хащеподібні зарості.

Згідно з класифікаційною шкалою І. Г. Семенової (2014) стан деревної рослинності у санітарно-захисній зоні підприємства «Укрграфіт» у 2020 році оцінювався наступним чином: 12,6 % насаджень перебували у задовільному стані, 58,86 % – у поганому, і лише 4,15 % площі було віднесено до категорії добрий стан. Такий високий відсоток пригніченої рослинності пояснюється не лише тривалим впливом промислових викидів, а й природним старінням насаджень, вік яких у багатьох випадках наближається до 50 років і більше.

У межах дослідження також було проведено розрахунок нормалізованого вегетаційного індексу NDVI для оцінювання густоти захисних насаджень санітарно-захисної зони підприємства «Дніпроспецсталь» за період 1990–2020 років. Результати розрахунків (табл. 5.17) свідчать про суттєві зміни у структурі рослинного покриву в динаміці.

У 1990 році площа відкритого ґрунту становила 43,92 % загальної території СЗЗ. У 2000 році цей показник сягнув максимуму – 55,42 %, що вказує на період екологічного спаду та активної деградації насаджень. Починаючи з 2000 року спостерігається поступове покращення: у 2010 році частка відкритих площ зменшилася до 36,07 %, а у 2020 році – до 26,18 %. Така динаміка свідчить про відновлення зеленого покриву та позитивні зміни в екологічному стані території санітарно-захисної зони підприємства.

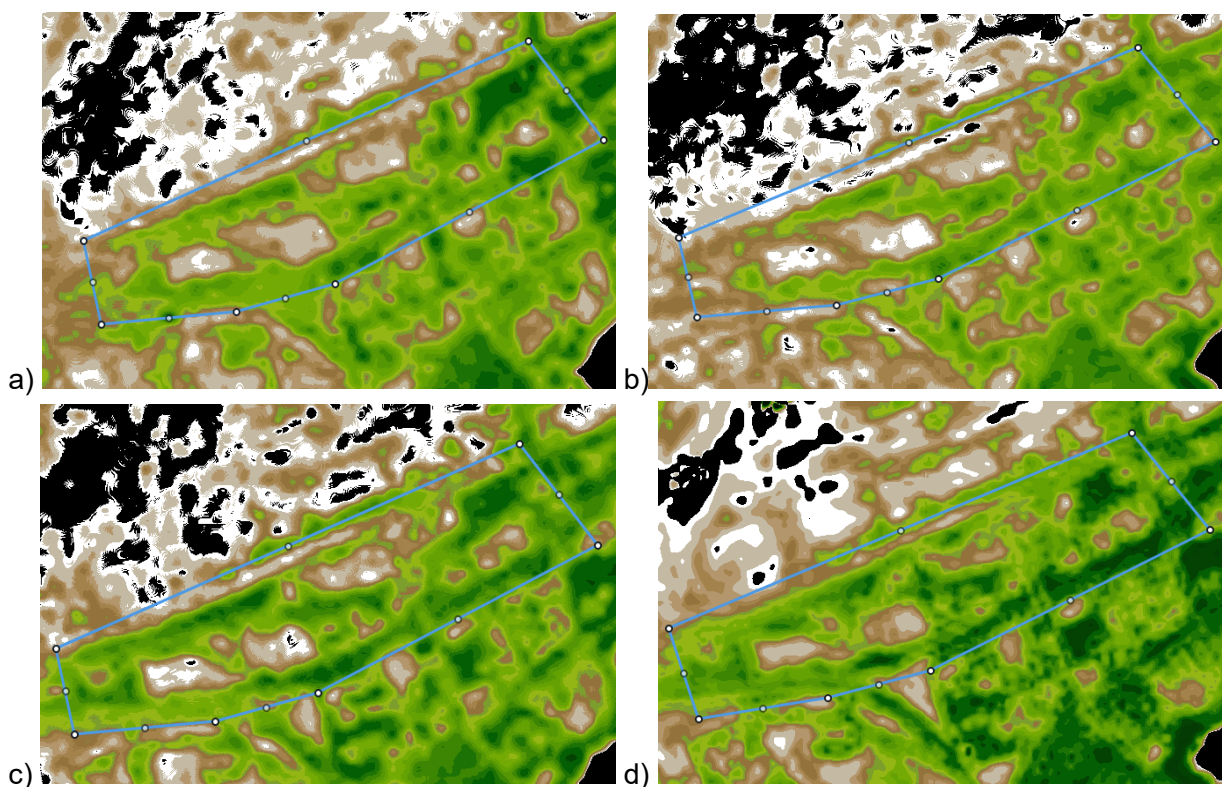


Рис. 5.16 – Густота зростання деревних рослин у зелених насадженнях підприємства «Дніпроспецсталь» а) 1990; б) 2000; с) 2010; д) 2020

Таблиця 5.17.

Показники NDVI захисних насаджень заводу Дніпроспецсталь у період досліджень

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2020
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	0,28	0	0	2,69
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	3,55	0	2,43	8,17
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	8,60	4,58	16,54	14,86
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	16,92	15,79	20,19	24,70
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	26,73	23,46	24,67	23,40
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	25,70	30,47	21,21	18,94
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	18,22	24,95	14,86	7,24
11	Штучні матеріали	-1 – 0,0	0	0,75	0,09	0

У 2000 році на території санітарно-захисної зони підприємства «Дніпроспецсталь» були висаджені деревні породи *Picea abies*, *Picea pungens*, *Thuja occidentalis*, *Betula pendula*, *Tilia cordata*, а через 10 років – *Juglans regia*. Завдяки їхньому росту в наступні роки спостерігалося часткове зростання густоти насаджень. Водночас на окремих ділянках активізувалися природні процеси самосіву, внаслідок чого сформувалися густі зарості, які ускладнюють циркуляцію повітря та створюють малопроникні хащі.

На супутникових зображеннях (рис. 5.16) чітко простежується, як ділянки з високою щільністю рослинності з часом поступово розріджуються внаслідок відмирання дерев, тоді як території, що раніше мали рідкий рослинний покрив, навпаки, демонструють збільшення

вегетативної маси. Це зумовлено формуванням масивів із підросту насінневого походження. Така динаміка змін є типовою для фрагментованих урбанізованих екосистем.

Отже, хоча зафіксовано позитивну тенденцію до підвищення густоти насаджень, воно обумовлено переважно процесами заростання територій самосівом, тоді як частка дерев, висаджених у рамках цілеспрямованих озеленувальних заходів, була незначною.

Оцінювання стану рослинності за шкалою І. Г. Семенової (2014) за 2020 рік дослідження свідчить, що лише 10,86 % деревних насаджень перебувають у доброму стані, 48,1 % – у поганому, 14,86 % – у задовільному, стані. Отримані результати вказують на недостатню життєздатність більшості захисних зелених насаджень підприємства «Дніпроспецсталь». Порівняльний аналіз змін у структурі зеленого покриву санітарно-захисної зони підприємства за період 1990–2020 років дозволяє зробити висновок про поступове зростання значень нормалізованого вегетаційного індексу NDVI. Це підвищення, як вже відмічалось, відбулося переважно внаслідок природного спонтанного поширення самосіву деревних порід та, у меншій мірі, завдяки поодиноким насадженням дерев у 2000 та 2010 роках.

На супутникових зображеннях (рис. 5.17, 5.18) чітко простежується динаміка змін у структурі захисних насаджень підприємства «Запоріжсталь» у період з 1990 по 2020 рік. Для детальнішого аналізу зелені масиви умовно поділено на дві частини: сектор А – територія перед адміністративною будівлею заводу та сектор Б – територія з тильного боку підприємства, поблизу мартенівських печей.

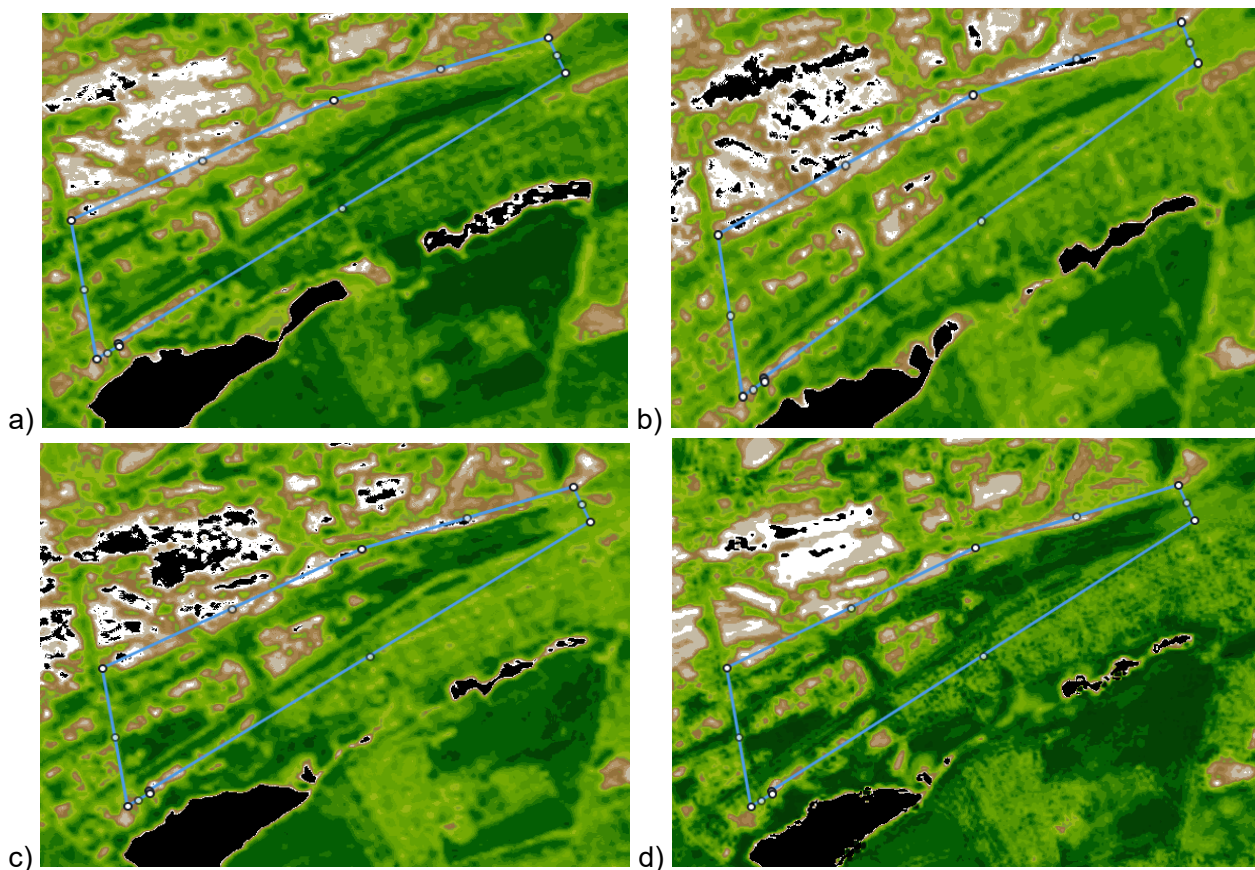


Рис. 5.17 – Густота зростання деревних рослин у зелених насадженнях підприємства «Запоріжсталь» (ділянка А) 1990; б) 2000; с) 2010; д) 2020

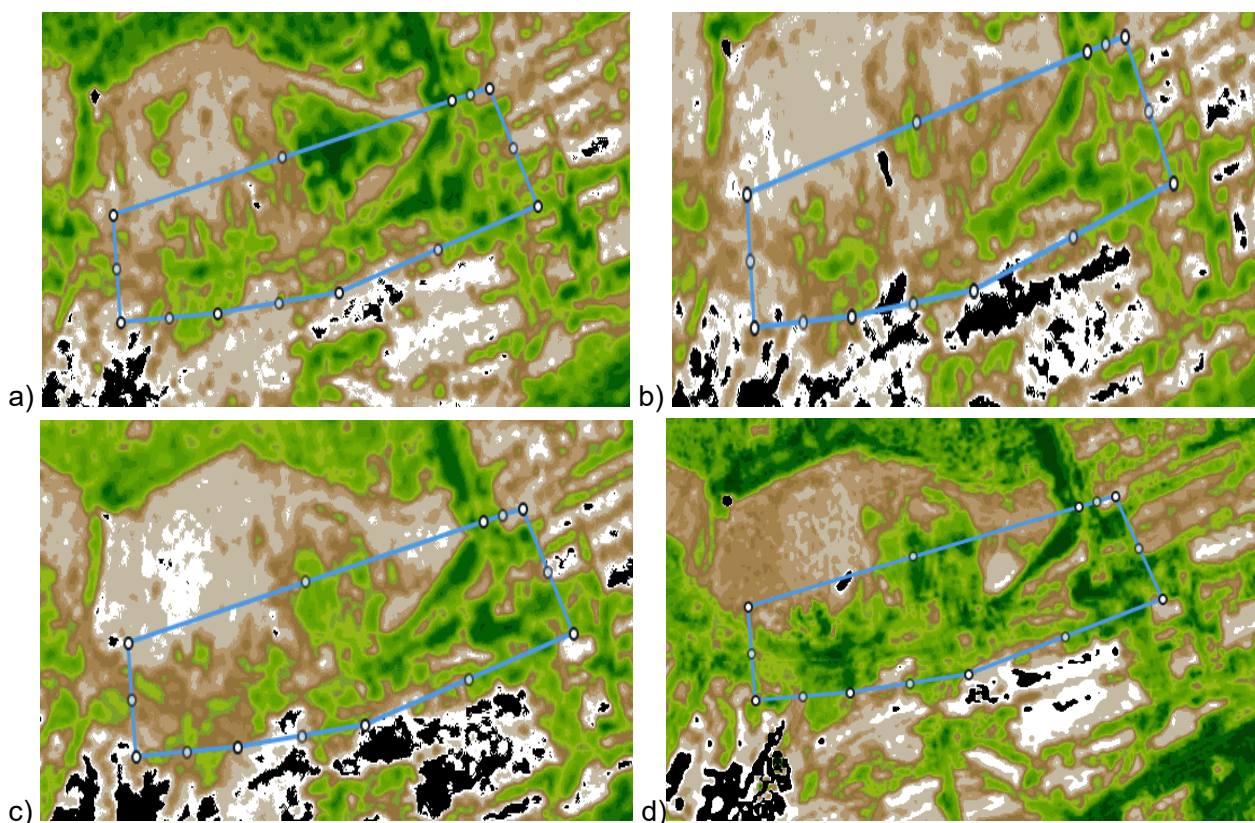


Рис. 5.18 – Густота зростання деревних рослин у зелених насадженнях підприємства Запоріжсталь (ділянка Б), а) 1990; б) 2000; с) 2010; д) 2020

Аналіз цифрових значень NDVI на ділянці А вказує на погіршення стану зелених насаджень у період з 1990 по 2000 рік. Зокрема, площа територій з відкритим ґрунтом зростає на 5,20 %, суттєво збільшилася частка ділянок із низькими значеннями NDVI (0,2–0,4) – на 18,15 %. Водночас відбулося зменшення площ із помірною рослинністю (NDVI 0,4–0,5) на 20,67 %, що свідчить про ослаблення фітомаси та погіршення екологічної ситуації на цій частині території (табл. 5.18).

Таблиця 5.18

Показники NDVI захисних насаджень підприємства «Запоріжсталь» (ділянка А) у період досліджень

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2020
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	0	0	0	0,59
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	3,25	0	3	19,11
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	14,30	4,77	15,86	21,35
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	29,28	18,14	22,57	20,00
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	19,07	30,30	21,65	15,23
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	13,12	20,04	14,51	10,42
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	11,69	14,30	12,66	8,65
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	9,20	11,39	9,28	4,64
11	Штучні матеріали	-1 – 0,0	0,08	1,05	0,46	0

Починаючи з 2000 року і до 2020 року, в межах сектору А фіксується позитивна динаміка озеленення. Це пов'язано з тим, що на певних ділянках здійснюється регулярний догляд за насадженнями, що сприяє збереженню їхнього життєвого стану. У 2000 та 2010 роках тут були висаджені нові деревні породи: *Catalpa bignonioides*, *Acer pseudoplatanus*, *Thuja occidentalis*, *Betula pendula*, а також облаштовані декоративні квітники, що позитивно вплинуло на загальну густоту і якість зеленого покриву.

Разом з тим, територія, що розташована північніше, за межами регулярного догляду, перебуває в незадовільному стані. Тут спостерігається значна кількість ослаблених і занедбаних дерев із сухими гілками, що свідчить про пригнічений життєвий стан насаджень. Крім того, фіксується масове поширення самосійної інвазійної рослинності, зокрема *Ailanthus altissima* та *Ulmus pumila*, які формують густі малопродуктивні хащі та витісняють раніше посажені види дерев.

У період з 2000 по 2020 рік у межах захисних насаджень підприємства «Запоріжсталь» зафіксовано суттєві позитивні зміни у структурі рослинного покриву. Зокрема, площа територій із розрідженою рослинністю зменшилася майже вдвічі, тоді як частка ділянок з помірною рослинністю зростає на 18,44 %. Така динаміка свідчить про поступове ущільнення зеленого покриву внаслідок як природного поновлення, так і цілеспрямованих озеленувальних заходів.

Особливої уваги заслуговує тенденція до скорочення площі відкритого ґрунту, яка простежується у 2010 та 2020 роках порівняно з 2000 роком. Це стало можливим завдяки закладенню декоративних насаджень, а також активному самосіву деревних рослин, що сприяв частковому заповненню вільних територій молодими деревними та чагарниковими формами.

Оцінка стану рослинності за шкалою І. Г. Семенової (2014) за результатами 2020 року виявила таке: 40,46 % насаджень перебувають у доброму стані, лише 0,59 % – у дуже доброму. Водночас 20,0 % площі з рослинами класифіковано як таку, що має задовільний стан, 15,23 % – поганий, а 10,42 % – пригнічений. Таким чином, сукупна частка ослабленої рослинності становить 45,65 %, що вказує на наявність значного відсотка насаджень, які потребують додаткових заходів із реабілітації та підтримки.

У табл. 5.19 представлені дані NDVI захисних насаджень у секторі Б СЗЗ підприємства «Запоріжсталь» за період 1990–2020 рр.

Таблиця 5.19

Показники NDVI захисних насаджень підприємства «Запоріжсталь» (сектор Б) у період досліджень

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	1,25	0	0,12	3,08
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	4,57	0,18	2,73	8,07
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	7,06	3,86	5,69	15,01
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	11,80	7,47	10,79	17,85
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	22,60	14,06	19,45	22,12
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	32,03	37,13	35,65	21,29
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	20,64	35,65	25,15	12,28
11	Штучні матеріали	-1 – 0,0	0,06	1,66	0,42	0,300

Ділянка Б захисних зелених масивів підприємства «Запоріжсталь» протягом усього періоду спостережень не перебувала під належним наглядом. На цій території активно зростають представники родини *Aceraceae*. Спостерігається інтенсивне заповнення ділянки самосівною рослинністю, що формує густі угруповання, представлені інвазійними видами *Ulmus pumila*, *Acer negundo* та *Ailanthus altissima*.

У 1990 році площа з відкритим ґрунтом становила 52,67 %, а у 2000 році цей показник сягнув максимуму – 72,78 %, що свідчить про найвищий рівень виснаження зеленого покриву. Згодом, внаслідок формування самосівного підросту, територія поступово заростає: у 2010 році частка ділянок без вегетації знизилася до 60,80 %, а в 2020 році – до 33,57 %.

Варто зазначити, що площа з розрідженою рослинністю у 2020 році практично не змінилася порівняно з 1990 роком. (табл. 5.19). Водночас території, які за значеннями NDVI відповідають помірній та густій рослинності, зросли майже вдвічі. Однак таке зростання зумовлене переважно природним самосівом, а не реалізацією цілеспрямованих заходів із озеленення.

За шкалою І. Г. Семенової (2014), у 2020 році лише 11,15 % рослинного покриву було оцінено як такий, що перебуває в доброму стані; решта знаходилася в ослабленому або пригніченому стані.

Рослинність заводу «Вогнетрив» також зазнала істотних змін у структурі зелених насаджень протягом періоду з 1990 по 2020 рік. У 1990–2000 роках площа території без рослинності збільшилася на 6,7 %, досягнувши пікового значення. Водночас із 2000 року спостерігалася позитивна динаміка: площа з мінімальними значеннями NDVI (0,0–0,2), що відповідають відсутності рослинного покриву, поступово скорочувалася. Порівняно з 2000 роком, у 2020 році цей показник скоротився на 9,91 %.

У 1990 році 29,98 % території займала розріджена рослинність (NDVI 0,2–0,4), а у 2000 році цей показник збільшився до 62,81 %, що свідчить про значне ослаблення зеленого покриву. У подальші роки спостерігалася поступове скорочення частки ділянок із розрідженою рослинністю – у 2020 році вона складала лише 24,46 %. Натомість площа територій із густою рослинністю (високі значення NDVI) у 2020 році подвоїлася порівняно з 1990 роком, що є свідченням ефективного відновлення рослинного покриву в цей період.

Таблиця 5.20.

Показники NDVI захисних насаджень заводу Вогнетрив у роки досліджень

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2020
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	1,93	0	0	2,57
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	9,91	0,77	0	25,61
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	24,97	3,60	8,11	21,88
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	24,07	16,99	26,25	19,56
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	18,4	35,01	32,82	15,32
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	11,58	27,80	22,14	9,14
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	5,66	12,10	8,49	5,41
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	3,47	3,73	2,19	0,51
11	Штучні матеріали	-1 – 0,0	0	0	0	0

У результаті здійсненої нами інвентаризації деревних насаджень санітарно-захисної зони підприємства «Вогнетрив» встановлено, що зростання щільності рослинного покриву відбувається не внаслідок висаджування молодих деревних рослин, а переважно через

активне поширення самосіву. Основними видами, які поширюються природним шляхом, є інвазійні *Ailanthus altissima* та *Acer negundo*, що формують щільні, малопродуктивні угруповання, характерні для вторинних фітоценозів (рис. 5.19).

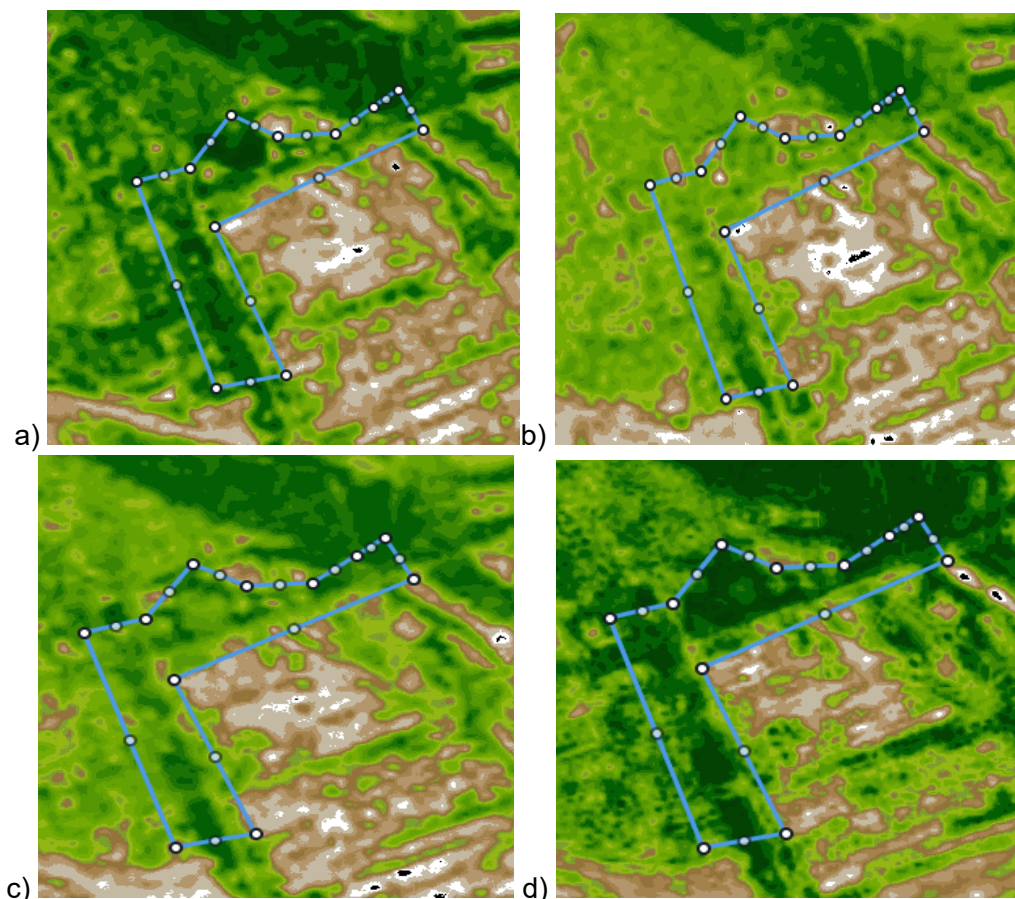


Рис. 5.19 – Густота зростання деревних рослин у зелених насадженнях заводу «Вогнетрив» а) 1990; б) 2000; в) 2010; г) 2020

Порівняльний аналіз площ із помірною щільністю рослинного покриву за даними NDVI у 1990 та 2020 роках засвідчив зменшення цього показника на 7,6 % у 2020 році. У 2000 році, порівняно з 1990 роком, площа території з розрідженою рослинністю зростає, тоді як площа з помірною щільністю зменшилася. Це пов'язано з процесами деградації деревостану, відмиранням частини насаджень і накопиченням великої кількості сухого гілля.

Починаючи з 2000-х років, спостерігається поступове відновлення рослинного покриву за рахунок розповсюдження підросту самосівного походження, який добре пристосований до несприятливих умов довкілля.

Відповідно до показників шкали оцінки стану рослинності (Семенова, 2014), на 2020 рік 47,49 % насаджень класифіковано як такі, що перебувають у доброму стані, ще 2,57 % – у дуже доброму. Водночас 9,41 % площі покрито пригніченою рослинністю, а 15,32 % – такою, що перебуває у задовільному стані. Отже, сумарна частка насаджень ослабленої категорії становить 40,29 %, що свідчить про наявність проблем з екологічною стабільністю захисних насаджень заводу «Вогнетрив».

Аналіз динаміки рослинного покриву санітарно-захисних насаджень Титано-магнієвого комбінату, проведений на основі розрахунків нормалізованого вегетаційного індексу NDVI, дозволив виявити суттєві просторово-часові зміни за період 1990–2020 років. На супутникових зображеннях (рис. 5.20) чітко простежуються зміни густоти насаджень у різні роки проведення обстежень.

У 1990 році площа територій з відкритим ґрунтом становила 10,63 % загальної площі зелених масивів, у 2010 році — 9,46 %, а у 2020 році – лише 4,67 %, що свідчить про позитивну динаміку озеленення території (табл. 5.21).

Аналогічні зміни спостерігаються і в категорії розрідженої рослинності (NDVI 0,2–0,4). Якщо у 1990 році вона займала значну частину площі, то у 2020 році її частка скоротилася до 24,77 %, що порівняно з початковим роком спостережень менше у 1,6 раза.

У 2000 році зафіксовано тимчасове зменшення території з помірною щільністю рослинного покриву (NDVI 0,4–0,5) – до 36,22 %, проте у 2010 році вона зростає до 49,18 %, що є свідченням стабілізації процесів відновлення в цей період. У 2020 році, порівняно з 1990 роком, площа з помірною рослинністю залишилася майже незмінною, що підтверджує збереження певного рівня щільності рослинного покриву на досліджуваній території.

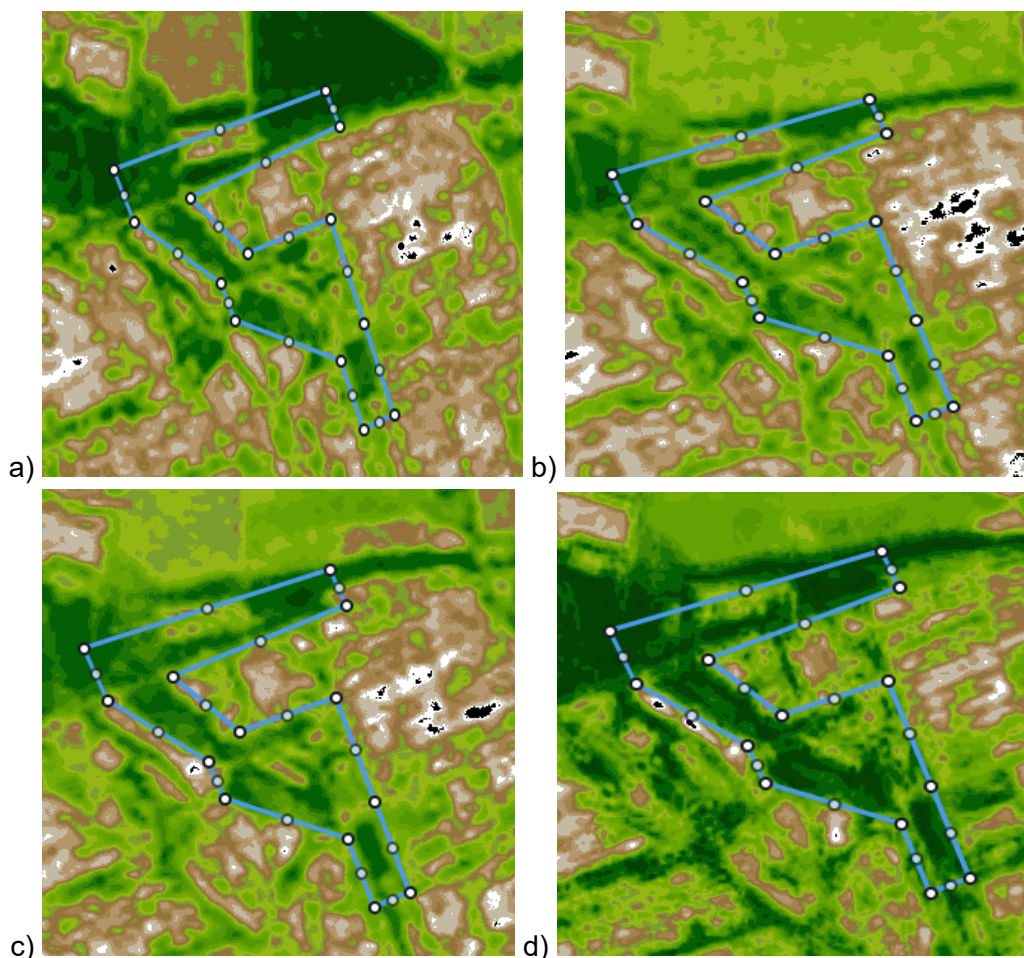


Рис. 5.20 – Густота зростання деревних рослин у зелених насадженнях Титаномагнієвого комбінату а) 1990; б) 2000; в) 2010; г) 2020

Водночас, за результатами аналізу супутникових знімків, встановлено, що впродовж 1990–2020 років площа ділянок із щільною рослинністю суттєво зростає – на 20,91 %. Проведена нами інвентаризація зелених насаджень (розділ 3) підтверджує, що таке збільшення їх щільності зумовлене переважно розвитком самосіву ряду деревних порід, а не реалізацією цілеспрямованих озеленувальних заходів.

Слід зазначити, що у 1990–2000 роках спостерігалось зниження щільності насаджень через негативний вплив промислових викидів, які призводили до пригнічення деревної рослинності, її ослаблення та поступового відмирання. Натомість у період 2010–2020 років територія значною мірою заросла сформованим підростом, що виник внаслідок спонтанного

насінневого відновлення інвазійних деревних порід. Цей процес частково компенсував втрати щільності рослинного покриву, хоча й не забезпечив повного відновлення його екологічних функцій.

Визначення стану рослинності на території санітарно-захисної зони Титано-магнієвого заводу у 2020 році за шкалою І. Г. Семенової (2014) засвідчила такі результати: у дуже доброму стані перебувають менш ніж 1,0 % зелених насаджень, 50,0 % – у доброму, 15,1 % – у поганому, 9,7 % – у пригніченому стані.

Таблиця 5.21

Показники NDVI захисних насаджень Титано-магнієвого комбінату в період обстежень

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2020
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	0	0	0	0,70
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	7,24	0	0,7	27,45
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	20,91	9,93	18,22	23,83
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	21,38	26,29	30,96	18,57
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	19,04	28,04	22,31	15,07
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	20,79	22,55	18,34	9,70
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	9,58	11,68	8,76	4,09
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	1,05	1,52	0,70	0,58
11	Штучні матеріали	-1 – 0,0	0	0	0	0

Разом із тим, результати, отримані в процесі розподілу деревних рослин за категоріями життєвого стану в ході інвентаризації деревостану (розділ 5.1), дещо відрізняються від показників, розрахованих за шкалою І. Г. Семенової (2014). Так, у 2020 році 8,78 % деревних рослин включені в категорію 0 (без ознак ослаблення). Основну частину становлять насадження, що перебувають у стані помірного та середнього ослаблення ( категорії I і II) – 70,53 та 18,59 % відповідно. Ще 2,1 % дерев визнано такими, що мають поганий стані або знаходяться в стадії сухостою.

Такі відмінності між результатами супутникового моніторингу та польових досліджень, ймовірно, пояснюються особливостями методологій: індекс NDVI, покладений в основу шкали І. Г. Семенової, є більш чутливим до фітомаси та дозволяє оцінити загальну картину вегетативної активності, тоді як інвентаризаційні дані дають змогу деталізувати морфометричні характеристики окремих рослин, зокрема виявити латентні або локалізовані ознаки ослаблення.

Дослідження зелених масивів санітарно-захисної зони Трансформаторного підприємства виявили аналогічну тенденцію. Зокрема, площа територій без рослинності у 2020 році суттєво скоротилася порівняно з 2010 роком, що підтверджується результатами супутникового моніторингу (рис. 5.21, табл. 5.22). Це також може свідчити про активізацію процесів розростання підросту самосійного походження, який є основним джерелом збільшення площі зеленого покриву.

Проведені дослідження засвідчують, що, порівняно з 1990 роком, у 2020 році площа територій із відкритим ґрунтом зменшилася, хоча в 1990, 2000 та 2010 роках цей показник змінювався дуже мало (табл. 5.22). Аналогічна тенденція простежується й у структурі розрідженої рослинності: у період з 1990 по 2000 рік, внаслідок старіння дерев, висаджених у 60-х роках, спостерігалось зниження їх життєздатності, що призвело до збільшення розрідженості насаджень.

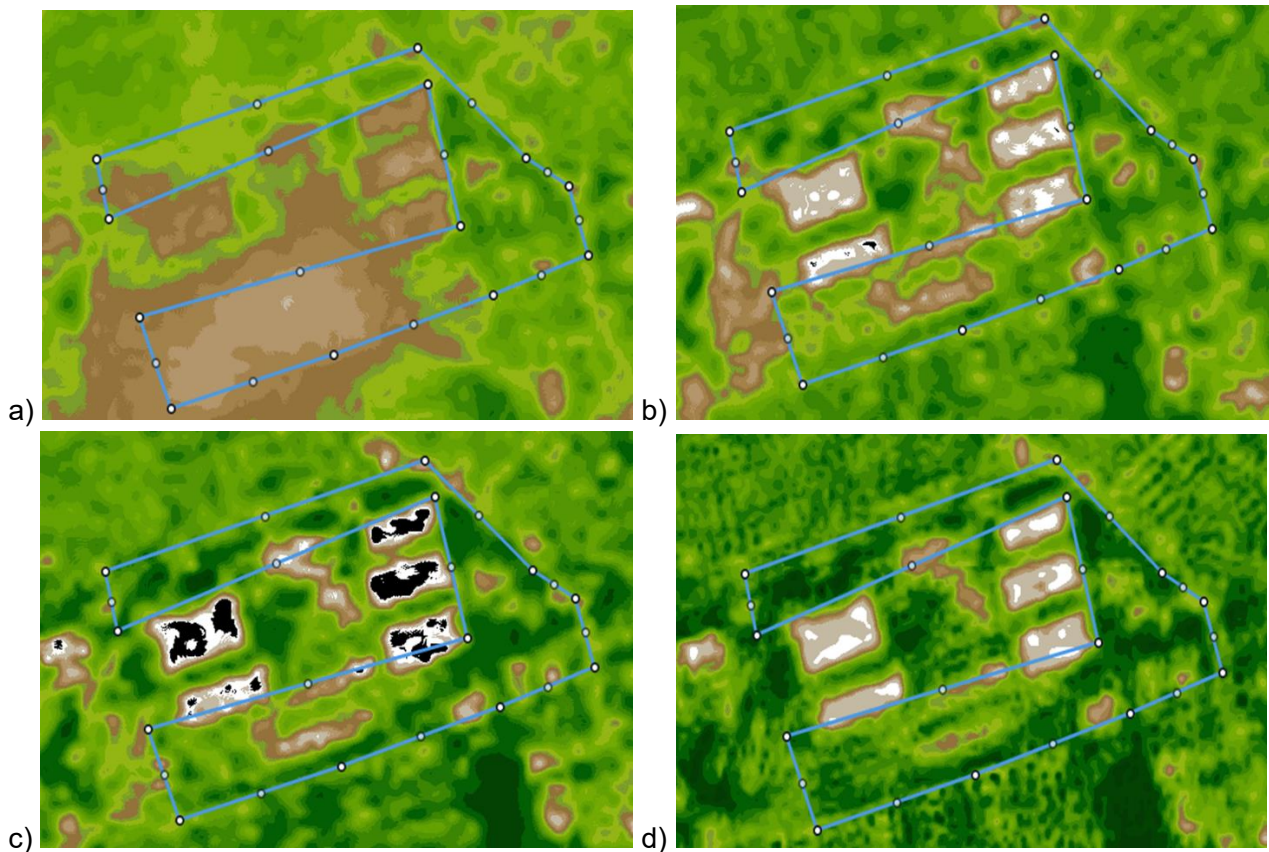


Рис. 5.21 – Густота зростання деревних рослин у зелених насадженнях Трансформаторного підприємства а) 1990; б) 2000; в) 2010; г) 2020

Таблиця 5.22.

Показники NDVI захисних насаджень Трансформаторного підприємства в період обстежень

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2020
1	Густа рослинність	0,9 – 1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8 – 0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7 – 0,8	0	0	0	0,13
4	Густа рослинність	0,6 – 0,7	0,54	0	1,61	7,93
5	Помірна рослинність	0,5 – 0,6	7,39	1,48	14,25	21,77
6	Помірна рослинність	0,4 – 0,5	22,18	19,09	19,22	24,06
7	Розріджена рослинність	0,3 – 0,4	26,61	30,51	25,54	22,18
8	Розріджена рослинність	0,2 – 0,3	20,3	24,73	19,35	11,83
9	Відкритий ґрунт	0,1 – 0,2	16,8	17,2	12,63	7,6
10	Відкритий ґрунт	0,0 – 0,1	6,05	6,99	6,72	4,44
11	Немає вегетації	-1 – 0,0	0,13	0	0,67	0

Починаючи з 2000 року, завдяки висадженню нових порід дерев (*Acer saccharinum*, *Juglans regia*, *Tilia cordata*) та поширенню самосівної рослинності структура зеленого покриву почала змінюватися: зменшується частка площ із розрідженими насадженнями та зростає територія з помірною й густою рослинністю, що підтверджується також і польовими дослідженнями.

Необхідно вказати, що виробнича діяльність Трансформаторного підприємства супроводжується викидом меншої кількості токсичних забруднювачів доквілля порівняно з іншими заводами, зелені зони яких підлягали обстеженню. Це разом із систематичним доглядом за зеленими насадженнями та висаджуванням нових порід, позитивно впливає на загальний стан рослинності.

Отже, результати багаторічного супутникового та польового моніторингу свідчать про істотні зміни у структурі зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя протягом останніх 30 років. Деревя, які були висаджені рядами ще у 60–70-х роках минулого століття, поступово втрачають життєвий потенціал. Це проявляється в ослабленні приросту, зрідженні крон, зменшенні облищення та загибелі значної їх частини, що зумовило загальне зрідження структури зелених масивів.

У переважній більшості цих старих насаджень спостерігається велика кількість сухого гілля, пригнічений ріст та низька життєздатність. Водночас позитивна динаміка, яка зафіксована на супутникових знімках, зумовлена переважно поширенням підросту самосійного походження ряду деревних порід, зокрема *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*, а меншою мірою – *Robinia pseudoacacia*. Ці інвазійні види, як вже відмічалось, утворюють густі, непродувні зарості, що погіршують аерацію і, відповідно, знижують ефективність фільтраційної функції, яка є визначальною для санітарно-захисних насаджень.

Варто зазначити, що впродовж останнього десятиліття на вільних ділянках захисних насаджень ряду підприємств здійснювалися озеленувальні заходи: висаджено *Acer platanoides*, хвойні породи, зокрема *Thuja occidentalis*, *Thuja orientalis*, *Picea abies* та інші. Проте їх частка в загальній структурі деревостану залишається незначною і не чинить суттєвого впливу на зміну щільності насаджень.

Таким чином, хоча на супутникових знімках фіксується позитивна динаміка у зміні щільності зелених насаджень, вона зумовлена переважно неконтрольованими процесами самовідновлення, а не плановим лісовідновленням або реконструкцією насаджень.

Аналіз щільності деревостану в усіх досліджених санітарно-захисних зонах (СЗЗ) підприємств виявив подібні тенденції: у 1990–2000 роках спостерігалось зниження щільності та зростання площ із показниками NDVI у діапазоні 0,0–0,2 (відкритий ґрунт), тоді як у період 2000–2020 років, навпаки, простежується позитивна динаміка заповнення територій за рахунок самосіву. Незважаючи на висадження нових дерев у 2000-х і 2010-х роках, їх частка залишається незначною, а отже, вплив на загальну щільність деревостану є обмеженим.

За оцінками стану рослинності за шкалою І. Г. Семенової (2014), лише близько 10 % зелених насаджень досліджених підприємств перебувають у доброму стані. Винятком є захисні зони заводу «Вогнетрив» та ділянка Б підприємства «Запоріжсталь», де до категорії «добрий» віднесено відповідно 60 % та 54 % дерев відповідно. Найгірші показники виявлено у зелених масивах підприємства «Укрграфіт» та Алюмінієвого заводу, де відповідно лише 4,15 % та 2,73 % дерев отримали оцінку «добре».

Наведені вище матеріали будуть використані як основа для створення електронного каталогу даних щодо життєвості, динаміки змін густоти обстежених захисних деревостанів заводів м. Запоріжжя. Такий каталог дозволить проводити системні моніторингові спостереження та стане важливим інструментом для ухвалення управлінських рішень, спрямованих на реконструкцію, відновлення та підвищення екологічної ефективності захисних насаджень.

### **5.3. Флуктуюча асиметрія як індикатор забруднення довкілля та зміни віталітетного стану рослин**

Зростання інтенсивності антропогенного впливу на урбоєкосистеми зумовлює необхідність комплексної екологічної оцінки стану всіх їх компонентів, зокрема атмосферного

повітря, особливо в районах дії промислових підприємств. Одним із доступних, інформативних та ефективних інструментів такої оцінки є методи біоіндикації, серед яких особливе місце посідає морфогенетичний підхід. Цей підхід ґрунтується на аналізі внутрішньо індивідуальної мінливості морфологічних ознак, зокрема флуктуючої асиметрії.

Флуктуюча асиметрія (ФА) відображає відхилення від двобічної симетрії морфологічних структур, які не мають вираженого напрямку. У контексті екологічних досліджень цей показник застосовується як чутливий індикатор екологічного стресу та адаптаційного потенціалу організмів. Зростання рівня флуктуючої асиметрії свідчить про порушення процесів морфогенезу, що викликані несприятливими факторами середовища, зокрема токсичним забрудненням повітря, ґрунтів або водних екосистем (Kozlov et al., 1996). У посушливих умовах також спостерігається деяке зростання цього показника, що свідчить про його неспецифічність як індикатора стресових впливів різної природи (Bessonova, Yusyryva, 2021).

У рослин флуктуючу асиметрію найчастіше визначають за морфометричними параметрами листових пластинок, що дає змогу об'єктивно оцінити ступінь впливу забруднювачів та виявити території з підвищеним рівнем екологічного ризику. Погіршення умов росту та розвитку рослинних організмів спричиняє підвищення значень флуктуючої асиметрії, що підтверджено результатами численних досліджень. У цьому контексті фітоіндикація постає як ефективний інструмент екологічного моніторингу, адже живі біосистеми вирізняються високою чутливістю до змін навколишнього середовища. Їхня реакція на стресові фактори, зокрема забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і вод, виникає раніше, ніж проявляються видимі наслідки деградації екосистем (Бессонова та ін., 1996а; Бессонова та ін., 1996б; Іванченко, Бессонова, 2016; Бессонова, Криворучко, 2017, 2017а; Крупей та ін., 2019).

Як індикаторний деревний вид для визначення рівня антропогенного забруднення із застосуванням флуктуючої асиметрії найчастіше використовують *Betula pendula* (Буцяк та ін., 2018; Петрушевич, 2018). Ця рослина демонструє високу чутливість до забруднювачів повітря, зокрема важких металів, оксидів сірки та азоту, що зумовлює зміни морфометричних параметрів листків, насамперед зростання асиметрії між правою та лівою половинами листової пластинки.

Таким чином, використання флуктуючої асиметрії *Betula pendula* як біоіндикатора є перспективним методом раннього виявлення змін у стані довкілля, що дозволяє фіксувати приховані, сублетальні стреси ще до появи масових порушень у фітоценозах (Буцяк та ін., 2018; Петрушкевич, 2018б). Аналогічні дослідження проведено також для *Miconia fallax* (Silva et al., 2016), *Acer pseudoplatanus* (Глухов та ін., 2011), *Armeniaca vulgaris* (Ібрагімова, 2010), *Acer platanoides* (Гаврикова, 2014), *Quercus geminata* і *Q. myrtifolia* (Cornelissen et al., 2003), *Salix alba*, *Populus pyramidalis* (Пляцук, 2015).

Отже, листки *Betula pendula* є чутливим і доступним індикатором для здійснення оцінки стану довкілля в умовах урбанізованих екосистем. Як показали дослідження, в екологічно несприятливих умовах міського середовища листки цього виду зазнають морфологічних змін, зокрема спостерігається скорочення ширини та довжини листків, зменшення її загальної площі, а також збільшення довжини черешка. Такі зміни свідчать про порушення нормального росту під впливом стресових факторів довкілля, які не компенсуються навіть за умов догляду за деревами в штучних культурдендроценозах (Савосько та ін., 2013).

Флуктуюча асиметрія листової пластинки *Betula pendula* є чутливим показником морфогенетичного стресу. Її значення зростають під впливом як абіотичних, так і біотичних факторів. Зокрема, ушкодження листя комахами-шкідниками можуть призводити до підвищення рівня флуктуючої асиметрії (Kozlov et al., 1996). У багатьох літературних джерелах наголошується, що на стабільність розвитку *B. pendula* суттєво впливають викиди промислових підприємств і вихлопні гази автотранспорту (Петрушкевич, 2018; Пляцук, 2015).

Значення флуктуючої асиметрії листків *B. pendula* корелює з концентрацією низки забруднювачів довкілля, таких як нікель (Kozlov et al., 2018), та інших важких металів загалом, а також із впливом хронічного іонізуючого випромінювання. Таким чином, використання листків *Betula pendula* як біоіндикаторного об'єкта дає змогу не лише виявляти просторову диференціацію рівня забруднення, а й оцінювати загальну екологічну напруженість територій з високим рівнем урбанізації та промислового навантаження.

Варто зазначити, що в низці досліджень поставлено під сумнів наявність прямого зв'язку між показниками флуктуючої асиметрії листків *B. pendula* та рівнем забруднення атмосферного повітря. Так, Zverev et al. (2018) не виявили достовірної реакції цього показника ні на вміст важких металів, ні на посушливі умови. Подібні результати наведено й у роботах інших авторів (Coster et al., 2013; Sandner et al., 2019), де вказується на обмежену інформативність флуктуючої асиметрії як універсального індикатора екологічного стресу.

Нами проведено дослідження флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula* в умовах санітарно-захисних насаджень заводів хімічної та важкої промисловості м. Запоріжжя. Вимірювання та статистична обробка значень асиметрії за п'ятьма морфометричними параметрами листової пластинки дали змогу оцінити інформативність окремих ознак.

Найменш стійкою до змін виявилася довжина другої від основи листка жилки – ознака 2 (рис. 2.1). Її середнє значення на різних дослідних ділянках варіювало від 0,016 до 0,034 (табл. 5.23). Найбільш виражені асиметричні зміни зафіксовано за ознакою 3 – відстанню між основами першої та другої жилок другого порядку. У зелених насадженнях заводу «Дніпроспецсталь» значення флуктуючої асиметрії за цим параметром досягало 0,145, що свідчить про високу чутливість цієї морфологічної ознаки до забруднення довкілля. Інформативність цього параметра підтверджується й результатами інших досліджень (Петрушкевич, 2018).

Загальний рівень порушення симетрії вивчених морфометричних ознак листової пластинки *Betula pendula*, представлений у табл. 5.23, дозволив сформулювати послідовність їх чутливості в такому порядку  $3 < 4 < 1 < 5 < 2$ .

Таблиця 5.23

Показники ознак флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula* у захисних насадженнях обстежених підприємств

Місце відбору проб	Ознака	$\bar{x} \pm s \bar{x}$	min	max	S
Контроль	1	0,027±0,003	0,000	0,076	0,019
	2	0,016±0,002	0,000	0,072	0,015
	3	0,066±0,011	0,000	0,230	0,055
	4	0,012±0,003	0,000	0,091	0,023
	5	0,030±0,003	0,000	0,073	0,022
	ФА	0,030±0,009	0,012	0,066	0,021
СЗЗ Титано-магнієвого комбінату	1	0,030±0,003	0,005	0,084	0,019
	2	0,022±0,003	0,000	0,131	0,021
	3	0,143±0,016	0,000	0,404	0,105
	4	0,059±0,006	0,000	0,211	0,024
	5	0,060±0,015	0,005	0,638	0,098
	ФА	0,062±0,021	0,022	0,143	0,047
СЗЗ Дніпроспецсталі	1	0,031±0,004	0	0,100	0,024
	2	0,022±0,002	0	0,058	0,014
	3	0,145±0,020	0	0,552	0,127
	4	0,074±0,009	0	0,243	0,060
	5	0,035±0,003	0	0,077	0,022
	ФА	0,061±0,023	0,022	0,145	0,050

Продовження таблиці 5.23

Місце відбору проб	Ознака	$\bar{x} \pm s \bar{x}$	min	max	S
СЗЗ Коксохімічного підприємства	1	0,039±0,005	0	0,119	0,028
	2	0,034±0,009	0,006	0,356	0,054
	3	0,121±0,013	0	0,388	0,081
	4	0,074±0,005	0,02	0,182	0,036
	5	0,041±0,004	0	0,108	0,026
	ФА	0,061±0,016	0,033	0,121	0,036
СЗЗ Вогнетриву	1	0,047±0,005	0	0,139	0,035
	2	0,029±0,004	0	0,096	0,025
	3	0,103±0,012	0	0,396	0,075
	4	0,094±0,020	0	0,807	0,127
	5	0,054±0,007	0	0,168	0,043
	ФА	0,065±0,014	0,029	0,103	0,032
СЗЗ Запоріжсталь	1	0,033±0,003	0	0,092	0,024
	2	0,024±0,002	0	0,092	0,018
	3	0,134±0,018	0	0,611	0,116
	4	0,069±0,005	0	0,142	0,033
	5	0,032±0,003	0	0,086	0,022
	ФА	0,058±0,020	0,24	0,134	0,018
СЗЗ Алюмінієвого комбінату	1	0,045±0,005	0,003	0,233	0,037
	2	0,030±0,003	0,001	0,076	0,019
	3	0,115±0,015	0	0,531	0,100
	4	0,072±0,008	0	0,190	0,051
	5	0,051±0,006	0	0,135	0,038
	ФА	0,063±0,015	0,030	0,115	0,032
СЗЗ Трансформаторного заводу	1	0,033±0,004	0	0,136	0,029
	2	0,021±0,003	0	0,051	0,016
	3	0,066±0,011	0	0,313	0,069
	4	0,047±0,006	0	0,139	0,042
	5	0,034±0,005	0	0,151	0,032
	ФА	0,040±0,007	0,021	0,066	0,017

Примітка:  $\bar{x}$  – середнє значення у виборці,  $s \bar{x}$  – похибка середнього значення, min – мінімальне значення у виборці, max – максимальне значення у виборці, s – стандартне відхилення

Найбільше значення флуктуючої асиметрії листкових пластинок берези повислої зафіксовано у насадженнях, що розташована в межах санітарно-захисної зони підприємства «Вогнетрив» – 0,065. Хоча це виробництво класифікується як таке, що належить до III класу шкідливості, його безпосередня близькість до мартенівських печей заводу «Запоріжсталь» створює підвищене екологічне навантаження на відповідну територію.

У межах санітарно-захисних зелених зон підприємств «Запоріжсталь», «Коксохім», «Дніпроспецсталь», «Вогнетрив», Алюмінієвого та Титано-магнієвого комбінатів показники флуктуючої асиметрії варіювали в діапазоні від 0,058 до 0,065. Такі результати свідчать про наявність вираженого морфогенетичного стресу, зумовленого впливом промислових поллютантів (Склярєнко, 2019), і вказує на критичний стан якості довкілля.

Найнижчі значення асиметрії листків *Betula pendula* виявлено на ділянках захисних насаджень Трансформаторного підприємства, де коефіцієнт флуктуючої асиметрії становив 0,040. Це відповідає найменшому рівню відхилення від симетрії серед усіх обстежених об'єктів і узгоджується з попередніми даними про відносно низький рівень забруднення цієї території та регулярний догляд за зеленими насадженнями.

З метою узагальнення результатів було здійснено оцінку відхилень стану рослин від умовної норми за допомогою інтегрального показника стабільності розвитку листків *Betula*

*pendula*. Розраховані значення цього індексу наведено в таблиці 5.24. Отримані результати дають змогу об'єктивно ранжувати досліджені території за рівнем морфогенетичної стабільності деревних насаджень і слугують основою для формування рекомендацій щодо природоохоронних заходів у межах захисних зелених масивів підприємств важкої та хімічної промисловості м. Запоріжжя.

Інтегральний показник стабільності розвитку *Betula pendula*, розрахований на основі флуктуючої асиметрії морфометричних параметрів листової пластинки, варіює залежно від рівня техногенного навантаження на досліджувані ділянки (табл. 5.24). У захисних деревних масивах Трансформаторного підприємства цей показник дорівнює балу II, що вказує на початкове відхилення стану довкілля від умовної норми. Даний завод викидає менше токсичних поллютантів у довкілля та розташований на відстані близько 7 км від основного промислового кластера, що також може бути однією з причин меншого рівня забруднення середовища та кращого стану рослинного покриву.

Таблиця 5.24

Шкала визначення якості довкілля за величиною відхилень інтегрального показника стабільності розвитку від умовної норми

Досліджувана ділянка	Величина показника стабільності розвитку	Якість середовища	Бал
Контроль	0,030	Нормальна	I
Титано-магнієвий	0,062	Критичний стан	V
«Дніпроспецсталь»	0,061	Критичний стан	V
«Коксохім»	0,061	Критичний стан	V
«Вогнетрив»	0,065	Критичний стан	V
«Запоріжсталь»	0,058	Критичний стан	V
Алюмінієвий	0,063	Критичний стан	V
Трансформаторний	0,040	Початкове відхилення від норми	II

Найсуттєвіші порушення стабільності розвитку листків *Betula pendula* відмічені у рослин, які зростають у зоні впливу значного транспортного і промислового навантаження – зокрема в санітарно-захисних насадженнях заводу «Вогнетрив» (0,065) і Алюмінієвого комбінату (0,063). Дещо менше відрізняються від контролю значення показника стабільності розвитку листків *Betula pendula* в захисних деревостанах інших обстежених заводів. Підприємство «Запоріжсталь», попри те, що віднесене до I класу шкідливості, демонструє у зелених зонах дещо нижчі значення флуктуючої асиметрії (0,058). Проте на всіх заводах, крім Трансформаторного, величина показника флуктуючої асиметрії відповідає балу V, що вказує на критичний стан довкілля. Ці показники корелюють з рівнем техногенного впливу.

Отже, у листків *Betula pendula* в санітарно-захисних зелених насадженнях підприємств «Коксохім», «Вогнетрив», «Дніпроспецсталь», «Запоріжсталь», Алюмінієвого та Титано-магнієвого комбінатів зафіксовано великі значення флуктуючої асиметрії – у межах 0,058–0,065. Це свідчить про високий рівень техногенного пресу саме на ці території. Найнижче значення показника (0,040) встановлено в насадженнях Трансформаторного заводу, що вказує на найкращу екологічну ситуацію та морфогенетичну стабільність дерев.

Таким чином, підводячи підсумки результатів, що викладені у розділі 6, можна констатувати, що за шкалою визначення життєвого стану дерев найгірші показники виявлено у зелених зонах підприємств «Коксохім», «Феросплавів» і «Запоріжсталь», які займають провідні позиції за обсягами виробництва й викидів промислових поллютантів у повітря.

Сумарна частка сильно ослаблених та середньо ослаблених рослин більша, ніж у зелених зонах інших досліджуваних виробництв. Найкращий стан відзначено у зелених насадженнях Трансформаторного заводу. Тут виявлено найбільше дерев без ознак ослаблення.

Слід зазначити, що у захисних насадженнях всіх обстежених підприємств переважають дерева першої категорії життєвого стану – помірно ослаблені. Спектр патологій стовбурів деревних рослин у обстежених зелених масивах промислових підприємств майже однаковий. Проте їх кількісна представленість і загальна чисельність різняться. Найбільше патологій стовбурів встановлено у дерев, які зростають у захисних насадженнях заводів «Запоріжсталь», «Коксохім» та «Феросплавів», а найменше – Трансформаторного та «Склофлюс».

За кількісною представленістю дерев у різних категоріях життєвого стану у захисних зелених зонах підприємств виділено відносно стійкі їх види: *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ulmus laevis*, *Morus alba*, *Platanus acerifolia*, *Populus alba*, *Ulmus carpinifolia*, *Picea pungens*, *Fraxinus lanceolata*.

Величини індексу відносного життєвого стану деревостанів всіх зелених зон досліджуваних заводів свідчать, що вони є ослабленими або пошкодженими. Найнижчу оцінку одержали деревостани промислових підприємств: «Коксохім», «Вогнетрив» та «Запоріжсталь», а найвищу – Трансформаторного виробництва.

Відповідно до даних супутника Landsat, з 1990 р. по 2000 р. у зоні захисних зелених насаджень заводів їх щільність зменшується, а площі ділянок відкритого ґрунту зростають. З 2000 р. по 2010 р. щільність насаджень збільшується, і найбільш активний її підйом відбувається в період до 2020 року. У зелених масивах СЗЗ таких підприємств, як «Запоріжсталь», «Вогнетрив», «Дніпроспецсталь», Титано-магнієвий комбінат, даний показник підвищується головним чином за рахунок заповнення території підростом, який формується із самосіву (переважно *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*), а у захисних зелених насадженнях інших заводів – у більшій мірі завдяки висадженню нових дерев, хоча в цілому їх кількісна частка невелика.

Згідно з величиною флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula* в санітарно-захисних зелених насадженнях підприємств «Вогнетрив», «Запоріжсталь», «Коксохім», «Дніпроспецсталь», Титано-магнієвого та Алюмінієвого комбінатів зафіксовано критичні значення флуктуючої асиметрії – у межах 0,058–0,065. Це свідчить про найбільший техногенний прес саме на ці території. Найнижче значення показника (0,040) встановлено в насадженнях Трансформаторного заводу, що вказує на кращу екологічну ситуацію та вищу морфогенетичну стабільність дерев.

## РОЗДІЛ 6

### ВКЛАД ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ЗАХИСНИХ НАСАДЖЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ У ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Під час індустриальної діяльності значна кількість шкідливих речовин викидається в атмосферне повітря. Серед газоподібних поллютантів пріоритетне значення належить оксидам сірки (особливо SO<sub>2</sub>), хлоридам, фторидам, фенолам та іншим токсичним сполукам. Надходження цих речовин в атмосферне повітря призводить до зниження його якості, деградації довкілля, зменшення біорізноманіття, погіршення стану здоров'я населення.

Оздоровлення атмосферного повітря є глобальною екологічною проблемою, що потребує комплексного підходу до її розв'язання. Поряд із технічними методами (впровадження систем фільтрації, газоочисних установок), дедалі більшого значення набуває біологічний метод очищення повітря – із залученням фіторекультиваційного потенціалу зелених насаджень.

Жоден, навіть найдосконаліший техногенний фільтр не може повністю запобігти проникненню шкідливих речовин у довкілля, а тому біологічні бар'єри у вигляді захисних лісосмуг, деревних і чагарникових насаджень залишаються незамінним компонентом у системі природного доочищення атмосфери (Ількун, 1978; Левон, 2008).

Особливу роль у цьому процесі відіграють санітарно-захисні зелені насадження, що створюються навколо промислових підприємств. Вони не лише виконують функцію буферної зони між промисловим об'єктом і житловими районами, але й активно залучаються до фільтрації повітря, осадження твердих часток, адсорбції газів та поглинання поллютантів через листову поверхню (Paul, 1974; Бессонова, 1993; Mitchell et al., 2010).

Рослинність виступає своєрідним природним фільтром, що здатний ефективно затримувати, трансформувати та акумулювати шкідливі компоненти промислових викидів. Завдяки своїм морфологічним властивостям зелений покрив може забезпечувати додатковий бар'єрний захист довкілля, функціонуючи у тісному взаємозв'язку з технічними засобами очищення та доповнюючи їх ефективність (Бессонова, 1993; Sergeychik, 1997; Nowak et al., 2006; Mikhailova et al., 2013). Їх екологічна функція полягає не лише в механічному осадженні пилу, а й у хімічній та біологічній трансформації шкідливих компонентів атмосферного повітря.

Ефективність таких насаджень визначається низкою чинників: видовим складом деревної рослинності, густотою насадження, віком дерев, станом їх крони, площинною та щільністю листової поверхні тощо. У межах цього дослідження було проаналізовано вплив захисних зелених насаджень підприємств м. Запоріжжя на процес доочищення атмосферного повітря, з урахуванням фітоіндикаційних підходів.

Кожний вид рослин має свою граничну дозу акумуляції певної забруднюючої речовини, яку не можна перевищувати без ризику фізіологічного пошкодження. Саме тому при формуванні складу деревно-чагарникових асоціацій у межах СЗЗ промислових підприємств необхідно враховувати газо- та пилопоглинальну здатність конкретних видів рослин. Це дозволяє підвищити ефективність дії зеленого фітофільтра й забезпечити максимальний санітарно-гігієнічний ефект (Коршиков, 2004; Kulagin, 1970; Paul, 1974).

Рослинні організми не лише здатні локалізувати та акумулювати токсичні компоненти, а й у низці випадків активно впливати на їх біологічну трансформацію та детоксикацію. Це зумовлює появу нових ланок у біологічному колообігу, в якому рослини відіграють

домінантну роль, і жоден технічний засіб не здатен замінити їх функціонування (Ількун, 1978; Sergeychik, 1997; Wei et al., 2017).

Незважаючи на значну кількість досліджень, повною мірою масштаби природного самоочищення атмосферного повітря за участю рослин залишаються недооціненими. Для ефективного використання біофільтраційного потенціалу зелених насаджень необхідне глибоке знання механізмів накопичення забруднювачів в органах рослин, особливостей їх метаболізму та середовищевірної ролі в умовах конкретного техногенного середовища.

Таким чином, формування високоефективних зелених бар'єрів у межах промислових підприємств має спиратися на поєднання емпіричних даних, даних дистанційного моніторингу та фітоіндикаційного аналізу, з урахуванням адаптаційного потенціалу рослин до довготривалого впливу поллютантів.

Інтенсивність акумуляції газоподібних поллютантів рослинними організмами залежить не лише від фізіолого-біохімічних особливостей конкретного виду, а й від концентрації забруднюючих речовин у повітрі (Cicek & Koparal, 2004; Hwangbo et al., 2000), тривалості їх впливу, а також екологічних умов зростання (Ількун, 1978; Smith, 1985). Ці фактори зумовлюють складність формування універсальних рекомендацій щодо вибору рослин навіть для споріднених підприємств, розташованих у різних кліматичних регіонах. Отже, ефективність фітоочищення в кожному конкретному випадку може відрізнятися, і тому краще, щоб рекомендації з озеленення спиралися на певну екологічну адресу. Водночас треба приймати до уваги загальні принципи впливу окремих поллютантів на рослинні організми та їхню газопоглинальну здатність.

### **6.1. Акумуляція сірки листками деревних рослин захисних зелених насаджень промислових підприємств**

Серед поширених аерополлютантів, що забруднюють атмосферу в районах розміщення промислових підприємств, чільне місце займають сірчані сполуки, насамперед діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), а також сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) і, рідше, вуглець дисульфід ( $\text{CS}_2$ ). Основними джерелами надходження  $\text{SO}_2$  в атмосферу є процеси згоряння викопного палива (нафти, бурого та кам'яного вугілля, мазуту, деревини), виплавка металів із руд, що містять сірку, термічні процеси в металургії та хімічній промисловості, а також отримання сірчаної кислоти (Liu et al., 2018).

Особливо високий рівень викидів  $\text{SO}_2$  фіксується поблизу заводів кольорової та чорної металургії теплових електростанцій, нафтохімічних, коксохімічних та цементних підприємств (Ількун, 1978; Subba et al., 2016; Tuugun et al., 2017). Зокрема, виплавка однієї тонни чавуну супроводжується викидом у повітря в середньому 22,4 кг сірчаного ангідриду (Калюжний, 1981).

Дерева, що зростають у межах санітарно-захисних зон таких підприємств, безпосередньо піддаються дії високих концентрацій сірчаних сполук, що призводить до їх акумуляції в тканинах, особливо в листках. Рівень накопичення  $\text{SO}_2$  у рослинах залежить від інтенсивності поглинання через продихи листової пластинки, активності фотосинтетичного апарату та здатності клітин до біохімічної трансформації сірки в менш токсичні сполуки. Серед сірковмісних поллютантів найбільш активно листовими пластинками деревних рослин поглинається діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), меншою мірою – сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ), тоді як вуглець дисульфід ( $\text{CS}_2$ ) засвоюється найменш інтенсивно. При цьому останні два компоненти трапляються в атмосфері значно рідше (Li et al., 2016). Основним механізмом надходження цих сполук у тканини рослин є дифузія крізь продихи з подальшим включенням у клітинний метаболізм (Okpodu et al., 1996; Vaciak et al., 2015).

Ряд авторів вважає, що рівень сульфатів у листках може бути використаний як індикатор функціональних змін, які ще не мають візуального прояву (Tripodo et al., 1992), або ж як показник активності забруднення території (Pöykiö, Torvela, 2001).

З метою визначення динаміки накопичення сірки та оптимального терміну відбору проб для оцінки фітоочищувального потенціалу дерев, нами було проведено дослідження вмісту сірки в динаміці протягом періоду вегетації в листках чотирьох деревних видів – *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia* та *Morus alba*, що зростають у зелених насадженнях підприємства «Запоріжсталь», котре є найбільшим джерелом викидів сірчаних сполук у місті.

Отримані дані свідчать, що динаміка акумуляції сірки подібна в листках всіх досліджуваних рослин, вміст її зростає протягом усього вегетаційного періоду. Однак темпи підвищення кількості полютанта були нерівномірними та залежали від фази онтогенезу листків (рис. 6.1). Зокрема, у фазі інтенсивного їх росту накопичення елементу відбувалося повільніше порівняно з листками, ріст яких вже закінчився. Це, ймовірно, пов'язано з ефектом «розведення», коли темпи наростання біомаси перевищують темпи накопичення елементу. Такий ефект спостерігається і при акумуляції свинцю (Hijano et al., 2005).

Нами встановлено, що у фазі завершення росту листків спостерігалось різке зростання концентрації сірки. Надалі нагромадження елементу уповільнюється (рис. 6.1). Максимальний вміст сірки у листках усіх досліджених видів був зафіксований у кінці вегетаційного періоду.

Слід вказати, що у деяких роботах вказується на активне поглинання  $SO_2$  молодими листками у період їх активного розвитку (Malhotra, Hocking, 1976). Водночас інші дослідники вважають, що найбільш суттєве накопичення сірки спостерігається саме всередині або наприкінці вегетації, коли листки вже повністю сформовані.

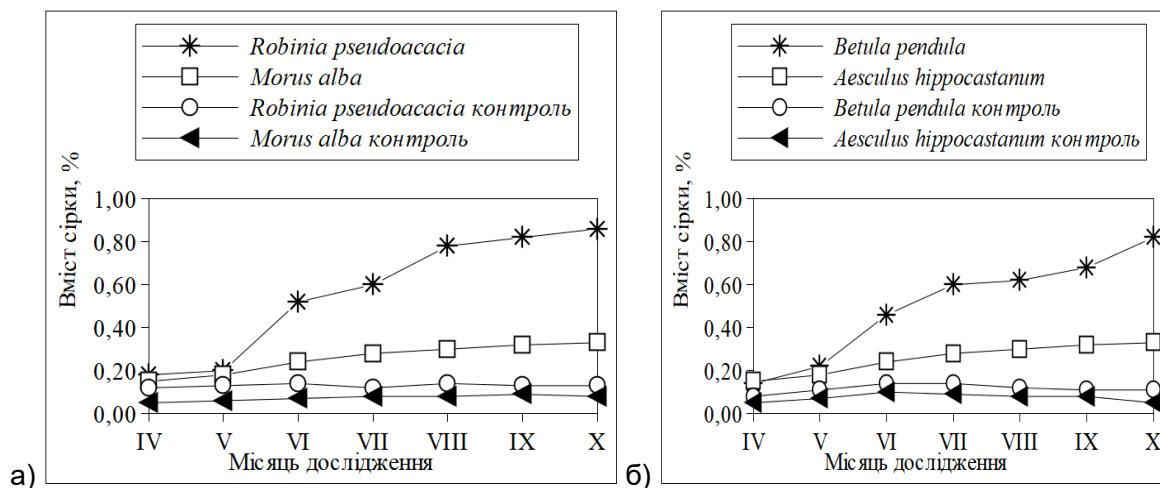


Рис. 6.1 – Накопичення сірки в листках дерев захисних насаджень заводу Запоріжсталь

Таким чином, на основі досліджень встановлено, що процес поглинання і накопичення сірки в листках відбувається протягом усього вегетаційного періоду. У кінці вегетації її вміст у листках найвищий, тому більш інформативним для екологічного аналізу є відбір проб у цей період. На максимальну кількість сірки в листках у цей термін вказують і результати інших досліджень на ряді рослинних об'єктів (Капелюш, Бессонова, 2007; Hijano et al., 2005), що підкреслює доцільність стандартного відбору листового матеріалу для аналізу саме в кінці вегетації при оцінці фітоочисної здатності деревних насаджень.

У таблиці 6.1 наведено результати досліджень щодо вмісту сірки в листках деревних рослин санітарно-захисних насаджень промислових підприємств м. Запоріжжя та контрольної ділянки в кінці вегетаційного періоду (вересень).

Таблиця 6.1

Показники кількості сірки в листі дерев захисних насаджень, заводів м. Запоріжжя, % від абсолютної сухої маси ( $\bar{x} \pm SE$ ,  $n = 4$ )

Вид рослин	Контроль	Промислові підприємства							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Acer negundo</i>	0,12 ± 0,007 <sup>a</sup>	0,30 ± 0,011 <sup>b</sup>	0,38 ± 0,015 <sup>c</sup>	0,33 ± 0,008 <sup>bc</sup>	–	–	0,56 ± 0,009 <sup>d</sup>	0,30 ± 0,014 <sup>b</sup>	0,20 ± 0,010 <sup>e</sup>
<i>Acer platanoides</i>	0,14 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,40 ± 0,009 <sup>c</sup>	0,34 ± 0,013 <sup>bd</sup>	–	0,63 ± 0,011 <sup>e</sup>	0,69 ± 0,012 <sup>f</sup>	0,36 ± 0,007 <sup>bg</sup>	–
<i>Aesculus hippocastanum</i>	0,13 ± 0,006 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,007 <sup>b</sup>	–	0,44 ± 0,011 <sup>c</sup>	0,36 ± 0,006 <sup>d</sup>	0,51 ± 0,015 <sup>e</sup>	0,56 ± 0,010 <sup>ef</sup>	0,34 ± 0,012 <sup>fg</sup>	0,28 ± 0,012 <sup>h</sup>
<i>Ailanthus altissima</i>	0,11 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,005 <sup>b</sup>	0,30 ± 0,007 <sup>c</sup>	–	0,27 ± 0,009 <sup>bd</sup>	0,39 ± 0,010 <sup>e</sup>	0,48 ± 0,013 <sup>f</sup>	0,26 ± 0,008 <sup>dg</sup>	0,19 ± 0,007 <sup>h</sup>
<i>Betula pendula</i>	0,11 ± 0,007 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,010 <sup>b</sup>	–	–	0,50 ± 0,010 <sup>c</sup>	0,80 ± 0,012 <sup>d</sup>	0,97 ± 0,014 <sup>e</sup>	0,47 ± 0,010 <sup>bf</sup>	0,30 ± 0,011 <sup>g</sup>
<i>Catalpa bignonioides</i>	0,14 ± 0,009 <sup>a</sup>	–	–	0,48 ± 0,009 <sup>b</sup>	0,39 ± 0,014 <sup>c</sup>	0,55 ± 0,011 <sup>d</sup>	0,67 ± 0,008 <sup>e</sup>	0,30 ± 0,007 <sup>f</sup>	0,22 ± 0,005 <sup>g</sup>
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	0,09 ± 0,006 <sup>a</sup>	–	0,28 ± 0,006 <sup>b</sup>	0,25 ± 0,010 <sup>c</sup>	–	0,45 ± 0,012 <sup>d</sup>	0,47 ± 0,007 <sup>de</sup>	0,25 ± 0,009 <sup>cf</sup>	0,20 ± 0,006 <sup>g</sup>
<i>Fraxinus lanceolata</i>	0,08 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,30 ± 0,009 <sup>b</sup>	0,40 ± 0,010 <sup>c</sup>	–	0,34 ± 0,007 <sup>d</sup>	0,61 ± 0,010 <sup>e</sup>	0,62 ± 0,014 <sup>e</sup>	–	–
<i>Juglans regia</i>	0,16 ± 0,007 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,005 <sup>b</sup>	–	0,30 ± 0,014 <sup>c</sup>	–	–	0,58 ± 0,011 <sup>d</sup>	0,30 ± 0,013 <sup>ce</sup>	0,24 ± 0,015 <sup>b</sup>
<i>Morus alba</i>	0,10 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,006 <sup>b</sup>	0,27 ± 0,006 <sup>c</sup>	0,23 ± 0,008 <sup>bd</sup>	0,19 ± 0,005 <sup>be</sup>	0,33 ± 0,008 <sup>f</sup>	0,44 ± 0,007 <sup>g</sup>	0,23 ± 0,009 <sup>bd</sup>	–
<i>Populus alba</i>	0,15 ± 0,007 <sup>a</sup>	0,46 ± 0,015 <sup>b</sup>	0,61 ± 0,007 <sup>c</sup>	0,55 ± 0,010 <sup>d</sup>	0,45 ± 0,009 <sup>be</sup>	0,89 ± 0,015 <sup>f</sup>	0,96 ± 0,015 <sup>g</sup>	0,41 ± 0,010 <sup>be</sup>	–
<i>Populus nigra</i>	0,14 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,40 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,49 ± 0,011 <sup>c</sup>	0,47 ± 0,010 <sup>cd</sup>	0,37 ± 0,015 <sup>be</sup>	–	1,05 ± 0,014 <sup>f</sup>	0,42 ± 0,013 <sup>bg</sup>	0,33 ± 0,009 <sup>h</sup>
<i>Populus simonii</i>	0,16 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,009 <sup>b</sup>	0,45 ± 0,009 <sup>c</sup>	0,40 ± 0,15 <sup>bd</sup>	0,37 ± 0,011 <sup>bd</sup>	0,86 ± 0,013 <sup>e</sup>	0,93 ± 0,012 <sup>f</sup>	0,35 ± 0,008 <sup>bd</sup>	–
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,12 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,41 ± 0,011 <sup>b</sup>	0,51 ± 0,010 <sup>c</sup>	0,58 ± 0,013 <sup>d</sup>	0,42 ± 0,012 <sup>be</sup>	0,85 ± 0,014 <sup>f</sup>	0,90 ± 0,013 <sup>g</sup>	0,39 ± 0,010 <sup>bh</sup>	0,31 ± 0,010 <sup>i</sup>
<i>Salix alba</i>	0,14 ± 0,006 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,006 <sup>b</sup>	0,42 ± 0,013 <sup>c</sup>	–	0,32 ± 0,007 <sup>bd</sup>	0,73 ± 0,013 <sup>e</sup>	0,81 ± 0,013 <sup>f</sup>	0,21 ± 0,006 <sup>g</sup>	–
<i>Tilia cordata</i>	0,15 ± 0,006 <sup>a</sup>	0,41 ± 0,007 <sup>b</sup>	0,50 ± 0,011 <sup>c</sup>	–	0,40 ± 0,013 <sup>bd</sup>	–	1,02 ± 0,010 <sup>e</sup>	0,38 ± 0,007 <sup>bd</sup>	–
<i>Ulmus pumila</i>	0,13 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,23 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,29 ± 0,008 <sup>c</sup>	0,27 ± 0,007 <sup>cd</sup>	0,21 ± 0,005 <sup>be</sup>	0,40 ± 0,007 <sup>f</sup>	0,47 ± 0,006 <sup>g</sup>	0,20 ± 0,006 <sup>be</sup>	–

Примітки:

1) «–» цей вид дерев відсутній; 2) однакові латинські букви означають статистично незначущі розбіжності середніх у ряді на основі результатів використання тесту Т'юкі ( $P < 0,05$ ); 3) промислові підприємства: 1 – Титано-магнієвий; 2 – «Укрграфіт»; 3 – Абразивний; 4 – Алюмінієвий; 5 – «Феросплавів»; 6 – «Запоріжсталь»; 7 – «Вогнетрив»; 8 – Трансформаторний

;

Дані свідчать, що, попри територіальну близькість ряду заводів і потенційне перехресне розсіювання сірчаного ангідриду між суміжними зонами, найвища концентрація загальної сірки зафіксована в листках дерев захисної лісосмуги підприємства «Запоріжсталь». Дещо нижчі значення виявлено на території заводу «Феросплавів» (табл. 6.1). Ці виробництва є одними із найпотужніших джерел викидів сірчанних сполук.

На контрольній ділянці, не охопленій техногенним впливом, вміст сірки в листках коливався від 0,08 % у *Fraxinus lanceolata* до 0,16 % у *Juglans regia* (у перерахунку на абсолютно суху масу). Варто наголосити, що сірка є життєво важливим макроелементом, необхідним для нормального росту й розвитку рослин. Вона входить до складу амінокислот (цистин, цистеїн, метіонін), а у складі цистеїну – до глутатіону. Цей трипептид бере участь у регуляції окисно-відновних процесів у рослинних клітинах. Приєднання НАД і ФАД до каталітично активних білків здійснюється через SH-групи. Макроергічний зв'язок коферменту А утворює сірка. Цей макроелемент є складовою сірковмісних вітамінів – ліпоєвої кислоти,

тіаміну, біотину (Бессонова, Яковлева-Носарь, 2014). Утім, в умовах забруднення навколишнього середовища концентрація сірки в органах рослин може істотно перевищувати фізіологічно нормальні значення, що негативно впливає на фізіолого-біохімічні процеси.

Як видно з табл. 6.1, найменше сірки накопичується в листках дерев, що зростають у зелених насадженнях Алюмінієвого й Титано-магнієвого комбінатів, Трансформаторного заводу. Найвищий вміст елемента, порівняно з іншими досліджуваними видами рослин, зафіксовано у листках *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus nigra* та *Populus simonii*. Найнижчі показники нагромадження характерні для *Ailanthus altissima*, *Morus alba*, *Ulmus pumila* та *Elaeagnus angustifolia*. Середню позицію за рівнем акумуляції сірки листям займають *Catalpa bignonioides*, *Acer negundo*, *Fraxinus lanceolata* та *Acer platanoides*.

Варто зазначити, що вміст сірки в листках не завжди прямо відображає середовищеочисна ефективність виду. Не вся сірка, яка надходить у листки, в них акумулюється. Частина її, що була поглинена з атмосфери, може бути втрачена з опадами або виділена назад у повітря з вологою (Ількун, 1978; Ількун, Моргун, 1980). Крім того, частина  $\text{SO}_2$  і  $\text{H}_2\text{S}$  метаболізується: включається в амінокислоти та глутатіон (Hindawi, 1968; Kok et al., 1986; Schiff & Hodson, 1973), транспортується до інших органів у вигляді сульфатів (Brandle & Schnyder, 1970; Paul, 1976) або виводиться з кореневої системи в ґрунт (Cornish, 1968). Попри це, більшість авторів сходяться на думці, що середні значення акумульованої сірки в листках дають можливість порівняльно оцінити середовищеочисну здатність деревних рослин (Al-Jahdali & Bin Bisher, 2008; Zhang et al., 2013). Це підтверджується і результатами S. Godzik (1976), який продемонстрував суттєві відмінності в здатності до накопичення сірки між деревними та трав'янистими видами. Вивчаючи розподіл радіоізоотопу сірки  $^{32}\text{S}$  у *Betula* та *Quercus*, а також у представників хвойних родів (*Picea*, *Abies*, *Taxus*), дослідник визначив, що пересування сірки з стовбура до листків не відбувається. Натомість уведена у стовбур  $^{32}\text{S}$  здатна переміщатися в межах листової пластинки.

Ці результати дозволили зробити припущення, що у деревних рослин, на відміну від трав'янистих, сірка є менш мобільною і довше утримується у листках, тому її концентрація в цих органах більш точно відображає рівень фактичного поглинання, а також інтенсивність забруднення повітря ділянки. Це, у свою чергу, дає змогу вважати фоліарні тканини деревних рослин більш надійним індикатором атмосфероочисної функції за різних підходів до обчислення.

Отримані дані підтверджують, що вищий рівень забруднення повітря  $\text{SO}_2$  спричиняє зростання концентрації сірки в листках (табл. 6.1). Така тенденція узгоджується з результатами ряду досліджень, які вказують, що загальна кількість сірки, накопичена за вегетаційний період, корелює з одиницею сирої та сухої маси листка, площею листової пластинки, а також з кількістю хлорофілу (Bytnerowicz et al., 1987; Paul, 1976; Roberts, 1974). Разом із тим аналіз наших результатів свідчить, що ступінь збільшення вмісту сірки в листках рослин різних захисних насаджень не є прямо пропорційним концентрації  $\text{SO}_2$  у повітрі. Це може бути пояснено тим, що накопичення сірки в листках за умов впливу газоподібного полютанта більше залежить від тривалості його дії, а не лише від величини концентрації. Отже, інтегральний ефект забруднення є комбінацією концентраційного рівня та тривалості експозиції, що слід обов'язково враховувати при оцінці атмосфероочисної здатності рослин.

Згідно з дослідженням R. Guderian (1979), швидкість накопичення сірки в рослинах виявилася вищою за умов тривалої дії  $\text{SO}_2$  при низьких концентраціях, ніж за короткочасної дії при високому рівні забруднення. Подібну закономірність встановлено і в дослідях (Roberts, 1974), де було доведено, що листя *Rhododendron japonicum* та *Fraxinus americana* однаково інтенсивно асимілюють діоксид сірки з повітря, незалежно від того, чи його

концентрація становила 0,2; 0,5 чи 1 мг/л. Це вказує на те, що для акумуляції сірки в листках рослин час експозиції є важливішим чинником, ніж концентрація поллютанта.

Отримані нами результати (табл. 6.1) дозволили умовно розподілити досліджені деревні види на три групи за рівнем акумуляції сірки в листках: група I (високий рівень накопичення): *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Salix alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus simonii*, *Populus alba*, *Populus nigra*; група II (середній рівень): *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Fraxinus lanceolata*, *Catalpa bignonioides*; група III (низький рівень): *Elaeagnus angustifolia*, *Ailanthus altissima*, *Morus alba*, *Ulmus pumila*.

Разом із тим, зіставлення наших даних відносно нагромадження сірки в листі різних порід дерев із результатами інших дослідників пов'язано з певними методичними труднощами. Так, переліки видів деревних рослин різних авторів відрізняються, лише деякі з них мають однакові рослини. Проте й вони не завжди включені до однакових груп за рівнем нагромадження сірки, що свідчить про існування певних розбіжностей.

Так, згідно з І. І. Коршиковим та співавт. (1995), *Morus alba* накопичує незначну кількість сірки, що узгоджується з нашими результатами. Водночас В. П. Тарабрін зі співавт. (1986) відносять цей вид до високонакопичувальних. Аналогічна ситуація спостерігається для *Acer negundo*, який у роботах Yu. Kulagin (1970) фігурує як слабо накопичуюча сірку рослина, а N. V. Getko (1989), навпаки, розглядає його як індикатор високої акумуляції. За даними М. Basovic et al. (1975), цей вид займає проміжне положення. Щодо *Acer pseudoplatanus*, одні автори (Коршиков та ін., 1995) встановили незначне накопичення сірки в листках, інші, навпаки, – у великій кількості (Getko, 1989).

В. П. Тарабрін зі співавт. (1986) і N. V. Getko (1989) підкреслюють високу здатність листків *Robinia pseudoacacia* до накопичення цього елемента, тоді як S. Sergeychik (1997) оцінює її як вид із середнім рівнем акумуляції. Подібні коливання у висновках щодо *Tilia cordata* та *Populus canadensis* також присутні у низці публікацій (Getko, 1989; Тарабрін та ін., 1986; Коршиков та ін., 1995; Sergeychik, 1984), однак більшість дослідників погоджуються з їх високим потенціалом до фітоакумуляції, що узгоджується і з нашими спостереженнями.

Ці суперечності можуть бути пояснені різними умовами проведення досліджень, у першу чергу, кліматичними особливостями регіону, видовим складом змішаних насаджень та спектром повітряних поллютантів, які впливають на ефективність акумуляції сполук сірки.

На біохімічному рівні за надходження сірки у вигляді SO<sub>2</sub> або H<sub>2</sub>S у листки рослин відбувається її окиснення до сульфатів (Heber & Hüve, 1997; Hindawi, 1968). Перед початком процесу асиміляції сульфат активується шляхом фосфорилування. Саме ця реакція вважається «воротами», через які інертна форма сірки залучається до метаболізму. При цьому активується синтез глутатіону та сірковмісних амінокислот, що також може розглядатися як адаптивна відповідь рослини на стрес від забруднення.

У результаті експериментів із фумігацією сірководнем рослин L. J. Кок et al. (1986) дійшли висновку, що глутатіон, до складу якого входить сірковмісна амінокислота цистеїн, відіграє роль резервної форми сірки, здатної швидко включатися в метаболічні процеси в умовах надходження токсиканта.

З метою створення більш повної картини реакції деревних рослин на техногенне забруднення повітря сполуками сірки було проведено визначення вмісту глутатіону в листках шести видів дерев, що зростають у зелених насадженнях підприємств «Вогнетрив», «Феросплавів», «Запоріжсталь», Титано-магнієвий комбінат, які відрізняються за кількістю сірковмісних викидів. Результати свідчать про загальну тенденцію до підвищення рівня глутатіону в листках порівняно з контрольною ділянкою, за винятком *Tilia cordata*. У цього виду, навпаки, спостерігалось зниження вмісту глутатіону в умовах високого рівня SO<sub>2</sub> (території зелених зон заводів «Запоріжсталь» та «Вогнетрив») і незначне підвищення при помірному забрудненні (Титано-магнієвий комбінат).

Як показано в таблиці 6.2, підвищення кількості глутатіону в листках різних видів досліджуваних дерев добре корелює з рівнем акумуляції сірки. Зокрема, високий вміст сірки в листках *Populus nigra* та *Robinia pseudoacacia*, який складає відповідно 335 і 483 % до контрольних показників, супроводжується накопиченням і більшої кількості глутатіону. Такі показники свідчать про включення поглинутої сірки в обмінні процеси, зокрема у синтез трипептиду глутатіону, що відіграє роль антиоксиданту.

Відрізняється реакція виду *Tilia cordata*, чутливого до забруднення атмосферного повітря поллютантами. Попри високий рівень сірконакопичення у листках рослин захисних зелених масивів з високим рівнем забруднення атмосфери («Вогнетрив», «Запоріжсталь»), відбувається зниження концентрації глутатіону. Це може свідчити про пригнічення процесу включення сірки в біосинтез цистеїну – амінокислоти, що є необхідною для утворення глутатіону, внаслідок стресової дії надлишку SO<sub>2</sub>. У свою чергу, менший рівень забруднення на території насаджень Титано-магнієвого комбінату спричиняє помірне зростання глутатіону в листках цього виду відносно контролю.

Таблиця 6.2

Зміни кількості глутатіону у листках дерев захисних зелених зон промислових підприємств, мг /%, ( $x \pm SE$ , n = 4)

Назва рослин	Контроль, $x \pm SE$	Назва підприємств					
		«Запоріжсталь»		«Вогнетрив»		ЗТМК	
		$x \pm SE$	% до контр	$x \pm SE$	% до контр	$x \pm SE$	% до контр
<i>Ailanthus altissima</i>	89,12±0,96 <sub>a</sub>	140,23±1,12 <sub>b</sub>	157,3	128,42±1,18 <sup>c</sup>	144,1	111,36±0,96 <sup>d</sup>	125,0
<i>Fraxinus lanceolata</i>	33,60±0,42 <sub>a</sub>	54,21±0,68 <sup>b</sup>	161,3	44,12±1,02 <sup>c</sup>	131,3	39,86±0,62 <sup>d</sup>	118,6
<i>Morus alba</i>	40,36±0,58 <sub>a</sub>	63,84±0,71 <sup>b</sup>	158,2	53,45±0,50 <sup>c</sup>	132,4	52,16±0,66 <sup>c</sup>	129,2
<i>Robinia pseudoacacia</i>	67,18±0,91 <sub>a</sub>	179,71±1,12 <sub>b</sub>	267,5	153,69±1,40 <sup>c</sup>	228,8	140,18±0,89 <sup>d</sup>	208,7
<i>Tilia cordata</i>	45,89±0,48 <sub>a</sub>	35,75±0,63 <sup>b</sup>	77,9	39,56±0,78 <sup>c</sup>	86,2	49,31±0,57 <sup>d</sup>	107,5
<i>Ulmus carpinifolia</i>	53,73±0,42 <sub>a</sub>	84,39±0,72 <sup>b</sup>	157,1	70,36±1,04 <sup>c</sup>	131,0	61,42±0,65 <sup>d</sup>	114,3
<i>Populus nigra</i>	75,16±0,52 <sub>a</sub>	195,91±1,02 <sub>b</sub>	260,7	178,61±1,31 <sup>c</sup>	237,6	149,99±1,12 <sup>d</sup>	199,6

Примітка: однакові латинські букви означають статистично незначущі розбіжності середніх у ряді на основі результатів використання тесту Т'юкі (P < 0,05).

Вищий вміст трипептиду глутатіону в листках більшості деревних видів, що зростають у санітарно-захисних зелених насадженнях промислових підприємств порівняно з контрольними рослинами, підтверджує припущення L. J. Kok et al. (1986) щодо захисної ролі цієї сполуки в умовах SO<sub>2</sub>-інтоксикації. Це свідчить про адаптивну відповідь асиміляційного апарату дерев на техногенне навантаження.

Таким чином, вміст глутатіону в листках дерев є не лише показником загального фізіологічного стану рослини, але й опосередковано відображає здатність до детоксикації надходженої сірки шляхом її включення у біологічно активні молекули. Це відкриває перспективи використання глутатіону як біохімічного маркера стійкості деревних рослин до дії сірчаних поллютантів.

Отже, акумуляція сірки в листі дерев захисних насаджень, які підпадають під вплив викидів SO<sub>2</sub>, здійснюється весь вегетаційний період, найактивніше – у молодих листках, що завершили ріст. Найвищі значення концентрації сірки спостерігалися наприкінці вегетації. Рівень її акумуляції в листках дерев напряду залежить від інтенсивності викидів підприємства, однак виявлено, що зростання вмісту цього елемента не є прямо пропорційним концентрації SO<sub>2</sub> у повітрі. Це важливо враховувати при оцінці забруднення територій та фітоочисного потенціалу насаджень.

Зростання вмісту сірки у листках дерев захисних зелених насаджень обстежених підприємств порівняно з контрольними значеннями узгоджується зі збільшенням вмісту глутатіону в листках, що свідчить про можливість його синтезу внаслідок метаболізації SO<sub>2</sub> в асиміляційному апараті деревних рослин.

За результатами досліджень, деревні види розподілено на три групи за рівнем акумуляції сірки. До групи I (високий рівень) віднесені *Salix alba*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia cordata*, *Populus simonii*, *Populus alba*, *Populus nigra*. У групу II (середній рівень) включені *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Catalpa bignonioides*, *Fraxinus lanceolata*. Група III (низький рівень) представлена такими рослинами: *Ailanthus altissima*, *Morus alba*, *Elaeagnus angustifolia*, *Ulmus pumila*.

Отримані результати становлять практичну цінність і можуть бути покладені в основу рекомендацій щодо добору стійких видів дерев для модернізації насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств, які викидають у атмосферне повітря сполуки сірки, з урахуванням їхньої здатності до акумуляції цього полютанта.

## **6.2. Акумуляція хлору листками деревних рослин захисних зелених насаджень промислових підприємств**

Атмосферне повітря промислових регіонів, зокрема м. Запоріжжя, містить у своєму складі хлор і хлористий водень – інгредієнти антропогенного походження, які є складовою частиною викидів низки підприємств. Основними джерелами хлоридного забруднення є титано-магнієві комбінати (Eydenzon, 1964), гальванічні цехи, виробництва соляної кислоти, пластмас, органічних барвників, суперфосфату, цементу, інсектицидів, вапна, соди, мийних засобів, а також об'єкти, що використовують соляну та оцтову кислоти (Artamanov, 1986; Manning & Feder, 1988; Desler, 1981). Джерелом хлороводню є також відпрацьовані гази автотранспорту та продукти спалювання побутових і промислових відходів, що містять ПВХ. У зонах впливу металургійних підприємств хлороводень потрапляє в атмосферу внаслідок застосування соляної кислоти при технологічних процесах, зокрема під час паяння, плавлення, лудіння та обробки металів, включаючи тонколистову вуглецеву сталь (Капустенко та ін., 2011; Martin & Larivière, 2014). Детальний перелік джерел хлоридного забруднення подано у розділі 1.

У забрудненому хлоридами повітрі рослини виявляють здатність до їх поглинання, переважно через листову поверхню. Згідно з даними R. Guderian (1979), накопичення хлоридів у листках відбувається активніше, ніж сірки, проте поступається інтенсивності засвоєння фторидів. Акумуляція хлору рослинами викликає низку морфофізіологічних змін, що виявляються в порушенні анатомічної структури листка, зміні тургору, фотосинтетичних процесів, зниженні інтенсивності росту та продуктивності рослин (Endress et al., 1967; Endress et al., 1978; Schreuder & Brewer, 2001; Ustin & Gamon, 2010).

Незважаючи на фітотоксичність хлоридів, деревні рослини можуть виконувати важливу середовищеочищувальну функцію, знижуючи рівень цих полютантів у атмосфері. Визначення рівня накопичення хлору в листках є доцільним не лише з точки зору екологічного моніторингу та оцінки ефективності фіторекультивації, але й з позицій

виявлення чутливих фітоіндикаторних видів, що здатні сигналізувати про критичні рівні хлоридного забруднення.

У межах дослідження нами було проаналізовано динаміку накопичення хлору в листках чотирьох деревних видів – *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia cordata* та *Betula pendula*, які зростають як у межах контрольної ділянки, так і в санітарно-захисних насадженнях Титано-магнієвого комбінату – підприємства, що є найзначнішим джерелом хлоридного забруднення серед досліджених об'єктів (Eydenzon, 1964; Sahu et al., 2006; Nabashi, 2016). Обрані види дерев є типовими представниками деревостанів більшості ділянок спостереження, що забезпечує можливість порівняльного аналізу. Результати дослідження показали, що вміст хлору в листках дерев контрольної ділянки залишається практично незмінним протягом вегетаційного періоду, що вказує на відсутність суттєвого техногенного навантаження. Натомість у листках рослин, які зростають у зеленій зоні комбінату, спостерігається характерна динаміка накопичення елементу із поступовим зростанням концентрації хлору протягом вегетації. Найбільш інтенсивно його кількість підвищується в зрілих листках, ріст яких завершився (рис. 6.2).

Темпи нагромадження хлору у старіючому листі, навпаки, зменшуються, ймовірно, внаслідок перебудови обміну речовин та деградаційних процесів. Найвищий вміст хлору виявлено наприкінці вегетаційного періоду, що цілком співвідноситься з даними Г. М. Ілька (1978), який спостерігав аналогічну динаміку у листках п'яти видів дерев. Видовий перелік рослин у дослідженнях цього вченого не збігається з нашим.

Таким чином, оптимальним періодом для визначення рівня акумуляції хлору та оцінки середовищеочисної функції деревних рослин є завершення вегетації. Саме в цей час у листках фіксується максимальний вміст елементу, що дозволяє найбільш повно охарактеризувати здатність рослин до поглинання хлоридів в умовах техногенного навантаження.

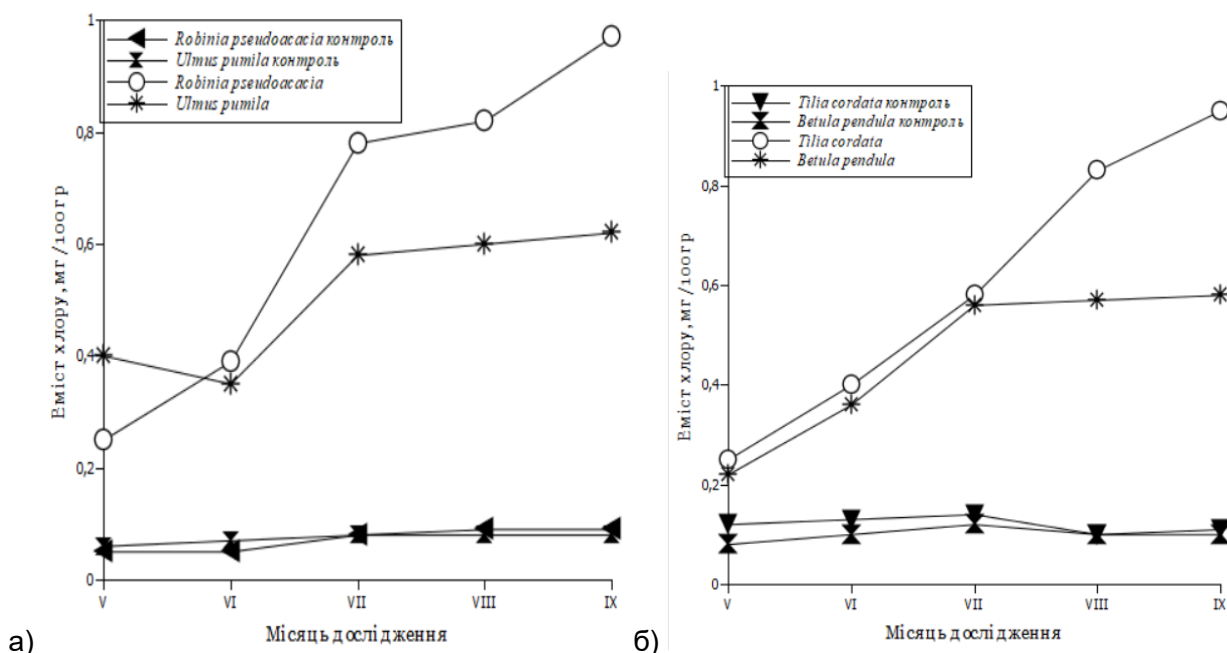


Рис. 6.2 – Накопичення хлору в листових пластинках дерев зелених насаджень Титано-магнієвого заводу, мг % абсолютно сухої маси ( $X \pm SE$ ,  $n = 4$ )

Результати дослідження показали, що різниця у вмісті хлору в листках досліджуваних деревних рослин контрольної ділянки є незначною, загальний рівень його накопичення варіює в межах 0,15–0,25 % абсолютно сухої маси. Найнижчі показники виявлено у *Betula*

*pendula* та *Catalpa bignonioides*, натомість найвищий вміст зафіксовано у *Ailanthus altissima* (табл. 6.3).

Слід підкреслити, що хлор є життєво необхідним мікроелементом для рослинного організму (Ort, Govindjee, 1982; White & Broadley, 2001; Chen et al., 2008; Franco-Navarro et al., 2016; Eisenach, De Angeli, 2017). Його фізіологічна роль пов'язана з участю у низці обмінних процесів, найважливішим серед яких є фотосинтез. Хлорид-іон бере безпосередню участь у функціонуванні фотосистеми II, де виступає ключовим фактором розщеплення води та виділення кисню (Ort, Govindjee, 1982). Окрім цього, хлор відіграє роль у регуляції протонної помпи тонопласта і формуванні електричних потенціалів клітини, впливаючи на збудливість клітинної мембрани (White & Broadley, 2001), специфічно діє на функціонування  $H^+$ -АТФ-ази тонопласта. У вакуолях він виступає як осмотично активний аніон, який забезпечує осмотичну та тургорну регуляцію, а також впливає на роботу замикальних клітин продихів, відіграючи важливу роль у водному обміні (Chen et al., 2008; Eisenach & De Angeli, 2017; Franco-Navarro et al., 2016).

Разом із цим, варто зазначити, що перевищення оптимального рівня хлору в листках призводить до розвитку фітотоксичної дії, яка може проявлятися у формі некрозів, деформацій листків, зниження фотосинтетичної активності та пригнічення росту (Zimmerman, 1955; Guderian, 1979; Treshou, 1988). Навіть короточасні високі експозиції хлористого газу викликають стійкий ефект на фізіологічні та морфологічні зміни *Pinus ponderosa* *Pseudotsuga menziesii* (Schreuder & Brewer, 2001a, 2001b). Несприятливий вплив хлоридного забруднення визначали R. Vijayan, S.J. Bedi (1989) на стан фруктових дерев.

Таким чином, на тлі природного вмісту хлору, який забезпечує життєдіяльність, його надлишкове накопичення у листках деревних рослин є ознакою техногенного забруднення і може бути використане як індикатор стану повітряного середовища та адаптаційного потенціалу конкретних видів рослин.

Як свідчать отримані результати (табл. 6.3), кількість хлору в листках дерев у всіх досліджених захисних зелених насадженнях промислових підприємств більша, ніж у контрольному варіанті. Різниця є статистично достовірною на рівні значущості  $p \leq 0,05$ , за винятком значень для *Populus nigra* та *Morus alba*, які зростають у межах зеленої зони Трансформаторного заводу. Відомо, що газоподібні хлоридні сполуки рослини поглинають через продихи листків, однак у невеликому обсязі вони можуть проникати і через епідерміс за певних умов (Desler, 1981).

Різниця у кількості хлору в листі суттєвої частки деревних рослин захисних зелених масивів таких пар заводів, як «Запоріжсталь» – «Феросплавів», «Укрграфіт» – Абразивний, а також Алюмінієвий – Абразивний комбінати визначена статистично недостовірною. Можливо, такі результати пояснюються близькістю розташуванням цих підприємств і спільністю впливу поллютантів.

Найвищі значення вмісту хлору зафіксовано в листках дерев, що зростають у зоні впливу Титано-магнієвого комбінату, виробничий цикл якого безпосередньо передбачає використання хлору (Eydenzon, 1964; Habashi, 2016; Bordbar et al., 2017). За рядом повідомлень, можливі неорганізовані викиди даного поллютанта.

Слід зазначити, що деякими дослідниками встановлена пряма залежність між кількістю хлору у фумігаційній камері під час газациї і вмістом його в рослинах (Ількун, 1978). На пробних ділянках поруч із промисловими підприємствами, що викидають у атмосферне повітря більше хлоридів, у листках *Platanus orientalis* акумулюється більше хлору (Капелюш і Бессонова, 2007). Як вказують В. І. Парпан і Г. В. Юхимчук (1984), вміст хлору в листках зменшується із віддаленням від джерела викидів.

Таблиця 6.3

Показники кількості хлору в листках дерев захисних насаджень аводів м. Запоріжжя, мг % абсолютно-сухої маси, (x ± SE, n = 4)

Вид рослин	Контроль	Промислові підприємства							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Acer negundo</i>	0,20±0,008 <sup>a</sup>	1,17±0,025 <sup>b</sup>	0,51±0,016 <sup>c</sup>	0,59±0,016 <sup>d</sup>	–	0,58±0,019 <sup>cd</sup>	0,60±0,020 <sup>de</sup>	0,90±0,024 <sup>f</sup>	
<i>Acer platanoides</i>	0,23±0,007 <sup>a</sup>	0,98±0,024 <sup>b</sup>	0,45±0,014 <sup>c</sup>	0,46±0,013 <sup>cd</sup>	–	0,54±0,017 <sup>e</sup>	0,58±0,018 <sup>ef</sup>	0,80±0,019 <sup>g</sup>	0,41±0,013 <sup>cd</sup>
<i>Aesculus hippocastanum</i>	0,18±0,006 <sup>a</sup>	0,59±0,014 <sup>b</sup>	0,33±0,011 <sup>c</sup>	0,36±0,012 <sup>cd</sup>	0,39±0,015 <sup>de</sup>	0,40±0,013 <sup>de</sup>	0,38±0,011 <sup>de</sup>	0,48±0,014 <sup>f</sup>	0,29±0,009 <sup>c</sup>
<i>Ailanthus altissima</i>	0,25±0,008 <sup>a</sup>	1,05±0,021 <sup>b</sup>	0,42±0,014 <sup>c</sup>	–	0,52±0,017 <sup>e</sup>	0,52±0,015 <sup>e</sup>	0,58±0,017 <sup>ef</sup>	0,87±0,021 <sup>g</sup>	0,40±0,014 <sup>c</sup>
<i>Armeniaca vulgaris</i>	0,17±0,007 <sup>a</sup>	0,72±0,016 <sup>b</sup>	–	0,40±0,015 <sup>cd</sup>	–	–	0,60±0,018 <sup>e</sup>	–	0,29±0,012
<i>Betula pendula</i>	0,15±0,006 <sup>a</sup>	0,60±0,014 <sup>b</sup>	0,33±0,010 <sup>c</sup>	0,35±0,012 <sup>cd</sup>	0,31±0,011 <sup>cd</sup>	0,37±0,015 <sup>de</sup>	0,39±0,012 <sup>df</sup>	0,50±0,016 <sup>g</sup>	0,27±0,011 <sup>e</sup>
<i>Catalpa bignonioides</i>	0,16±0,010 <sup>a</sup>	0,80±0,017 <sup>b</sup>	0,36±0,13 <sup>c</sup>	0,33±0,014 <sup>cd</sup>		0,48±0,17 <sup>e</sup>	0,42±0,013 <sup>ef</sup>	0,56±0,014 <sup>g</sup>	0,28±0,013 <sup>d</sup>
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	0,21±0,011 <sup>a</sup>	0,48±0,012 <sup>b</sup>	0,30±0,012 <sup>c</sup>	0,28±0,011 <sup>cd</sup>	0,42±0,014 <sup>e</sup>	–	0,39±0,012 <sup>ef</sup>	0,46±0,012 <sup>be</sup>	0,29±0,011 <sup>cd</sup>
<i>Fraxinus lanceolata</i>	0,24±0,007 <sup>a</sup>	0,99±0,022 <sup>b</sup>	–	–	0,56±0,016 <sup>cd</sup>	0,52±0,018 <sup>de</sup>	0,52±0,016 <sup>de</sup>	0,71±0,017 <sup>f</sup>	0,33±0,012
<i>Juglans regia</i>	0,17±0,009 <sup>a</sup>	0,72±0,019 <sup>b</sup>	0,39±0,015 <sup>c</sup>	0,34±0,014 <sup>cd</sup>	–	–	0,61±0,017 <sup>e</sup>	0,51±0,013 <sup>f</sup>	0,34±0,010 <sup>cd</sup>
<i>Malus sylvestris</i>	0,23±0,010 <sup>a</sup>	0,58±0,015 <sup>b</sup>	0,30±0,013 <sup>c</sup>	0,29±0,012 <sup>cd</sup>	–	–	–	–	–
<i>Morus alba</i>	0,23±0,009 <sup>a</sup>	0,73±0,018 <sup>b</sup>	0,40±0,014 <sup>c</sup>	0,35±0,015 <sup>cd</sup>	0,31±0,015 <sup>de</sup>	0,36±0,013 <sup>cd</sup>	0,40±0,013 <sup>cd</sup>	0,61±0,019 <sup>f</sup>	0,26±0,008 <sup>ae</sup>
<i>Platanus orientalis</i>	0,20±0,007 <sup>a</sup>	–	–	–	–	–	–	0,42±0,014 <sup>b</sup>	–
<i>Populus alba</i>	0,17±0,008 <sup>a</sup>	0,70±0,015 <sup>b</sup>	0,38±0,011 <sup>c</sup>	–	0,40±0,012 <sup>cd</sup>	0,33±0,017 <sup>ce</sup>	0,38±0,014 <sup>cd</sup>	0,52±0,016 <sup>f</sup>	0,32±0,011 <sup>e</sup>
<i>Populus nigra</i>	0,17±0,011 <sup>a</sup>	0,49±0,014 <sup>b</sup>	0,31±0,013 <sup>c</sup>	–	0,33±0,010 <sup>cd</sup>	0,30±0,015 <sup>cd</sup>	0,33±0,011 <sup>cd</sup>	0,39±0,014 <sup>e</sup>	0,25±0,009 <sup>ae</sup>
<i>Populus simonii</i>	0,21±0,006 <sup>a</sup>	0,68±0,012 <sup>b</sup>	0,36±0,015 <sup>c</sup>	–	0,39±0,011 <sup>cd</sup>	0,30±0,011 <sup>e</sup>	0,32±0,013 <sup>ce</sup>	0,48±0,012 <sup>f</sup>	0,28±0,010 <sup>e</sup>
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,21±0,08 <sup>a</sup>	0,95±0,021 <sup>b</sup>	0,38±0,012 <sup>c</sup>	0,39±0,016 <sup>d</sup>	0,48±0,013 <sup>e</sup>	0,50±0,014 <sup>ef</sup>	0,56±0,015 <sup>fg</sup>	0,71±0,019 <sup>h</sup>	0,36±0,011 <sup>cd</sup>
<i>Salix alba</i>	0,22±0,007 <sup>a</sup>	0,45±0,012 <sup>b</sup>	0,32±0,011 <sup>c</sup>	0,30±0,013 <sup>cd</sup>	0,46±0,015 <sup>be</sup>	–	0,30±0,012 <sup>cd</sup>	0,40±0,015 <sup>be</sup>	0,36±0,014 <sup>cd</sup>
<i>Tilia cordata</i>	0,25±0,008 <sup>a</sup>	0,97±0,020 <sup>b</sup>	0,44±0,014 <sup>c</sup>	0,48±0,015 <sup>cd</sup>	0,45±0,011 <sup>cd</sup>	0,59±0,015 <sup>e</sup>	0,53±0,015 <sup>de</sup>	0,76±0,021 <sup>f</sup>	0,40±0,013 <sup>ce</sup>
<i>Ulmus pumila</i>	0,24±0,007 <sup>a</sup>	0,62±0,016 <sup>b</sup>	0,32±0,015 <sup>c</sup>	0,42±0,012 <sup>d</sup>	0,43±0,012 <sup>de</sup>	0,40±0,011 <sup>de</sup>	0,42±0,014 <sup>de</sup>	0,51±0,016 <sup>f</sup>	0,34±0,012 <sup>c</sup>
<i>Ulmus laevis</i>	0,22±0,009 <sup>a</sup>	0,63±0,014 <sup>b</sup>	0,36±0,011 <sup>c</sup>	–	0,44±0,014 <sup>d</sup>	–	0,41±0,01 <sup>de</sup>	–	–

Примітки:

«–» цей вид дерев відсутній; 2) однакові латинські букви означають статистично незначущі розбіжності середніх у ряді на основі результатів використання тесту Т'юкі (P < 0,05); 3) промислові підприємства: 1 – Титано-магнієвий комбінат; 2 – «Укрграфіт»; 3 – Абразивний комбінат; 4 – Алюмінієвий завод; 5 – «Феросплавів»; 6 – «Запоріжсталь»; 7 – «Вогнетрив»; 8 – Трансформаторний завод

На підставі отриманих нами результатів підприємства можна ранжувати за рівнем акумуляції хлору в листках рослин, що опосередковано відображає ступінь забруднення повітря: Титано-магнієвий комбінат > «Вогнетрив» > «Запоріжсталь» ≥ «Феросплавів» > Алюмінієвий комбінат ≥ Абразивний комбінат ≥ «Укрграфіт» > Трансформаторне підприємство.

Порівняння вмісту хлору в листках різних видів деревних рослин свідчить про видову специфіку їх здатності до акумуляції фітотоксиканта. У переважній більшості випадків зберігається стабільна ієрархія видів за накопиченням хлору, проте для окремих видів на різних ділянках зафіксовано певні відхилення, що можуть бути зумовлені віковою структурою, станом деревостану або локальними умовами середовища. Згідно з отриманими даними, максимальний вміст хлору у листках виявлено у таких видів: *Acer platanoides*, *Fraxinus lanceolata*, *Acer negundo*, *Armeniaca vulgaris*, *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Tilia cordata*. Найменші показники зафіксовано у *Malus sylvestris*, *Platanus orientalis*, *Salix alba*, *Elaeagnus angustifolia*, *Populus nigra*. Проміжні значення спостерігались у *Betula pendula*, *Ulmus laevis*, *Morus alba*, *Aesculus hippocastanum*, *Populus alba*, *Juglans regia*, *Catalpa bignonioides*, *Populus simonii*, *Ulmus pumila*.

Слід звернути увагу на абсолютний вміст хлору в рослинних органах, і перш за все – в листі. Високі його значення свідчать про потенціал дерев до виконання середовищеочисної функції. Найбільшу здатність до акумуляції хлору, і відповідно – до очищення повітря, мають рослини першої групи, які зазначені вище. Вміст фітотоксиканту в їхніх листках у зеленій зоні Титано-магнієвого комбінату перевищував 0,90 % абсолютно сухої маси. Ці види можуть бути рекомендовані як ефективні накопичувачі хлоридів у межах захисних зелених насаджень промислових підприємств.

З позицій фітоіндикації забруднення атмосферного повітря хлоридами важливим є індекс відносного їх нагромадження – відношення кількості елемента в листі рослин у заводській зоні до його кількості в контрольній зоні. Найвищі показники коефіцієнту визначені у таких видів дерев: *Acer negundo*, *Catalpa bignonioides*, *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* (рис. 6.3), що дає підстави вважати їх ефективними фітоіндикаторами хлоридного забруднення. Найнижчі значення індексу відносного накопичення хлору встановлено у *Malus sylvestris*, *Salix alba*, *Morus alba* та *Elaeagnus angustifolia*.

Отже, в листі дерев захисних деревостанів, що створені у СЗЗ індустріальних виробництв м. Запоріжжя, накопичення хлору, триває протягом усього вегетаційного періоду, найбільш активно збільшується кількість токсиканту в молодих листках, які вже завершили ріст. Максимальна концентрація поллютанта спостерігається в кінці вегетації.

У захисних зелених зонах усіх досліджених заводів виявлено вищий вміст хлору в листках дерев у порівнянні з контролем, що свідчить про виражений вплив техногенного навантаження. За ступенем забруднення повітря хлоридами, підприємства можна ранжувати у такому порядку: Трансформаторний завод < «Укрграфіт» ≤ Абразивний комбінат ≤ Алюмінієвий комбінат < Феросплавів» ≤ «Запоріжсталь» < «Вогнетрив» < Титано-магнієвий комбінат.

Таким чином, на підставі отриманих даних можна констатувати, що відповідно до рівня акумуляції хлору, види деревних рослин поділяються на три групи: I група – високий рівень накопичення: *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Ailanthus altissima*, *Armeniaca vulgaris*, *Fraxinus lanceolata*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia cordata*; II група – середній рівень: *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Catalpa bignonioides*, *Juglans regia*, *Morus alba*, *Populus alba*, *Populus simonii*, *Ulmus pumila*, *Ulmus laevis*; III група – низький рівень: *Salix alba*, *Populus nigra*, *Malus sylvestris*, *Elaeagnus angustifolia*, *Platanus orientalis*. З урахуванням стійкості рослин першої групи і деякі другої можуть бути рекомендовані як ефективні очищувачі повітря від хлоридних поллютантів у промислових районах.

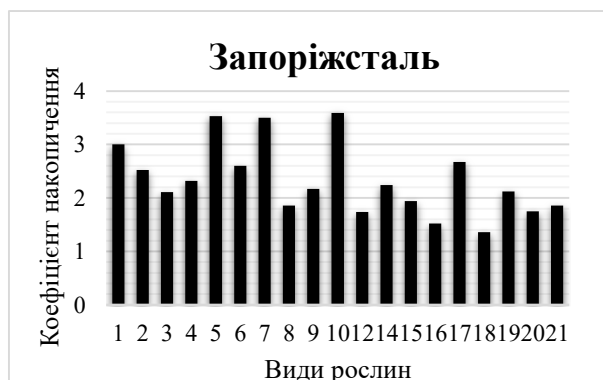
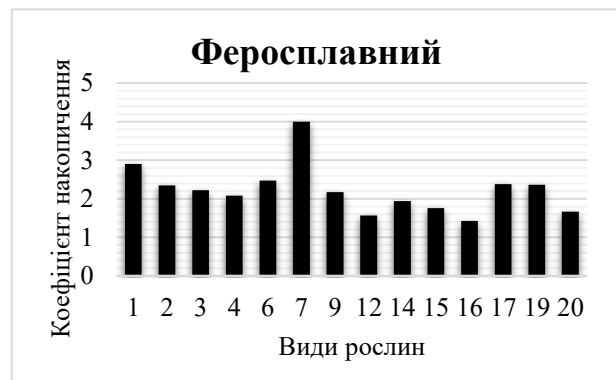
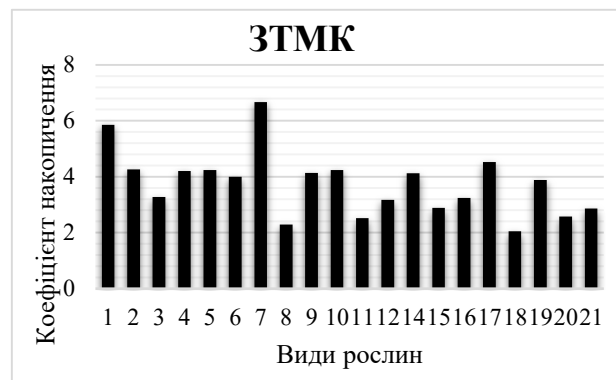


Рис. 6.3 – Коефіцієнт відносного накопичення хлору (1 – *Acer negundo*; 2 – *Acer platanoides*; 3 – *Aesculus hippocastanum*; 4 – *Ailanthus altissima*; 5 – *Armeniaca vulgaris*; 6 – *Betula pendula*; 7 – *Catalpa bignonioides*; 8 – *Elaeagnus angustifolia*; 9 – *Fraxinus lanceolata*; 10 – *Juglans regia*; 11 – *Malus sylvestris*; 12 – *Morus alba*; 13 – *Platanus orientalis*; 14 – *Populus alba*; 15 – *Populus nigra*; 16 – *Populus simonii*; 17 – *Robinia pseudoacacia*; 18 – *Salix alba*; 19 – *Tilia cordata*; 20 – *Ulmus carpiniifolia*; 21 – *Ulmus laevis*)

Найвищі значення коефіцієнта відносного накопичення хлору виявлено у листках *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Juglans regia*, *Catalpa bignonioides*. Ці рослини доцільно вважати перспективними фітоіндикаторами хлоридного забруднення. Найнижчі значення цього показника виявлені у *Salix alba*, *Malus sylvestris*, *Elaeagnus angustifolia*, *Morus alba*, що свідчить про їх обмежену інформативність у якості біоіндикаторів хлоридного забруднення.

### **6.3 Накопичення у листі деревних рослин захисних зелених насаджень заводів водорозчинних фенолів**

Феноли належать до числа надзвичайно небезпечних і дуже поширених забруднювачів промислових емісій (; Gami et al., 2014, Lin et al., 2008). Фенольні сполуки викидаються в атмосферне повітря у результаті функціонування деревообробних і меблевих виробництв, коксохімічних підприємств, газогенераторних станцій, заводів пластмас (Поліщук та ін., 2012). Окрім цього, феноли утворюються під час пожеж, а також із вихлопних газів неповного згоряння палива автомобілів. Їхня присутність в екосистемах є результатом деградації низки пестицидів та спряжена з виробництвом цих сполук (Michałowicz, Duda, 2007).

Фенольні сполуки мають токсичну, мутагенну та канцерогенну дію на організм людини і тварин (Lin et al., 2008; Gami et al., 2014; Ghorani-Azam et al., 2016; Liu et al., 2018). Тому застосування рослин у фіторе mediaції та очищенні повітря від фенолів вважається важливим і перспективним напрямом.

З метою визначення строків найінтенсивнішого нагромадження водорозчинних фенолів у листі досліджуваних рослин проаналізовано хід даного процесу в умовах контрольних зелених масивів і захисних насаджень Коксохімічного заводу, що є одним із основних джерел викидів фенольних сполук. Значному надходженню їх у довкілля сприяє технологія виготовлення коксу (Долина та ін., 2013; Поліщук та ін., 2012).

Перший пік концентрації водорозчинних фенолів у листі рослин контролю зафіксовано в період припинення ростових процесів (червень). Далі спостерігалось тимчасове зниження, а наприкінці вегетації у старіючих листках виявлялося друге підвищення концентрації цих сполук (рис. 6.4). Подібну динаміку описано і в роботі (Kavelenova et al., 2001), де встановлено, що у *Betula pendula* перший пік вмісту фенолів припадає на травень, а другий – на серпень–вересень. Ці дослідники здійснювали спостереження за різних умов освітлення, вологості та щільності ґрунту. В урбогенних умовах, за даними згаданих авторів, також спостерігається двохвильова динаміка, хоча концентрації фенолів мало відрізняються у листках рослин в умовах міста і на замських ділянках, що може свідчити про низький рівень фактичного забруднення повітря цими сполуками у точках дослідження. Автори, втім, не вказують дані про фактичний рівень забруднення, що ускладнює інтерпретацію результатів.

У зелених насадженнях заводу «Коксохім», де повітря забруднене фенольними сполуками, спостерігається безперервне поступове накопичення фенолів у листках деревних рослин, однак темпи їх акумуляції протягом онтогенезу листка варіюють. Як показано на рис. 6.4, найбільш інтенсивне поглинання цих сполук відбувається молодими листками. Аналогічно, за результатами попередніх досліджень, встановлено, що сірка також найінтенсивніше акумулюється в молодих листках, ріст яких вже припинився (Sklyarenko & Bessonova, 2018). Незважаючи на те, що кількість фенолів у листках підвищується протягом усієї вегетації, темпи збільшення в міру старіння листків сповільнюються. Найбільший вміст водорозчинних фенолів зафіксовано в кінці вегетаційного періоду, що узгоджується з даними, отриманими для інших деревних видів поблизу джерел забруднення (Sklyarenko & Bessonova, 2018; Долгова, Козюкіна, 1972; Тарабрін та ін., 1986; Капелюш, Бессонова, 2007).

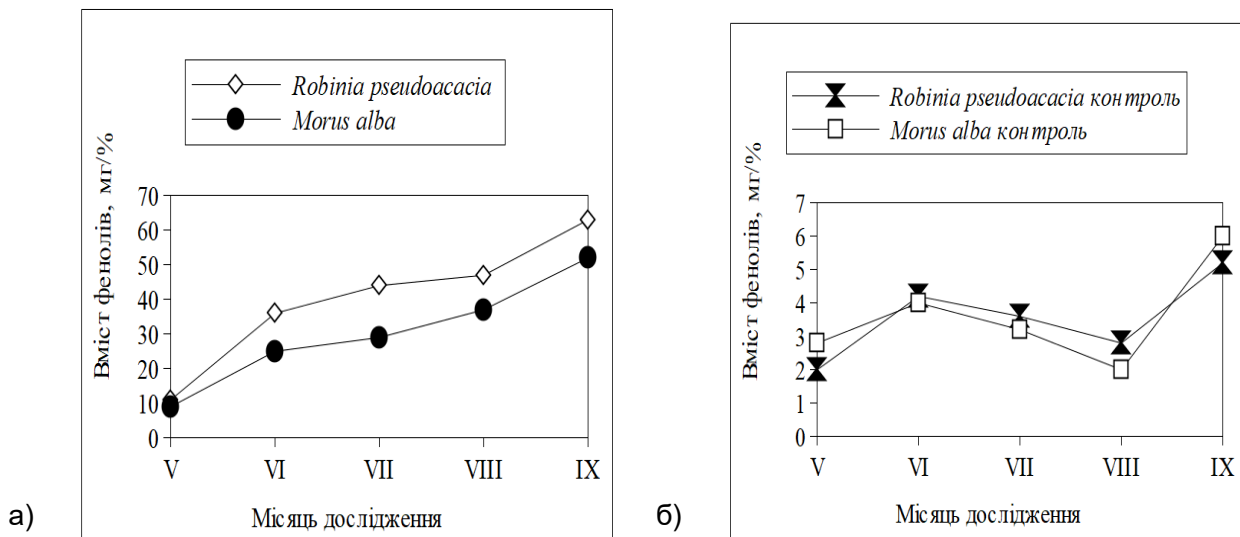


Рис. 6.4 – Акумуляція водорозчинних фенолів в листках дерев : а) захисних насаджень Коксохімічного заводу, б) контрольних насаджень

З огляду на це, подальше дослідження фенолнакопичувальної здатності листків різних видів проводилось наприкінці вегетації. У табл. 6.4 наведено дані з кількості водорозчинних фенолів у листі вивчаємих видів деревних рослин, що зростають на контрольній ділянці та в умовах санітарно-захисних насаджень промислових підприємств. У контрольному варіанті наприкінці вересня вміст фенолів в залежності від породи дерева виражається величиною від мінімальної 4,56 до максимальної 16,20 мг/% абсолютно сухої маси. У всіх досліджуваних видів дерев захисних зелених насаджень вміст фенолів у листках достовірно перевищує значення контролю ( $p < 0,05$ ), за винятком видів *Populus pyramidalis* та *Juglans regia*, які ростуть у зеленому масиві Трансформаторного заводу (табл. 6.4).

Фенольні сполуки можуть надходити як в листки, так і в корені рослини. В листки вони проникають через епідерміс, кутикулу, а в найбільшій мірі через продихи, (Ugrekheldze & Tsevelidze, 1967; Towers, 1968; Glass & Bohm, 1971; Ugrekheldze, 1976; Ugrekheldze, & Kavtaradze, 1979; Agostini et al., 2010; Тарабрін та ін., 1986), завдяки високій розчинності в ліпідах (Banerjee & Roychoudhury, 2019). Оскільки фенольні сполуки є малорухливими, вони, здебільшого, іммобілізуються в органах, у які безпосередньо надходять з повітря, зокрема в листках. Це робить вміст фенолів у листовій масі інформативним індикатором ступеня атмосферного забруднення. Водночас слід враховувати, що частина фенолів піддається метаболічним перетворенням: зокрема, утворенням  $\beta$ -глюкозидів. Чужеродні монофеноли можуть детоксифікуватися утворенням кон'югатів з пептидами, а також можливим повним розщепленням ароматичного кільця до  $CO_2$ . Вважається, що клітинна стінка відіграє важливу роль у детоксикації фенолів у рослинах.

За рівнем акумуляції фенолів у листках рослин захисних насаджень усі представники роду *Populus* L. віднесені до групи з високим вмістом токсиканту, *Acer* L. – до групи із середнім рівнем, а види роду *Ulmus* L. демонструють різні характеристики: *Ulmus laevis* має середній рівень накопичення, тоді як *Ulmus pumila* – мінімальний. Порівняльний аналіз вмісту фенольних сполук у листках різних видів деревних рослин, що зростають у санітарно-захисних лісосмугах промислових підприємств, свідчить про наявність видової специфіки накопичення поллютантів. Згідно з отриманими даними (табл. 6.4), найвищий вміст фенолу зафіксовано в листках *Ailanthus altissima*, *Elaeagnus angustifolia*, *Juglans regia*, *Betula pendula*, *Populus simonii*, *Populus nigra*, *Populus pyramidalis*, *Populus alba*. Навпаки, найменша кількість токсиканта виявлена у *Armeniaca vulgaris*, *Morus alba*, *Fraxinus lanceolata*, *Robinia*

*pseudoacacia*, *Tilia cordata*, *Ulmus pumila*. Між цими двома групами за рівнем накопичення фенолу знаходяться види з проміжними показниками: *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Catalpa bignonioides*, *Salix alba*, *Ulmus laevis*. Типово, що на територіях СЗЗ більшості підприємств простежується загальна тенденція щодо ранжування видів дерев за здатністю до акумуляції поллютанта, хоча в окремих випадках трапляються відхилення від загальної послідовності.

Вищий абсолютний вміст фенолів у листках рослин в умовах техногенного навантаження вказує на більш виражену атмосфероочисну функцію. До таких ефективних фітоакумуляторів належать представники першої групи.

Аналіз таблиці 6.4 демонструє, що у рослин однакових порід дерев у захисних зелених зонах підприємств «Запоріжсталь» і «Феросплавів» відмінності у кількості водорозчинних фенолів у листках статистично недостовірні. Однак у деяких видів – *Catalpa bignonioides*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Salix alba* – їх концентрація в листках дерев захисних насаджень підприємства «Запоріжсталь» вища. Близькі показники вмісту водорозчинних фенолів спостерігаються в листках одних і тих самих видів рослин, які ростуть у санітарних зонах Абразивного і Титано-магнієвого комбінатів, що, імовірно, пояснюється відносно низьким рівнем забруднення атмосферного повітря фенолами в цих районах.

За ступенем забруднення атмосферного повітря фенолами санітарно-захисні зелені зони підприємств (опосередковано через концентрацію цих сполук у листках дерев), можна впорядкувати в такій послідовності: Трансформаторний завод < Абразивний комбінат < Титано-магнієвий комбінат < Алюмінієвий комбінат < «Укрграфіт» < «Вогнетрив» < «Феросплав» ≤ «Запоріжсталь» < «Коксохім». Отже, максимальна кількість водорозчинних фенольних сполук зафіксована в листках дерев, що зростають у захисних насадженнях заводів: «Коксохім», «Феросплавів», «Запоріжсталь» і «Вогнетрив». Це узгоджується з літературними даними про найвищу інтенсивність викидів фенолів у процесі виробництва на перших трьох типах підприємств (Фещенко, Каменєва, 2016).

Для здійснення фітоіндикації рівня забруднення фенолами атмосферного повітря, ефективним критерієм виступає коефіцієнт відносного його накопичення, що відображає співвідношення вмісту поллютанта у листках на забруднених ділянках до контрольного значення. Найвищі значення цього коефіцієнта визначені для *Acer negundo*, *Catalpa bignonioides*, *Betula pendula*, *Elaeagnus angustifolia*, *Fraxinus lanceolata*, *Ailanthus altissima*, *Populus simonii* та *Ulmus laevis* (рис. 6.5). Саме ці види рослин рекомендовано застосовувати як інформативні фітоіндикатори забруднення атмосфери фенольними сполуками. Натомість найнижчі значення коефіцієнта відносного накопичення цього забруднювача довіклля зафіксовано у таких видів дерев, як *Acer platanoides*, *Ulmus pumila*, *Aesculus hippocastanum*, *Armeniaca vulgaris* та *Morus alba*.

Таким чином, концентрація водорозчинних фенолів у листках деревних рослин, що зростають у захисних зелених зонах промислових підприємств, вища за показники контрольної ділянки. За інтенсивністю їх накопичення в асиміляційних органах, а отже й за рівнем забруднення повітря фенолами, санітарно-захисні зони підприємств можна впорядкувати в такій послідовності: «Коксохім» > «Запоріжсталь» ≥ «Феросплавів» > «Вогнетрив» > «Укрграфіт» > Алюмінієвий комбінат > Титано-магнієвий комбінат > Абразивний завод > Трансформаторний завод. Серед усіх проаналізованих деревних порід найвищу фенолнакопичуючу здатність продемонстрували листки таких видів, як: *Ailanthus altissima*, *Elaeagnus angustifolia*, *Juglans regia*, *Populus alba*, *Populus pyramidalis*, *Populus nigra*, *Populus simonii*. Їх доцільно рекомендувати для формування насаджень санітарно-гігієнічного призначення на територіях з підвищеним рівнем фенолів в атмосферному повітрі.

Таблиця 6.4

Показники кількості водорозчинних фенолів у листі дерев захисних насаджень заводів м. Запоріжжя, мг /% абсолютної сухої маси, (M ± m, n = 4)

Вид рослин	Контроль	Промислові підприємства								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Acer negundo</i>	6,00±0,38 <sup>a</sup>	22,86±0,52 <sup>b</sup>	43,44±0,82 <sup>c</sup>	–	–	–	85,86±1,24 <sup>d</sup>	66,06±1,02 <sup>e</sup>	–	103,68±1,58 <sup>f</sup>
<i>A.platanoides</i>	6,90±0,37 <sup>a</sup>	24,24±0,50 <sup>b</sup>	24,12±0,52 <sup>bc</sup>	19,26±0,46 <sup>d</sup>	34,56±0,67 <sup>e</sup>	83,46±1,21 <sup>f</sup>	86,16±1,29 <sup>g</sup>	77,64±1,10 <sup>h</sup>	13,80±0,48 <sup>i</sup>	110,34±1,64 <sup>j</sup>
<i>A.hippocastanum</i>	5,82±0,32 <sup>a</sup>	16,92±0,47 <sup>b</sup>	–	11,46±0,45 <sup>c</sup>	12,84±0,40 <sup>cd</sup>	48,18±0,87 <sup>e</sup>	43,92±0,85 <sup>f</sup>	66,36±1,08 <sup>g</sup>	11,46±0,45 <sup>cd</sup>	54,66±0,96 <sup>h</sup>
<i>A. altissima</i>	12,66±0,44 <sup>a</sup>	102,84±1,55 <sup>b</sup>	–	–	61,92±1,03 <sup>c</sup>	178,32±2,20 <sup>d</sup>	193,08±2,48 <sup>e</sup>	151,08±2,04 <sup>f</sup>	32,40±0,59 <sup>g</sup>	270,54±3,15 <sup>h</sup>
<i>A. vulgaris</i>	6,48±0,39 <sup>a</sup>	13,62±0,42 <sup>b</sup>	–	25,50±0,53 <sup>c</sup>	–	30,36±0,64 <sup>d</sup>	34,02±0,68 <sup>e</sup>	–	12,06±0,44 <sup>b</sup>	–
<i>Betula pendula</i>	6,66±0,31 <sup>a</sup>	31,56±0,60 <sup>b</sup>	61,98±1,04 <sup>c</sup>	24,84±0,51 <sup>d</sup>	–	109,74±1,58 <sup>e</sup>	121,08±1,74 <sup>f</sup>	94,32±1,32 <sup>g</sup>	17,04±0,49 <sup>h</sup>	163,56±2,17 <sup>i</sup>
<i>C.bignonioides</i>	5,88±0,36 <sup>a</sup>	25,68±0,59 <sup>b</sup>	39,62±0,66 <sup>c</sup>	29,30±0,58 <sup>d</sup>	30,12±0,65 <sup>de</sup>	78,84±1,15 <sup>f</sup>	76,92±1,18 <sup>g</sup>	86,34±1,24 <sup>h</sup>	12,54±0,48 <sup>i</sup>	104,28±1,58 <sup>j</sup>
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	7,38±0,36 <sup>a</sup>	35,58±0,64 <sup>b</sup>	49,38±0,86 <sup>c</sup>	37,44±0,65 <sup>bd</sup>	37,26±0,66 <sup>bd</sup>	122,16±1,74 <sup>e</sup>	116,22±1,64 <sup>ef</sup>	97,86±1,44 <sup>g</sup>	14,22±0,47 <sup>h</sup>	151,74±2,13 <sup>i</sup>
<i>Fraxinus lanceolata</i>	4,56±0,36 <sup>a</sup>	16,5±0,46 <sup>b</sup>	27,06±0,55 <sup>c</sup>	–	21,84±0,56 <sup>d</sup>	54,18±0,96 <sup>e</sup>	45,84±0,84 <sup>f</sup>	38,22±0,63 <sup>g</sup>	11,58±0,46 <sup>h</sup>	68,94±1,05 <sup>i</sup>
<i>Juglans regia</i>	12,06±0,44 <sup>a</sup>	61,86±1,05 <sup>b</sup>	–	45,66±0,88 <sup>c</sup>	92,16±1,41 <sup>d</sup>	115,68±1,69 <sup>e</sup>	132,84±1,86 <sup>f</sup>	110,46±1,64 <sup>f</sup>	13,08±0,49 <sup>ag</sup>	–
<i>Morus alba</i>	6,90±0,34 <sup>a</sup>	12,96±0,49 <sup>b</sup>	23,88±0,58 <sup>c</sup>	13,68±0,46 <sup>bd</sup>	16,92±0,49 <sup>e</sup>	30,48±0,68 <sup>f</sup>	34,50±0,63 <sup>g</sup>	30,48±0,65 <sup>f</sup>	10,44±0,43 <sup>g</sup>	51,06±0,93 <sup>h</sup>
<i>Populus alba</i>	12,96±0,47 <sup>a</sup>	61,20±1,09 <sup>b</sup>	74,22±1,20 <sup>c</sup>	–	68,70±1,02 <sup>d</sup>	–	164,16±2,10 <sup>e</sup>	122,46±1,72 <sup>f</sup>	–	–
<i>Populus nigra</i>	16,20±0,49 <sup>a</sup>	49,44±0,80 <sup>b</sup>	103,32±1,50 <sup>c</sup>	–	92,64±1,44 <sup>d</sup>	190,02±2,47 <sup>e</sup>	182,58±2,35 <sup>ef</sup>	167,10±2,14 <sup>g</sup>	–	230,88±2,86 <sup>h</sup>
<i>Populus pyramidalis</i>	11,40±0,44 <sup>a</sup>	–	56,64±0,94 <sup>b</sup>	–	49,92±0,84 <sup>c</sup>	161,04±2,14 <sup>d</sup>	–	123,84±1,79 <sup>e</sup>	14,70±0,47 <sup>af</sup>	182,58±2,31 <sup>g</sup>
<i>Populus simonii</i>	10,80±0,46 <sup>a</sup>	43,02±0,84 <sup>b</sup>	81,72±1,21 <sup>c</sup>	–	67,98±1,09 <sup>d</sup>	–	145,20±1,92 <sup>e</sup>	111,96±1,64 <sup>f</sup>	28,86±0,56 <sup>g</sup>	170,64±2,29 <sup>h</sup>
<i>Robinia pseudoacacia</i>	5,22±0,36 <sup>a</sup>	18,78±0,46 <sup>b</sup>	30,30±0,62 <sup>c</sup>	18,66±0,45 <sup>bd</sup>	26,10±0,54 <sup>e</sup>	48,90±0,85 <sup>f</sup>	45,90±0,82 <sup>g</sup>	37,38±0,65 <sup>h</sup>	13,02±0,45 <sup>i</sup>	63,06±1,02 <sup>j</sup>
<i>Salix alba</i>	6,90±0,30 <sup>a</sup>	31,92±0,62 <sup>b</sup>	29,22±0,60 <sup>bc</sup>	24,84±0,54 <sup>d</sup>	23,04±0,59 <sup>de</sup>	54,30±0,91 <sup>f</sup>	55,26±0,95 <sup>g</sup>	47,28±0,82 <sup>h</sup>	15,54±0,44 <sup>i</sup>	–
<i>Tilia cordata</i>	5,04±0,32 <sup>a</sup>	16,20±0,44 <sup>b</sup>	21,72±0,53 <sup>c</sup>	13,92±0,43 <sup>d</sup>	18,30±0,54 <sup>be</sup>	42,48±0,89 <sup>f</sup>	44,82±0,81 <sup>g</sup>	36,78±0,65 <sup>h</sup>	10,68±0,41 <sup>i</sup>	54,54±0,98 <sup>j</sup>
<i>Ulmus pumila</i>	6,72±0,39 <sup>a</sup>	12,96±0,40 <sup>b</sup>	24,18±0,55 <sup>c</sup>	18,42±0,50 <sup>d</sup>	19,92±0,51 <sup>de</sup>	52,26±0,95 <sup>f</sup>	48,78±0,84 <sup>g</sup>	31,62±0,61 <sup>h</sup>	16,20±0,49 <sup>di</sup>	66,72±1,01 <sup>j</sup>
<i>Ulmus laevis</i>	4,98±0,34 <sup>a</sup>	16,32±0,41 <sup>b</sup>	30,54±0,62 <sup>c</sup>	17,94±0,47 <sup>bd</sup>	25,68±0,53 <sup>e</sup>	60,72±1,01 <sup>f</sup>	54,24±0,97 <sup>g</sup>	–	17,64±0,49 <sup>bd</sup>	–

Примітки:

- 1) «–» цей вид дерев відсутній; 2) однакові латинські букви означають статистично незначущі розбіжності середніх у ряді на основі результатів використання тесту Т'юкі (P < 0,05); 3) промислові підприємства: 1 – Титано-магнієвий комбінат; 2 – «Укрграфіт»; 3 – Абразивний комбінат; 4 – Алюмінієвий завод 5 – Феросплавний завод; 6 – «Запоріжсталь»; 7 – «Вогнетрив»; 8 – Трансформаторний завод; 9 – «Коксохім»

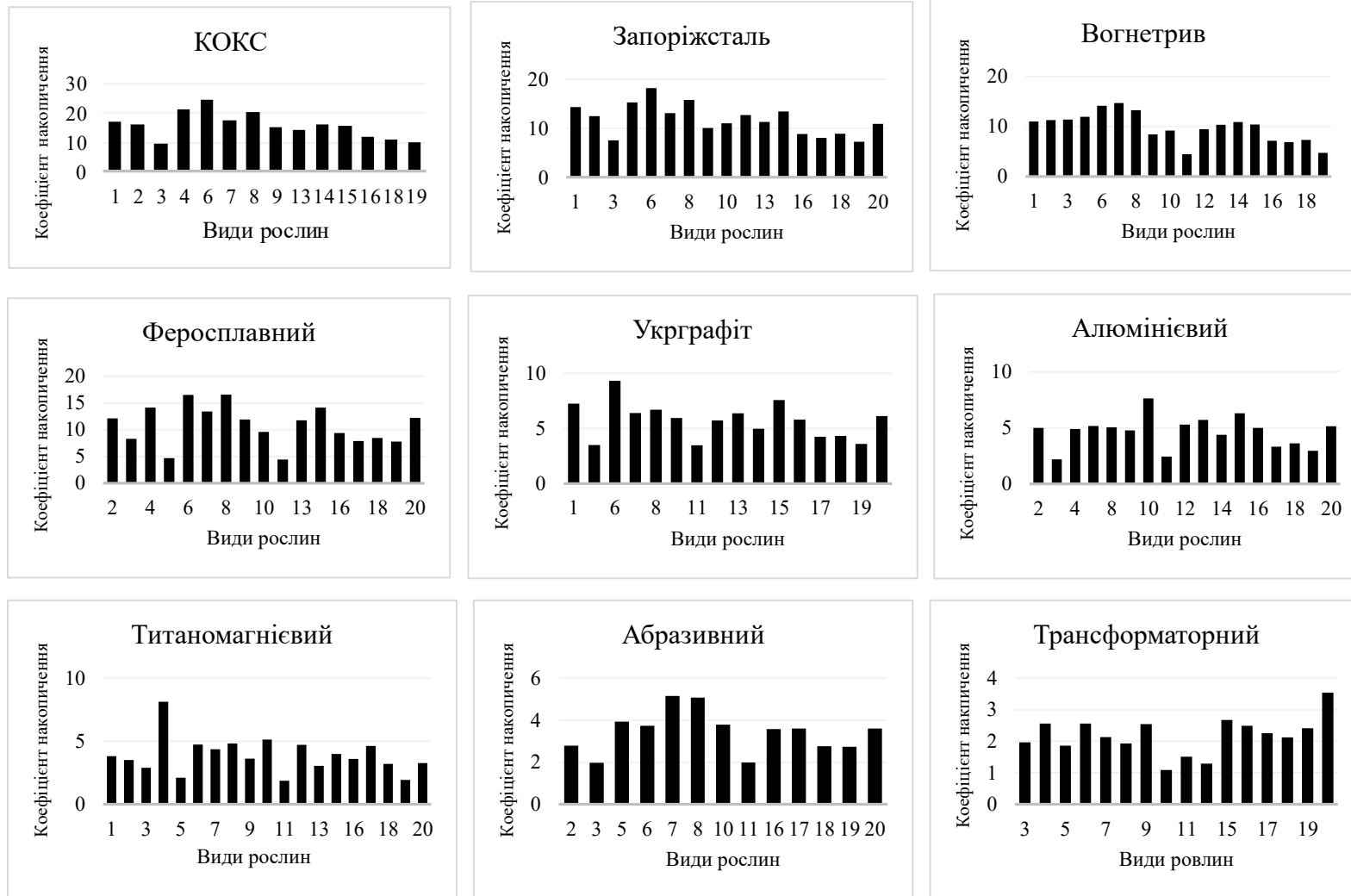


Рис. 6.5 – Коефіцієнт відносного накопичення розчинних фенолів (1 – *Acer negundo*, 2 – *Acer platanoides*, 3 – *Aesculus hippocastanum*, 4 – *Ailanthus altissima*, 5 – *Armeniaca vulgaris*, 6 – *Betula pendula*, 7 – *Catalpa bignonioides*, 8 – *Elaeagnus angustifolia*, 9 – *Fraxinus lanceolata*, 10 – *Juglans regia*, 11 – *Morus alba*, 12 – *Populus alba*, 13 – *Populus nigra*, 14 – *Populus pyramidalis*, 15 – *Populus simonii*, 16 – *Robinia pseudoacacia*, 17 – *Salix alba*, 18 – *Tilia cordata*, 19 – *Ulmus pumila*, 20 – *Ulmus laevis*)

Для листків дерев: *Catalpa bignonioides*, *Betula pendula*, *Ailanthus altissima*, *Elaeagnus angustifolia*, *Fraxinus lanceolata*, *Acer negundo*, *Populus simonii* та *Ulmus laevis* визначені найвищі значення індексу відносного накопичення розчинних фенолів. Перелічені рослини можуть виступати інформативними фітоіндикаторами фенольного забруднення атмосфери.

Загалом, отримані результати мають важливе прикладне значення і можуть бути використані як науково обґрунтований фундамент для підбору оптимального асортименту деревних рослин з метою модернізації зелених насаджень у санітарно-захисних зонах індустриальних виробництв, що забруднюють довкілля фенольними сполуками, та створення бази для моніторингових досліджень.

#### **6.4. Накопичення фтору у листі рослин захисних деревних насаджень промислових підприємств**

Фториди належать до числа небезпечних компонентів техногенного походження, що забруднюють атмосферне повітря. Основними джерелами їх викидів є підприємства кріолітової та металургійної промисловості (Vike, 2005; Ustin & Gamon, 2010), а також виробництва керамічних і емалевих матеріалів (Fornasiero, 2003), фосфорних добрив (Abdallah et al., 2006), цегли, скла, до них відносяться й енергетичні підприємства, які використовують вугілля як паливо (Ількун, 1978; Lorenzini et al., 1987; Manning & Feder, 1988). У повітрі фтор може перебувати як у газоподібному стані (наприклад, фтор F<sub>2</sub>, фтороводень), так і у вигляді аерозольних частинок, що містять фториди кальцію чи натрію (Artamanov, 1986; Weinstein & Davison, 2003).

Хоча більшість дослідників не вважає фтор життєво необхідним для рослин, у низці джерел зазначено його здатність стимулювати ріст у мікродозах (Ількун, 1978). Проте акумуляція фтору в рослинній біомасі має шкідливий вплив на стан рослинного покриву (Zimny, 1984; Morawitz et al., 2006; Приседський, 2019), викликаючи прояви токсичності. На рівні листової пластинки це проявляється, зокрема, у вигляді некротичних плям, хлорозів, опадання листя (Haidouti et al., 1993; Fornasiero, 2001; Vike, 2005; Rhimi et al., 2016). Флуоридне забруднення негативно позначається на прирості деревини, знижує загальний темп росту рослин та зменшує біомасу фітоценозів (Bunce, 1979), а також впливає на врожайність сільськогосподарських культур (Holevas, 1988; Szostek & Cieško, 2017).

Фториди є надзвичайно токсичними не лише для рослин, а й для людини та тварин. Вони визнані потенційно канцерогенними та мутагенними речовинами (Bakhitova & Pashin, 1982; Перепеленко, Алексаньян, 1983), що підкреслює необхідність зменшення їх вмісту в довкіллі. З огляду на ці ризики, надзвичайно актуальним є пошук ефективних шляхів нейтралізації фторидів за допомогою біологічних методів, зокрема фіторемедіації, а також визначення інформативних біоіндикаторних видів рослин, здатних вказувати на рівень фторидного забруднення середовища (Weinstein & Davison, 2003).

У межах нашого дослідження проаналізовано динаміку накопичення фтору в листках *Populus nigra* та *Robinia pseudoacacia*, що зростають як на умовно чистій території, так і в межах санітарно-захисних насаджень Алюмінієвого комбінату, викидам якого притаманна значна кількість агресивних фторидів. Отримані результати свідчать про поступове зростання концентрації цього елемента в листках протягом усього вегетаційного періоду (рис. 6.6). У контрольному варіанті темпи накопичення фтору були незначними, тоді як в умовах забрудненого повітря інтенсивність його акумуляції в листках була суттєво вищою, з чітко вираженими фазовими відмінностями в темпах накопичення на різних етапах розвитку листової пластинки. Найвищу інтенсивність поглинання зафіксовано в молодих листках, які вже завершили фазу активного росту. Зі старінням листків здатність до нагромадження фтору поступово знижувалася. Найвищі значення вмісту цього полютанта були виявлені в

Зі старінням листків здатність до нагромадження фтору поступово знижувалася. Найвищі значення вмісту цього полютанта були виявлені в кінці вегетаційного періоду, що дозволяє зробити висновок про потенціал середовищеочисної функції рослин щодо фторидного забруднення.

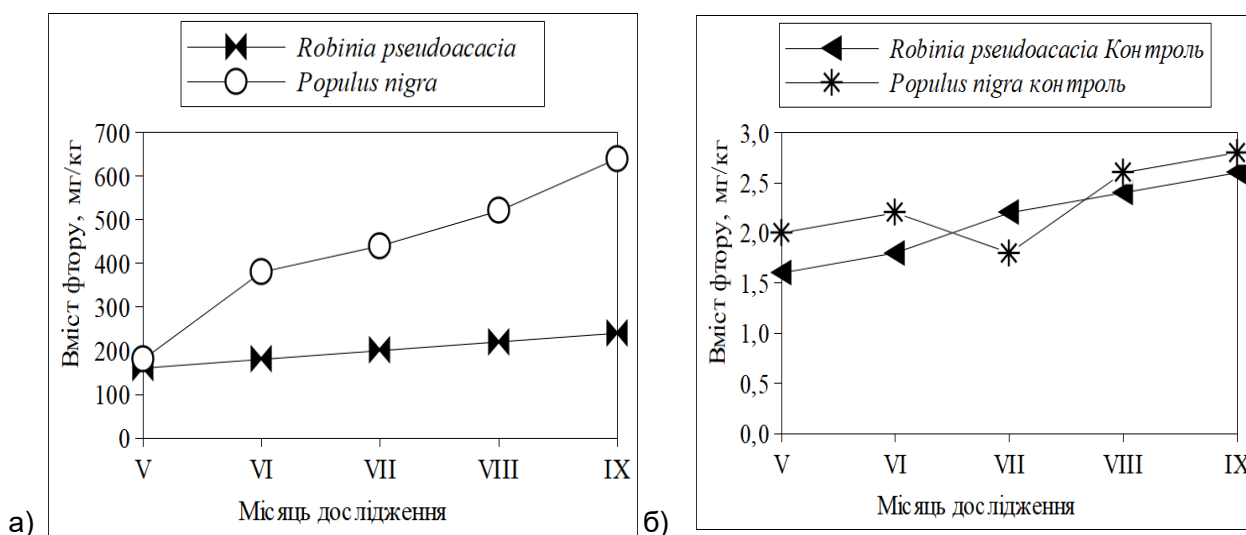


Рис. 6.6 – Нагромадження фтору у листових пластинках дерев у період вегетації на контрольній (б) та дослідній (а) ділянках

Отримані нами результати стосовно поступового зростання концентрації фтору в листках *Robinia pseudoacacia* та *Populus nigra*, що зростають у захисній зоні Алюмінієвого комбінату впродовж вегетаційного періоду, узгоджуються з даними, оприлюдненими в наукових дослідженнях на інших видах рослин (Ількун, 1978; Vike, 2005).

На наступному етапі дослідження визначення вмісту фтору в листках більшості деревних порід здійснювалося в період його максимального накопичення – у завершальній фазі вегетації. Як засвідчують дані табл. 6.5, концентрація цього елемента в листовій масі дерев, що зростають в умовно чистому районі, залишається низькою і коливається в межах 0,98–4,98 мг/кг абсолютно сухої речовини, залежно від породи. Найменші показники нагромадження фтору виявлені в листках *Armeniaca vulgaris* та *Acer pseudoplatanus*, де його концентрація не перевищує 1 мг/кг абсолютно сухої маси, тоді як найвищі – близько 4 мг/кг – встановлено у листках *Aesculus hippocastanum*, *Salix alba*, *Morus alba*, *Elaeagnus i angustifolia*.

Загалом, як вказувалося вище, кількість фтору у листках дерев контрольної ділянки не більша за 4,98 мг/кг сухої маси, тобто є відносно невеликою. Для співставлення : в умовах Українських Карпат концентрація фтору у надземних частинах рослин становить 0,22–4,14 мг/кг, а в підземних – 0,23–3,87 мг/кг сухої маси. У рівнинних зонах цей діапазон ширший: у надземних органах – 0,15–7,62 мг/кг, у підземних – 0,1–7,76 мг/кг (Костишин та ін., 2011).

У одному з регіонів Литви, де відсутнє фторидне забруднення, середня концентрація фтору в хвої ялини становить 4,9 мг/кг (Artamonov, 1986). Однак, за результатами інших досліджень, вміст фтору у листках рослин, що зростають у віддалених від промислових зон регіонах, може сягати 20–30 мг/кг (Jarkowska, 1985; Mezghani et al., 2005). Імовірно, такі відмінності пояснюються варіаціями у фоновому вмісті фторидів у ґрунтах відповідних територій.

У листках деревних рослин, що зростають у захисних зелених зонах промислових підприємств, спостерігається суттєво вищий вміст фтору порівняно з умовно чистими ділянками (табл. 6.5). Аналіз концентрації цього елемента в листових пластинках дерев у зелених зонах різних підприємств, засвідчує істотні відмінності в його накопиченні. Найбільші

значення виявлені у листовій масі дерев, що зростають у захисних насадженнях Алюмінієвого комбінату. Підприємства цього типу є одними з основних джерел техногенних викидів фтору в атмосферу (Bunce, 1979; Тарабрін та ін., 1986). Залежно від виду, вміст фтору в листках дослідних рослин на цій ділянці змінюється в межах від 260,31 мг/кг (*Tilia cordata*) до 670,11 мг/кг (*Populus nigra*) абсолютно сухої маси. Водночас найнижчі концентрації елементу зафіксовано в зелених насадженнях СЗЗ Трансформаторного заводу: від 17,21 мг/кг (*Robinia pseudoacacia*) до 43,12 мг/кг (*Populus pyramidalis*).

У межах зелених насаджень одного й того ж заводу рівні нагромадження фтору в листових пластинках різних деревних видів також відмінні. Найбільше його накопичують: *Aesculus hippocastanum*, *Salix alba*, *Populus alba*, *Populus pyramidalis*, *Populus simonii*, *Populus nigra*. У листках *Juglans regia*, *Ailanthus altissima*, *Catalpa bignonioides*, *Elaeagnus angustifolia*, *Fraxinus lanceolata* та *Morus alba* виявлені дещо нижчі, близькі за значеннями кількості фітотоксиканту у рослин цієї групи. Натомість мінімальна здатність до фоліарної акумуляції фтору встановлена у таких рослин, як у *Ulmus pumila*, *Acer negundo*, *Betula pendula*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Platanus orientalis*, *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus laevis*,

На суттєве нагромадження фтору в листках рослин на територіях, забруднених фторидами, вказують й інші дослідники. Зокрема, поблизу алюмінієвих виробництв у листках абрикосу та винограду було зафіксовано до 400 мг/кг фтору (Holevas, 1988; Zuber et al., 1981). Згідно з даними інших авторів, у техногенних регіонах вміст фтору в рослинах варіював у межах 50–1750 мг/кг (Kessabi et al., 1984). Поблизу фосфатного виробництва концентрація елементу в листках абрикосу складала 50 мкг/г, а в листках оливкових дерев сягала 400 мкг/г (Mezghani et al., 2005). У деяких зарубіжних роботах повідомляється про фоліарне нагромадження фтору в техногенних умовах у межах 500–11300 мг/кг (Kluczynski, 1983) та 138–665 мг/кг (Vike, 2005). У м. Аннаба (Алжир) рівень цього елементу в листках інжиру та ясена становив відповідно 298 та 218 мг/кг (Semadi & De Cormis, 1986).

Показовими є також дані Г. М. Ількуна (1978), який встановив суттєве накопичення фтору в листових пластинках деревних порід на території промислового підприємства у степовій зоні України навіть за слабкої візуальної ураженості рослин. Зокрема, фоліарна концентрація цього токсиканта у *Populus nigra* сягала 1,06 г/кг, а у *Populus bolleana* – 3,10 г/кг сухої маси, що значно перевищує показники, отримані нами в межах санітарно-захисних лісосмуг досліджуваних підприємств.

Як свідчать численні наукові джерела, діапазон нагромадження фтору в листках деревних рослин, навіть у межах однієї зони забруднення, може суттєво варіювати. Отримані нами результати підтверджують цю тенденцію. Зокрема, в санітарно-захисній зоні Алюмінієвого комбінату вміст фтору в листовій масі, залежно від виду рослин, змінюється від 260,31 мг/кг у *Tilia cordata* до 670,11 мг/кг у *Populus nigra*. У захисних деревостанах Коксохімічного підприємства концентрація цього елементу варіює від 119,59 мг/кг у *Ulmus laevis* до 290,11 мг/кг у *Acer platanoides*. У листках деревних рослин захисних зелених зон Феросплавного підприємства вміст фтору коливається в межах 110,43 мг/кг (*Tilia cordata*) – 307,48 мг/кг (*Populus nigra*).

Аналогічна тенденція у фоліарній акумуляції спостерігається і в інших досліджуваних санітарно-захисних зонах, що додатково підтверджує складність і багатофакторність процесу фторнакопичення у різних видів дерев. На основі показників нагромадження фітотоксиканта в асиміляційних органах дерев захисних зелених насаджень промислового підприємства можуть бути розташовані в такому порядку за ступенем забруднення повітря фторидами: Трансформаторний завод < Титано-магнієвий комбінат < Абразивний комбінат < «Укрграфіт» < «Вогнетрив» < «Запоріжсталь» < «Феросплавів» ≤ «Коксохім» ≤ Алюмінієвий комбінат.

Дослідженнями ряду авторів встановлено, що зростання концентрації фтору в надземній біомасі рослин відбувається переважно внаслідок його поглинання з атмосферного повітря.

Таблиця. 6.5

Показники кількості фтору у листових пластинках дерев захисних зелених насаджень заводів м. Запоріжжя, мг / кг абсолютної сухої маси, ( $x \pm SE$ ,  $n = 4$ )

Види рослин	Контроль	Промислові підприємства								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Acer negundo</i>	2,39±0,24 <sup>a</sup>	30,62±0,43 <sup>b</sup>	67,62±0,96 <sup>c</sup>	59,32±0,78 <sup>d</sup>	315,26±4,36 <sup>e</sup>		120,51±2,51 <sup>g</sup>	84,76±1,68 <sup>h</sup>	–	–
<i>Acer platanoides</i>	1,5±0,17 <sup>a</sup>	37,9±0,47 <sup>b</sup>	81,37±1,34 <sup>c</sup>	71,5±0,98 <sup>d</sup>	340,61±4,16 <sup>e</sup>	196,12±2,17 <sup>f</sup>	151,32±2,86 <sup>g</sup>	106,8±2,23 <sup>h</sup>	30,32±0,45 <sup>i</sup>	290,11±3,65 <sup>j</sup>
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,98±0,12 <sup>a</sup>	38,42±0,44 <sup>b</sup>	–	74,64±0,96 <sup>d</sup>	–	–	–	–	–	197,21±2,63 <sup>j</sup>
<i>Aesculus hippocastanum</i>	4,24±0,24 <sup>a</sup>	54,82±0,54 <sup>b</sup>	–	99,71±1,59 <sup>d</sup>	600,26±7,15 <sup>e</sup>	278,28±3,42 <sup>f</sup>	232,43±3,60 <sup>g</sup>	160,36±2,59 <sup>h</sup>	41,76±0,54 <sup>i</sup>	267,36±3,64 <sup>j</sup>
<i>Ailanthus altissima</i>	1,4±0,15 <sup>a</sup>	25,79±0,44 <sup>b</sup>	–	48,82±0,54 <sup>d</sup>	433,26±5,20 <sup>e</sup>	205,7±3,56 <sup>f</sup>	166,37±2,15 <sup>g</sup>	115,52±2,38 <sup>h</sup>	19,16±0,49 <sup>i</sup>	195,74±2,59 <sup>j</sup>
<i>Armeniaca vulgaris</i>	0,99±0,13 <sup>a</sup>	36,48±0,50 <sup>b</sup>	–	70,57±1,05 <sup>d</sup>	–	149,12±2,54 <sup>f</sup>	126,7±2,04 <sup>g</sup>	–	27,11±0,46 <sup>i</sup>	–
<i>Betula pendula</i>	2,11±0,25 <sup>a</sup>	27,14±0,42 <sup>b</sup>	80,42±0,98 <sup>c</sup>	55,47±0,64 <sup>d</sup>	280,71±3,95 <sup>e</sup>	130,48±2,15 <sup>f</sup>	111,14±2,12 <sup>g</sup>	78,37±1,03 <sup>ch</sup>	20,32±0,40 <sup>i</sup>	121,55±2,46 <sup>j</sup>
<i>Catalpa bignonioides</i>	1,12±0,19 <sup>a</sup>	34,17±0,41 <sup>b</sup>	85,49±1,46 <sup>c</sup>	70,3±1,02 <sup>d</sup>	497,21±5,18 <sup>e</sup>	235,18±3,15 <sup>f</sup>	133,4±2,61 <sup>g</sup>	141,44±2,54 <sup>gh</sup>	25,31±0,49 <sup>i</sup>	201,62±3,52 <sup>j</sup>
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	4,4±0,20 <sup>a</sup>	56,32±0,68 <sup>b</sup>	149,71±2,82 <sup>c</sup>	120,39±2,34 <sup>d</sup>	520,42±6,75 <sup>e</sup>	240,42±3,65 <sup>f</sup>	198,42±2,85 <sup>g</sup>	137,18±2,69 <sup>h</sup>	40,32±0,54 <sup>i</sup>	223,87±3,64 <sup>j</sup>
<i>Fraxinus lanceolata</i>	3,56±0,18 <sup>a</sup>	29,7±0,49 <sup>b</sup>		56,41±0,87 <sup>d</sup>	420,83±5,42 <sup>e</sup>	195,3±3,05 <sup>f</sup>	160,53±2,79 <sup>g</sup>	110,93±2,46 <sup>h</sup>	22,48±0,45 <sup>i</sup>	174,81±2,68 <sup>j</sup>
<i>Juglans regia</i>	3,9±0,20 <sup>a</sup>	32,4±0,44 <sup>b</sup>	85,62±1,10 <sup>c</sup>		488,25±5,54 <sup>e</sup>	218,87±3,15 <sup>f</sup>	187,36±2,95 <sup>g</sup>	129,84±2,38 <sup>h</sup>	25,06±0,46 <sup>i</sup>	211,9±3,55 <sup>j</sup>
<i>Morus alba</i>	4,98±0,24 <sup>a</sup>	39,27±0,44 <sup>b</sup>	97,74±1,44 <sup>c</sup>	75,51±0,99 <sup>d</sup>	522,6±6,0 <sup>e</sup>	233,56±3,64 <sup>f</sup>	201,11±3,76 <sup>g</sup>	133,61±2,54 <sup>h</sup>	30,7±0,48 <sup>i</sup>	229,24±3,60 <sup>j</sup>
<i>Platanus orientalis</i>	1,12±0,16 <sup>a</sup>	–	–	–	289,1±3,14 <sup>e</sup>	–	–	–	19,36±0,42 <sup>i</sup>	226,38±3,68 <sup>j</sup>
<i>Populus alba</i>	3,78±0,23 <sup>a</sup>	48,6±0,54 <sup>b</sup>	124,75±2,52 <sup>c</sup>	–	642,67±6,54 <sup>e</sup>	295,24±3,98 <sup>f</sup>	246,1±3,98 <sup>g</sup>	166,27±2,85 <sup>h</sup>	–	–
<i>Populus nigra</i>	2,35±0,19 <sup>a</sup>	51,32±0,60 <sup>b</sup>	127,81±2,33 <sup>c</sup>	–	670,11±7,41 <sup>e</sup>	307,48±4,09 <sup>f</sup>	254,52±3,88 <sup>g</sup>	181,29±2,95 <sup>h</sup>	–	271,72±3,96 <sup>j</sup>
<i>Populus pyramidalis</i>	2,56±0,18 <sup>a</sup>	–	115,96±2,41 <sup>c</sup>	–	541±6,74 <sup>e</sup>	265,7±3,76 <sup>f</sup>	–	157,33±2,84 <sup>h</sup>	43,12±0,45 <sup>i</sup>	280,45±3,80 <sup>j</sup>
<i>Populus simonii</i>	3,48±0,23 <sup>a</sup>	50,42±0,62 <sup>b</sup>	132,32±2,42 <sup>c</sup>	–	579,36±6,68 <sup>e</sup>	–	220,16±3,76 <sup>g</sup>	142,42±2,77 <sup>ch</sup>	41,72±0,54 <sup>i</sup>	242,67±3,73 <sup>j</sup>
<i>Robinia pseudoacacia</i>	2,3±0,20 <sup>a</sup>	25,32±0,40 <sup>b</sup>	61,36±1,12 <sup>c</sup>	47,61±0,52 <sup>d</sup>	275,6±3,45 <sup>e</sup>	129,1±2,47 <sup>f</sup>	106,14±2,45 <sup>g</sup>	90,76±1,34 <sup>h</sup>	17,21±0,38 <sup>i</sup>	120,38±2,31 <sup>j</sup>
<i>Salix alba</i>	4,15±0,24 <sup>a</sup>	43,27±0,58 <sup>b</sup>	110,74±2,86 <sup>c</sup>	83,7±1,24 <sup>d</sup>	602,9±6,31 <sup>e</sup>	287,2±3,77 <sup>f</sup>	231,27±3,60 <sup>g</sup>	198,81±2,50 <sup>h</sup>	37,1±0,52 <sup>i</sup>	267,74±3,62 <sup>j</sup>
<i>Tilia cordata</i>	1,12±0,15 <sup>a</sup>	24,11±0,40 <sup>b</sup>	62,81±1,08 <sup>c</sup>	45,84±0,56 <sup>d</sup>	260,31±3,75 <sup>e</sup>	110,43±2,50 <sup>f</sup>	97,65±1,95 <sup>g</sup>	79,54±1,08 <sup>h</sup>	17,6±0,40 <sup>i</sup>	108,78±2,33 <sup>j</sup>
<i>Ulmus pumila</i>	3,92±0,24 <sup>a</sup>	40,31±0,51 <sup>b</sup>	99,56±1,65 <sup>c</sup>	74,93±1,02 <sup>d</sup>	310,54±4,10 <sup>e</sup>	147,63±2,07 <sup>f</sup>	118,42±2,28 <sup>g</sup>	83,18±1,09 <sup>h</sup>	29,27±0,59 <sup>i</sup>	129,61±2,53 <sup>j</sup>
<i>Ulmus laevis</i>	2,86±0,23 <sup>a</sup>	42,54±0,52 <sup>b</sup>	105,34±1,62 <sup>c</sup>	71,42±1,17 <sup>d</sup>	270,71±3,12 <sup>e</sup>	131,74±2,31 <sup>f</sup>	102,7±2,14 <sup>cg</sup>	–	28,19±0,52 <sup>i</sup>	119,59±2,77 <sup>j</sup>

Примітки: 1) «–» цей вид дерев відсутній; 2) однакові латинські букви означають статистично незначущі розбіжності середніх у ряді на основі результатів використання тесту Т'юкі ( $P < 0,05$ ); 3) промислові підприємства: 1 – Титано-магнієвий комбінат; 2 – «Укрграфіт»; 3 – Абразивний комбінат; 4 – Алюмінієвий завод; 5 – Феросплавний завод; 6 – «Запоріжсталь»; 7 – «Вогнетрив»; 8 – Трансформаторний комбінат; 9 – «Коксохім»

Визначено чітку залежність між дозою надходження сполук цього елемента та його накопиченням у рослинах (Taylor & Basabe, 1984; Zimny, 1984; Lorenzini et al., 1987; Mezghani et al., 2005; Приседський, 2019). Зменшення рівня викидів у повітря відповідає зниженню вмісту фтору в листках дерев. Так, наведено дані, що свідчать про тісну кореляцію кількості фторидів у хвої *Pinus sylvestris* та вмісту фтористих сполук у промислових емісіях, що засвідчується відповідними розрахунками.

Отже, аналізуючи отримані нами результати, можна стверджувати, що серед усіх досліджених ділянок найбільш інтенсивне забруднення атмосферного повітря фтором (за показниками його накопичення в листках деревних рослин) виявлено в санітарно-захисних насадженнях Алюмінієвого комбінату, тоді як найнижчий рівень – у районі Трансформаторного заводу.

Деревні породи, які накопичують більші кількості фтору, виконують більш ефективну функцію біологічного очищення атмосфери. Важливо зазначити, що, на відміну від фенолу, фториди, за даними низки авторів, не піддаються метаболічному перетворенню, не мігрують у межах рослини між органами та не детоксикуються в клітині (Jacobson et al., 1966; Banerjee & Roychoudhury, 2019). Так, у дослідях з кормовими бобами та капустою не було виявлено їхнього переміщення від старіших до молодших листків, так само як і від верхівкових до нижніх частин крони ялини (Guderian, 1979; Rozhkov & Mikhaylova, 1989).

Разом із тим, згідно з E. Vike (2005), дощові опади можуть зумовлювати часткове вимивання фтору з листя. J. S. Jacobson та співавт. (1966) також зазначають, що повного необоротного зв'язування фторидів із клітинними структурами не відбувається, що вказує на можливу втрату певної частини вже акумульованого елемента.

Ключову роль у визначенні стану навколишнього середовища відіграє систематичне й довготривале спостереження за найнебезпечнішими та найпоширенішими поллютантами, зокрема фторидами. Під час відбору рослинного об'єкта для моніторингу важливою є наявність чіткої відповідності між рівнем забруднення атмосферного повітря та вмістом токсиканта в його тканинах. Одним із найбільш інформативних індикаторів у цьому контексті є коефіцієнт відносного накопичення полютанта, що дає змогу оцінити інтенсивність акумуляції хімічного елемента листками різних видів у техногенно навантажених умовах. Саме тому ця величина може розглядатися як надійний критерій оцінки доцільності використання того чи іншого виду рослин для пасивного екологічного моніторингу.

У ході дослідження було розраховано коефіцієнти відносного накопичення фтору листовими пластинками вивчаємих дерев. Результати представлені на рис. 6.7. Найвищі значення цього індексу зафіксовано для рослин захисних деревостанів Алюмінієвого заводу. Ці ж таксони демонструють високі значення коефіцієнта накопичення й на територіях інших промислових об'єктів, зокрема заводів «Укрграфіт», «Коксохім», «Запоріжсталь», «Феросплавів» та «Вогнетрив».

Порівняльний аналіз індексів накопичення фтору, обчислених для листків досліджуваних деревних порід, що зростають у межах зелених зон промислових підприємств, свідчить про наявність видової специфіки. Найінформативнішими біоіндикаторами забруднення довкілля фторидами є такі види: *Acer platanoides*, *Catalpa bignonioides*, *Ailanthus altissima*, *Tilia cordata*, *Platanus orientalis*, *Armeniaca vulgaris*, *Acer pseudoplatanus*, *Populus nigra*.

Відповідно до результатів, отриманих на основі аналізу листового апарату у роботі E. Vike (1999), одним із найперспективніших об'єктів для моніторингу забруднення атмосферного повітря фтором є *Sorbus aucuparia*. На жаль, порівняння з нашими даними ускладнене, оскільки в переліку досліджуваних деревних порід горобина звичайна відсутня.

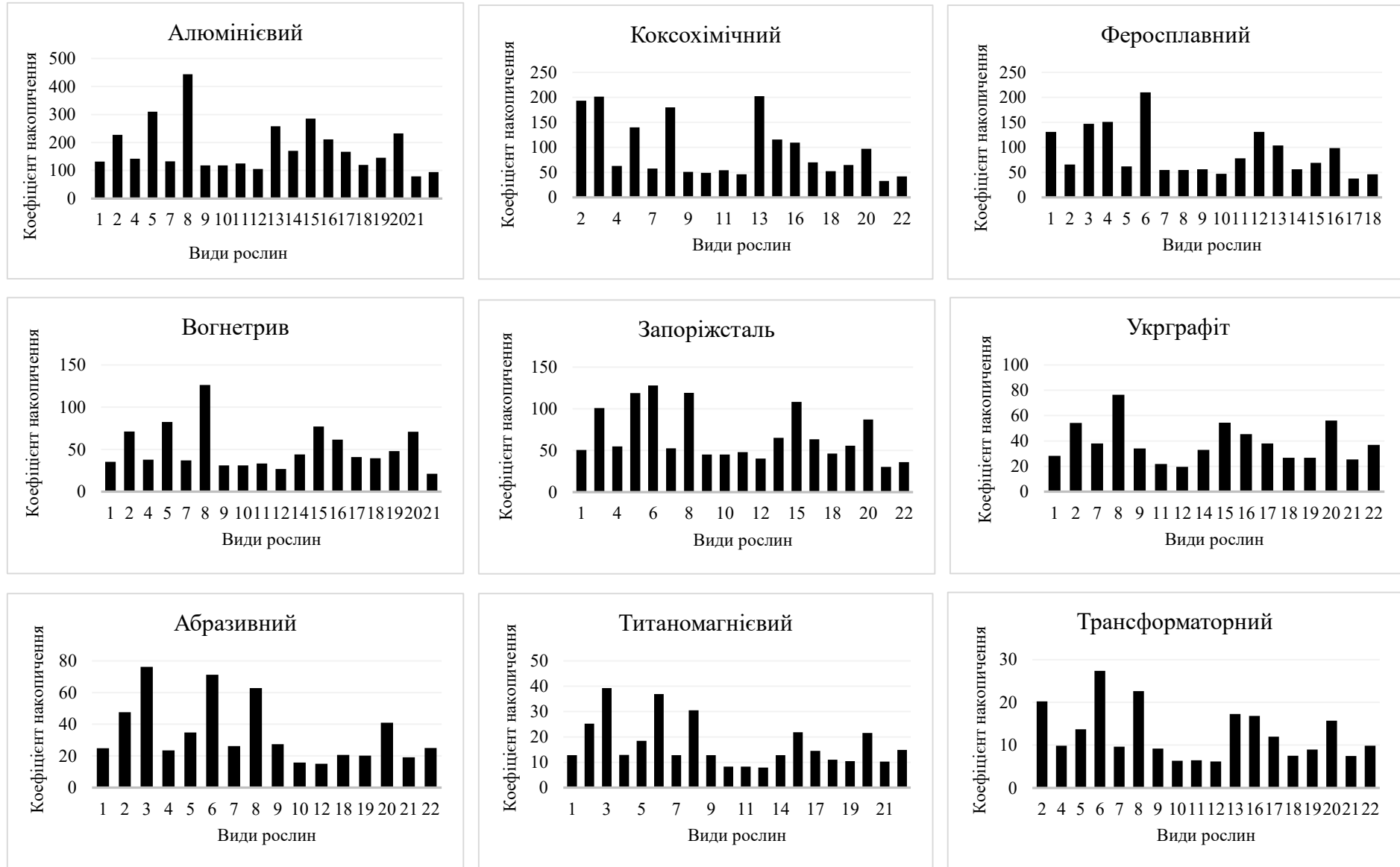


Рис. 6.7 – Значення індексів відносного нагромадження фтору (1 – *Acer negundo*; 2 – *Acer platanooides*; 3 – *Acer pseudoplatanus*; 4 – *Aesculus hippocastanum*; 5 – *Ailanthus altissima*; 6 – *Armeniaca vulgaris*; 7 – *Betula pendula*; 8 – *Catalpa bignonioides*; 9 – *Elaeagnus angustifolia*; 10 – *Fraxinus lanceolata*; 11 – *Juglans regia*; 12 – *Morus alba*; 13 – *Platanus orientalis*; 14 – *Populus alba*; 15 – *Populus nigra*; 16 – *Populus pyramidalis*; 17 – *Populus simonii*; 18 – *Robinia pseudoacacia*; 19 – *Salix alba*; 20 – *Tilia cordata*; 21 – *Ulmus pumila* 22 – *Ulmus laevis*)

Варто також зазначити, що в низці досліджень як потенційні біоіндикатори атмосферного фторидного забруднення розглядаються окремі види сільськогосподарських культур (Banerjee & Roychoudhury, 2019).

Таким чином, аналіз динаміки фоліарної акумуляції фтору деревними рослинами захисних зелених масивів індустріальних об'єктів м. Запоріжжя., засвідчив, що процес триває протягом усього вегетаційного періоду, найбільш інтенсивно – в молодих листках, які завершили фазу активного росту. Найвищі концентрації елемента виявлено наприкінці вегетації.

Умови промислового навантаження сприяють істотно вищому накопиченню фтору в листках дерев порівняно з контрольним варіантом. Максимальні значення цього показника зафіксовано в захисних зелених масивах Алюмінієвого комбінату. Рейтинг підприємств за рівнем накопичення фітотоксиканта в листках деревних рослин, що є опосередкованим показником рівня забруднення атмосферного повітря, має такий вигляд: Трансформаторний завод < Титано-магнієвий комбінат < Абразивний комбінат < «Укрграфіт» < «Вогнетрив» < «Запоріжсталь» < «Феросплавів» ≤ «Коксохім» < Алюмінієвий комбінат.

Деревні види, які характеризуються високими показниками накопичення фтору в листках, демонструють ефективність у виконанні середовищеочисної функції в умовах антропогенно трансформованих територій. Як уже зазначалося, до таких рослин належать *Populus alba*, *Populus nigra*, *Populus pyramidalis*, *Salix alba*, *Aesculus hippocastanum* і *Populus simonii*. Проте не всі вони виявляють високу стійкість в техногенних умовах зростання. Важливим критерієм для успішного виконання функції доочищення атмосферного повітря є не лише здатність акумулювати значні кількості фторидів, а й стійкість до пошкоджень асиміляційного апарату. Види деревних рослин, що демонструють менш високі значення накопичення фтору (*Juglans regia*, *Ailanthus altissima*, *Elaeagnus angustifolia*, *Fraxinus lanceolata* та *Morus alba*) також можуть вважатися ефективними фіторемедіаторами у зонах техногенного навантаження. Вони поєднують здатність до значного накопичення елемента зі стійкістю до ушкодження асиміляційного апарату.

За результатами розрахунку індексів накопичення фтору, найбільші значення визначено для листків видів: *Armeniaca vulgaris*, *Acer platanoides*, *Ailanthus altissima*, *Catalpa bignonioides*, *Platanus orientalis*, *Populus nigra*, *Tilia cordata*, *Acer pseudoplatanus*. Саме ці види дерев можуть розглядатися як перспективні фітоіндикатори техногенного забруднення атмосферного повітря фторвмісними сполуками.

### **6.5. Варіанти доповнень захисних зелених масивів підприємств деревами з урахуванням видоспецифічної акумуляції поллютантів у листі**

У межах дослідження розроблено моделі компромісних планів щодо додаткового введення деревних порід до складу насаджень у санітарно-захисних зонах (СЗЗ) промислових підприємств. Під час формування цих планів було враховано потенційну газоадсорбційну здатність видів, зокрема їхню ефективність у поглинанні та акумуляції основних поллютантів – сполук сірки, хлору і фторидів.

Реалізація запропонованих заходів має на меті підвищення ефективності середовищеочисної функції деревних насаджень, що зростають у зонах впливу техногенного навантаження.

Видоспецифічні особливості поглинання й нагромадження токсикантів у листках рослин, а також кількісний склад деревостанів досліджуваних промислових зон

представлено в додатку В (табл. В.1–8). Комплексну оцінку необхідності оновлення зелених масивів, яка охоплює заміщення сухою, висадку додаткових дерев на вільних ділянках, забезпечення оптимального рівня біорізноманіття насаджень, проведено окремо для кожного з підприємств. Узагальнені результати наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Кількість дерев, яка необхідна до доповнення зелених насаджень СЗЗ заводів

Назва підприємства	$A_1$	$A_2$	$B$
Укрграфіт	73	88	7
Алюмінієвий	64	82	7
Феросплавний	65	85	7
Вогнетрив	61	88	7
Абразивний	70	120	7
Запоріжсталь	150	190	7
Трансформаторний	26	48	7

Примітка:  $A_1$  – кількість дерев, необхідних для доповнення зелених насаджень лише за рахунок заповнення відкритих ділянок, що не мають деревного покриву.  $A_2$  – кількість дерев, потрібних у разі реконструкції насаджень, яка передбачає цілкове оновлення та оптимізацію складу дендрофлори.  $B$  – мінімальна необхідна кількість видів деревних рослин для підтримання оптимального видового різноманіття (не менше  $B$  видів дерев)

Згідно з алгоритмом, викладеним у розділі 2, здійснено розрахунки компромісних планів щодо додаткової висадки деревних порід у санітарно-захисних зонах таких заводів, як «Запоріжсталь», «Укрграфіт», «Феросплавів», «Дніпроспецсталь» та Алюмінієвого, Трансформаторного й Абразивного комбінатів.

Розроблені плани передбачають: заповнення проміжків між наявними деревами у масивах; озеленення вільних ділянок; заміну дерев у незадовільному фітосанітарному стані (сухою). У таблиці 6.7 наведено результати моделювання плану доповнення зелених насаджень для санітарно-захисної зони підприємства «Укрграфіт».

Під час підбору деревних порід для додаткових висаджувальних у межах санітарно-захисних зон промислових підприємств необхідно враховувати не лише їхню здатність до акумуляції токсикантів, а й екологічні умови місцезростання, а також стійкість до специфічних забруднювачів, властивих кожному підприємству. У першому, четвертому та шостому варіантах планів озеленення домінують представники родини *Salicaceae*, які становлять чисельну перевагу серед рекомендованих для висадки видів.

У варіанті 3, який стосується рекомендованих дерев для підприємства «Укрграфіт», максимальну кількість становить *Acer negundo*. Ця рослина відзначається великим потенціалом самовідновлення, що, втім, може несприятливо впливати на структуру та стійкість деревостанів. *Acer negundo* часто проявляє агресивну інвазивність, поширюючись насіннєвим шляхом уздовж доріг, по краях зелених насаджень і в межах деградованих угруповань. Подібне самовільне розростання, за даними І. Ю. Спрягайло (2012), становить значну загрозу стабільності природних і штучних екосистем.

У варіантах 2 і 5 найбільше таких видів дерев, як *Fraxinus lanceolata*, *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia* та рослини з родини *Ulmaceae*. Ці дерева виявляють високу стійкість до екологічних умов степового регіону України, а також толерантність до підвищених рівнів токсичних сполук у повітрі, що робить їх доцільними для використання в умовах техногенного навантаження.

Таблиця 6.7

Варіанти запропонованих доповнень до захисних зелених масивів заводу  
«Укрграфіт»

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Acer negundo</i>			38			1
$x_2$	<i>Acer platanoides</i>						
$x_3$	<i>Ailanthus altissima</i>		28		16	17	1
$x_4$	<i>Catalpa bignonioides</i>						
$x_5$	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	27					3
$x_6$	<i>Fraxinus lanceolata</i>		20			17	
$x_7$	<i>Juglans regia</i>					5	1
$x_8$	<i>Malus domestica</i>						1
$x_9$	<i>Morus alba</i>				12		
$x_{10}$	<i>Populus alba</i>	14	4	16	13		13
$x_{11}$	<i>Populus simonii</i>	15		18	17		24
$x_{12}$	<i>Populus nigra</i>	9		10	9		6
$x_{13}$	<i>Populus pyramidalis</i>	18					38
$x_{14}$	<i>Pyrus communis</i>						1
$x_{15}$	<i>Robinia pseudoacacia</i>	0	27		1	23	
$x_{16}$	<i>Salix alba</i>	1		1	1		
$x_{17}$	<i>Thuja orientalis</i>						
$x_{18}$	<i>Tilia cordata</i>		2		12		
$x_{19}$	<i>Ulmus pumila</i>	3	5	3	3	12	
$x_{20}$	<i>Ulmus laevis</i>		2			12	
$F_1$		0,75	0,73	0,74	0,74	0,73	0,74
$F_2$		2,90	2,81	2,88	2,86	2,80	2,94
$F_3$		82,38	82,28	83,44	82,36	82,26	82,52

Примітка:  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  – вміст поллютантів (фтор, хлор та сірка, кг) в листках деревних рослин всього захисного зеленого насадження заводу з урахуванням досадження нових дерев

Захисні насадження санітарно-захисної зони підприємства «Укрграфіт», до складу яких входить 937 дерев, щорічно формують близько 8230 кг фітомаси листового апарату ( у перерахунку на абсолютно суху масу). Протягом вегетаційного періоду в цій листовій масі за розрахунками накопичується приблизно 81,3 кг сірки, 2,7 кг хлору та 0,7 кг фтору. Однак необхідно відзначити, що фактична здатність зелених масивів до акумуляції фітотоксикантів є значно вищою, оскільки при розрахунках не враховують їх наступні втрати листками. Так, згідно з даними, що були отримані Г. М. Ількуном (1978), близько 65 % фітотоксикантів втрачається внаслідок відтоку до інших органів (20 %) та вимивання опадами (45 %). У наших дослідах, з урахуванням цих втрат, реальна кількість забруднювачів, яку акумулюють листки дерев захисних насаджень підприємства, становить 1,0 кг фтору, 5,0 кг хлору та 296,3 кг сірки, що рівнозначно 592,6 кг SO<sub>2</sub>.

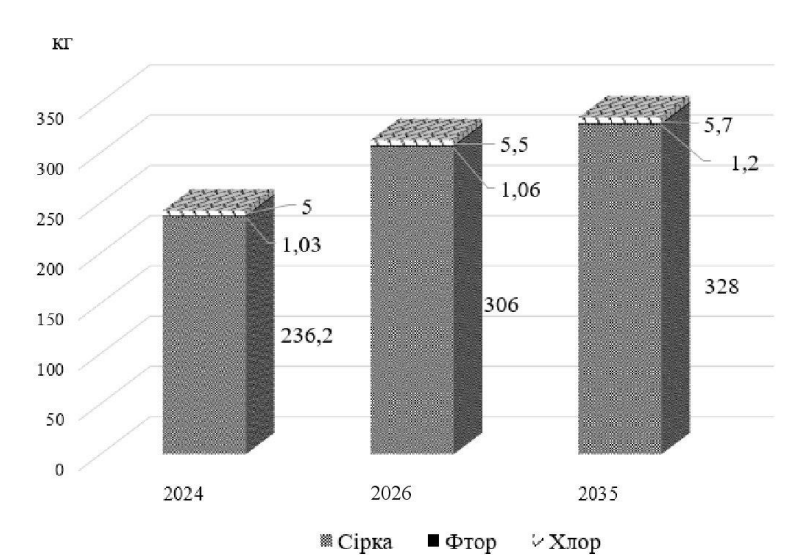


Рис. 6.8 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів заводу «Укрграфіт», реальна (2024) та очікувана (2026, 2035 рр.), кг

У разі реалізації заходів із додаткового озеленення та заміни сухостійних дерев новими породами, вже в перший рік після насадження обсяг акумульованих шкідливих речовин зросте на 10,0 кг сірки і на 0,5 кг хлору. Через десять років функціонування оновлених зелених насаджень очікується, що лісосмуга підприємства «Укрграфіт» щороку поглинатиме близько 1,2 кг фтору, 5,7 кг хлору та 328,0 кг сірки, що відповідає 656,0 кг SO<sub>2</sub> (рис. 6.8).

Запропоновані варіанти доповнення насаджень санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату відрізняються між собою за видовим складом деревних порід, проте різниця у показниках накопичення досліджуваних токсикантів є незначною (табл. 6.8). Під час добору видів дерев для насаджень важливо враховувати їхню екологічну пластичність, адаптивність до умов середовища та стійкість до характерних для цього підприємства забруднювачів. У першому та другому варіантах переважають *Populus alba* та *Aesculus hippocastanum*. Третій і четвертий варіанти характеризуються значною представленістю *Robinia pseudoacacia* та *Fraxinus lanceolata*. У п'ятому та шостому варіантах найбільша кількість рекомендованих дерев це – *Ailanthus altissima* та *Robinia pseudoacacia*, які демонструють найвищу стійкість до впливу токсикантів в умовах СЗЗ Алюмінієвого комбінату.

З огляду на вищезазначене, найбільш перспективними для реалізації є п'ятий та шостий плани доповнення деревних насаджень, які можуть забезпечити максимальну ефективність фіторекультивації та підвищення атмосфероочисної функції зеленої лісосмуги підприємства.

Насадження санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату налічує 954 дерева. Згідно з розрахунками, у листках деревних рослин цього насадження, за умови висадження молодих дерев у перший рік, буде накопичуватися близько 110,1 кг сірки, орієнтовно 4,4 кг хлору та 3,0 кг фтору. Проте фактичний потенціал накопичення токсикантів є значно вищим, а отже і середовищеочисна роль насаджень. З урахуванням втрат фітотоксикантів із листової поверхні (внаслідок вимивання опадами – 45 %) та їхнього відтоку до інших органів рослини (20 %) (Ількун, 1978), фактичне нагромадження становить 7,3 кг хлору, 8,6 кг фтору та 316,3 кг сірки, що відповідає 632,6 кг SO<sub>2</sub>.

Таблиця 6.8

Варіанти запропонованих доповнень до захисних зелених масивів Алюмінієвого комбінату

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Acer pseudoplatanus</i>						
$x_2$	<i>Aesculus hippocastanum</i>	12	10				
$x_3$	<i>Ailanthus altissima</i>			5		17	14
$x_4$	<i>Betula pendula</i>						
$x_5$	<i>Catalpa bignonioides</i>		1				
$x_6$	<i>Fraxinus lanceolata</i>			45	26	9	1
$x_7$	<i>Morus alba</i>	3	1				
$x_8$	<i>Picea pungens</i>						
$x_9$	<i>Platanus acerifolia</i>						
$x_{10}$	<i>Populus alba</i>	17	15	6			6
$x_{11}$	<i>Populus nigra</i>	20	18	1	1	4	1
$x_{12}$	<i>Populus simonii</i>	10	8				
$x_{13}$	<i>Quercus robur</i>						
$x_{14}$	<i>Robinia pseudoacacia</i>			20	10	27	37
$x_{15}$	<i>Salix alba</i>	19	11				
$x_{16}$	<i>Thuja occidentalis</i>						
$x_{17}$	<i>Thuja orientalis</i>						3
$x_{18}$	<i>Tilia cordata</i>					1	
$x_{19}$	<i>Ulmus laevis</i>				42		
$x_{20}$	<i>Ulmus pumila</i>					18	
$F_1$		3,06	3,04	3,01	2,99	3,01	3,02
$F_2$		2,43	2,41	2,37	2,36	2,39	2,38
$F_3$		110,17	110,99	110,11	110,10	110,02	110,19

Примітка: як в табл. 6.7

Якщо будуть реалізовані заходи із досадження дерев та заміни сухостійних екземплярів атмосфероочисна, функція захисних зелених насаджень санітарно-захисної зони Алюмінієвого заводу суттєво зросте. Зокрема, в межах будь-якого рекомендованого плану (варіанти 1–6) показник акумуляції сірки збільшиться на 9,0 кг і досягне 325,2 кг (що відповідає 650,4 кг SO<sub>2</sub>). Поглинання фтору та хлору зросте на 0,3 кг для кожного з цих полютантів.

Як видно з рис. 6.9, через десять років після реалізації планів доповнення деревними породами захисне насадження Алюмінієвого комбінату зможе поглинути 345,0 кг сірки, що рівнозначно 690,0 кг діоксиду сірки, а також 8,0 кг хлору й 9,6 кг фтору.

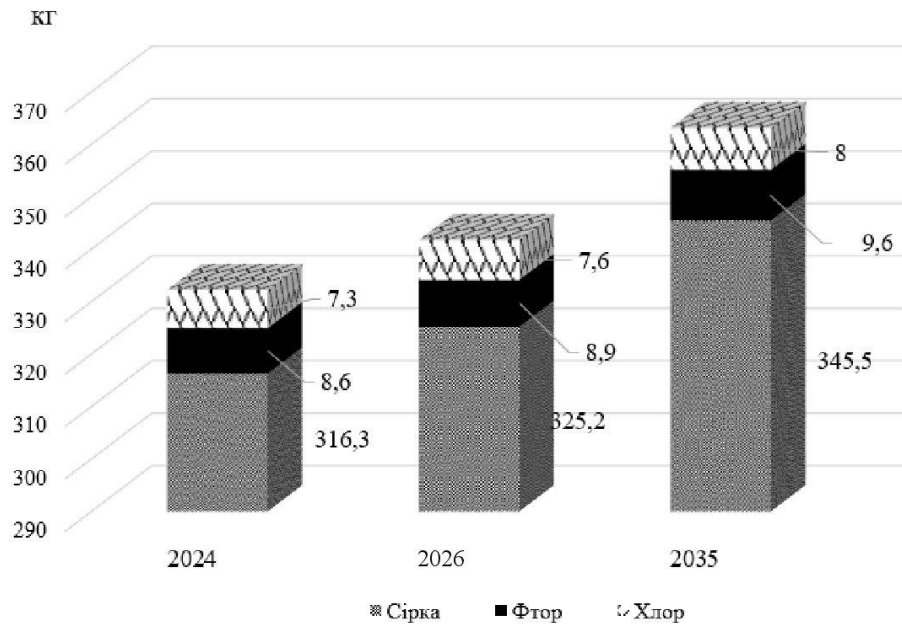


Рис. 6.9 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів Алюмінієвого комбінату, реальна (2024) та очікувана (2026, 2035 рр.), кг

У таблиці 6.9 представлені варіанти доповнення зелених масивів Титано-магнієвого заводу. Найефективнішими з точки зору атмосфероочисного потенціалу є варіанти 3, 5 і 6. Захисні деревні масиви підприємства нараховують 1826 дерев, які утворюють близько 17 516 кг листової фітомаси. Протягом вегетаційного періоду в листових пластинках цих рослин за здійсненими розрахунками акумулюється 220,64 кг сірки, 3,2 кг хлору й 0,6 кг фтору.

Проте реальна здатність до поглинання токсикантів суттєво перевищує розрахункові показники, що ґрунтуються лише на вмісті речовин у листках наприкінці вегетації. З урахуванням втрат через вимивання атмосферними опадами (приблизно 45 %) та відтоку речовин в інші органи рослин (до 20 %) (Ількун, 1978), листя деревних масивів Титано-магнієвого підприємства фактично поглинає 1,71 кг фтору, 9,14 кг хлору та 630,57 кг сірки (еквівалентно 1261,15 кг діоксиду сірки).

Таблиця 6.9

Варіанти запропонованих доповнень до захисних зелених масивів Титано-магнієвого комбінату

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Acer negundo</i>		3		12		
$x_2$	<i>Acer pseudoplatanus</i>		8		10		
$x_3$	<i>Aesculus hippocastanum</i>	18	3		8		
$x_4$	<i>Ailanthus altissima</i>		8	18	5	18	20
$x_5$	<i>Betula pendula</i>	27			12		2
$x_6$	<i>Fraxinus lanceolata</i>		3	14		20	20
$x_7$	<i>Juglans regia</i>		8	6	8	6	5
$x_8$	<i>Morus alba</i>		8				

Продовження табл. 6.9

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_9$	<i>Picea abies</i>		8				
$x_{10}$	<i>Picea pungens</i>		8		10	5	2
$x_{11}$	<i>Populus alba</i>	19	8	14	8	10	10
$x_{12}$	<i>Populus nigra</i>	14	3		5		4
$x_{13}$	<i>Populus simonii</i>	19	3	8	5	7	5
$x_{14}$	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	4	18	4	15	15
$x_{15}$	<i>Thuja occidentalis</i>		5				
$x_{16}$	<i>Thuja orientalis</i>		3				
$x_{17}$	<i>Tilia cordata</i>	1	7	3	4		
$x_{18}$	<i>Ulmus pumila</i>		3		5	3	
$x_{19}$	<i>Ulmus laevis</i>		5	18		15	15
$F_1$		0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
$F_2$		3,33	3,29	3,29	3,30	3,29	3,29
$F_3$		220,74	220,90	220,88	220,95	220,84	220,84

Примітка: як в табл. 6.7

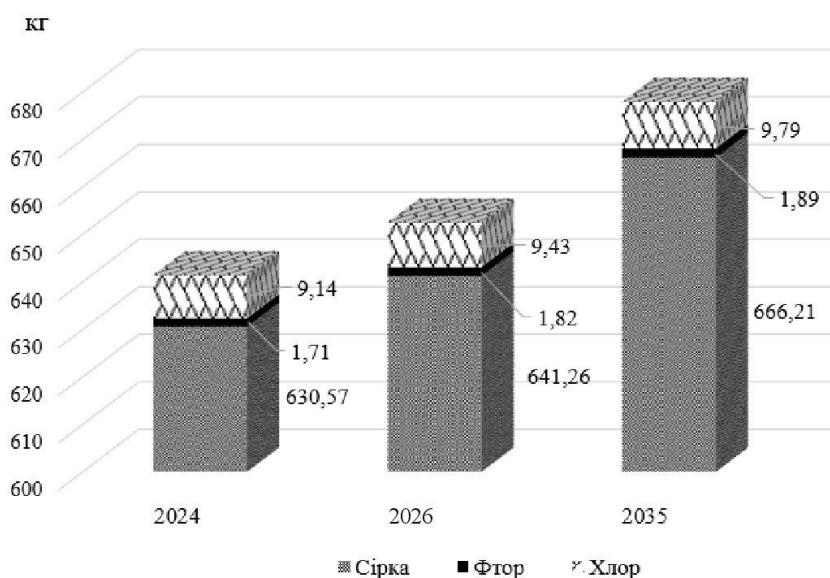


Рис. 6.10 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів Титано-магнієвого комбінату, реальна (2024) та очікувана (2026, 2035 рр.), кг

У разі реалізації заходів із доповнення деревного складу новими рослинами на вільних ділянках і заміни сухостійних дерев атмосфероочисна функція захисних зелених насаджень комбінату зростає. Зокрема, вже в перший рік після висадки додаткових дерев обсяг поглинання сірки збільшиться на 11,0 кг, хлору – на 0,3 кг, фтору – на 0,1 кг.

У довгостроковій перспективі, через десять років після доповнення насаджень молодими деревами (рис. 6.10), лісосмуга Титано-магнієвого комбінату зможе щороку акумулювати до 1,89 кг фтору, 9,79 кг хлору й 666,21 кг сірки (1332,43 кг діоксиду сірки).

Захисні деревостани Феросплавного підприємства характеризується обмеженим видовим різноманіттям і включають лише 12 видів деревних рослин. У таблиці 6.10

подано оптимальні варіанти модернізації зелених насаджень цього підприємства. Види дерев, рекомендовані для додаткового озеленення у межах СЗЗ, повинні відповідати специфічним екологічним умовам регіону та виявляти стійкість до дії газоподібних поллютантів, характерних для виробничої діяльності заводу. До таких деревних порід належать *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus carpiniifolia*, *Ailanthus altissima*, *Fraxinus lanceolata* та *Ulmus parvifolia*.

Таблиця 6.10  
Варіанти запропонованих доповнень до захисних зелених масивів Феросплавного заводу

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Ailanthus altissima</i>		15	12	10	7	14
$x_2$	<i>Betula pendula</i>			2	10	13	
$x_3$	<i>Catalpa bignonioides</i>	4		2	15	15	
$x_4$	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	12					
$x_5$	<i>Fraxinus lanceolata</i>		8	10	5	13	10
$x_6$	<i>Malus domestica</i>	1				7	
$x_7$	<i>Morus alba</i>	10	12				
$x_8$	<i>Populus alba</i>	30	15	10	10	10	10
$x_9$	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28				5	
$x_{10}$	<i>Salix alba</i>		20	27	15	5	25
$x_{11}$	<i>Ulmus carpiniifolia</i>			10	20	5	8
$x_{12}$	<i>Ulmus parvifolia</i>	1	15	12		5	18
$F_1$		1,48	1,46	1,46	1,46	146,7	146
$F_2$		6,45	6,43	6,40	6,41	6,41	6,41
$F_3$		89,50	89,66	89,56	89,85	83,93	83,89

Примітка як у таблиці 6.7

Максимальне залучення рекомендованих видів дерев (*Populus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus carpiniifolia*, *Fraxinus lanceolata* та *Ulmus parvifolia*) у планах доповнення зелених масивів Феросплавного заводу зафіксовано у варіантах 2, 6 та 3. Саме ці варіанти можна вважати найбільш доцільними для оптимального оновлення захисної лісосмуги СЗЗ підприємства.

Санітарно-захисні насадження Феросплавного заводу, які складаються із 1138 дерев, щороку протягом вегетаційного періоду формують близько 7096 кг листової фітомаси. В ній акумулюється 89,39 кг сірки, 6,3 кг хлору та 1,4 кг фтору. З урахуванням втрат, пов'язаних із вимиванням токсикантів атмосферними опадами та їх відтоком у вегетативні органи рослин (Ількун, 1978), фактичні цифри становлять 4,0 кг фтору, 18,0 кг хлору та 255,4 кг сірки (572,0 кг SO<sub>2</sub>). Реалізація запропонованих заходів щодо доповнення насаджень і заміни сухостійних дерев сприятиме підвищенню поглинальної здатності насаджень (рис. 6.11). Вже у перший рік очікується приріст акумуляції на 9,2 кг сірки, 0,3 кг фтору та 0,6 кг хлору. Через 10 років прогнозується збільшення накопичення до 4,6 кг фтору, 20,1 кг хлору й 286,0 кг сірки (еквівалентно 572,0 кг діоксиду сірки).

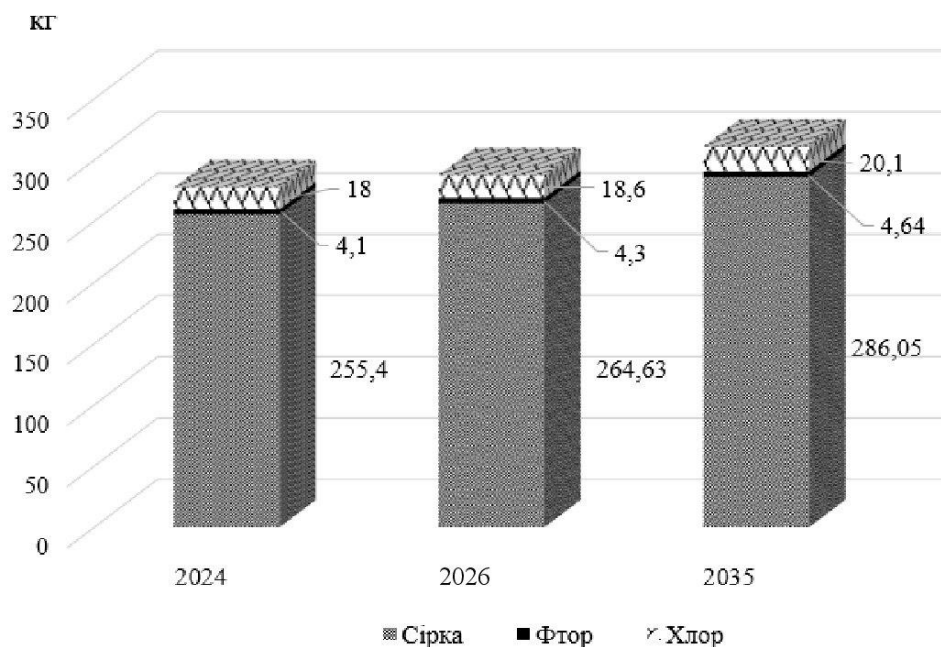


Рис. 6.11 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів Феросплавного підприємства, реальна (2024) та очікувана(2026, 2035 рр.), кг

У таблиці 6.11 представлені збалансовані варіанти доповнень зелених насаджень санітарно-захисної зони заводу «Вогнетрив» молодими деревами.

Таблиця 6.11

Варіанти запропонованих доповнень дерев до захисних зелених масивів заводу «Вогнетрив»

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Acer negundo</i>		18		10		
$x_2$	<i>Acer platanoides</i>		14				
$x_3$	<i>Aesculus hippocastanum</i>		15		15		
$x_4$	<i>Ailanthus altissima</i>			12	7	10	17
$x_5$	<i>Betula pendula</i>				7	3	
$x_6$	<i>Catalpa bignonioides</i>	67	14		5		
$x_7$	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1	5				
$x_8$	<i>Fraxinus lanceolata</i>			8	12	8	3
$x_9$	<i>Juglans regia</i>				7		
$x_{10}$	<i>Morus alba</i>	1	2		5		
$x_{11}$	<i>Picea abies</i>						
$x_{12}$	<i>Picea pungens</i>				12	5	10
$x_{13}$	<i>Platanus acerifolia</i>			17		18	13

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_{14}$	<i>Populus alba</i>	4	4	8		8	10
$x_{15}$	<i>Populus nigra</i>	6	6				
$x_{16}$	<i>Populus simonii</i>	1	1	10		5	
$x_{17}$	<i>Robinia pseudoacacia</i>			21		27	25
$x_{18}$	<i>Salix alba</i>	8	8				
$x_{19}$	<i>Tilia cordata</i>				8	4	
$x_{20}$	<i>Ulmus pumila</i>			12			10
	$F_1$	2,10	2,02	2,02	2,00	2,00	2,00
	$F_2$	11,19	11,16	11,15	11,14	11,15	11,16
	$F_3$	229,77	229,81	229,78	229,73	229,70	229,78

Примітка: як в табл. 6.7

Як уже зазначалося, оновлення деревостану СЗЗ доцільно здійснювати із залученням видів дерев, стійких до дії промислових токсикантів. Перший варіант вважається малоефективним через надмірну кількість *Catalpa bignonioides* (67 екземплярів). У варіантах 2 та 4 пріоритет надано *Acer platanoides*, *Acer negundo* та *Aesculus hippocastanum*. Однак слід враховувати, що *Acer negundo* вважається недовговічною породою, схильною до надмірного самовідновлення, що може дестабілізувати структуру насаджень, а інші два види дерев – недостатньо стійкі до техногенних поллютантів. Найкращими визнано модифікації 6, 5 та 3, які включають асортимент деревних рослин, стійких до техногенного навантаження.

Захисні деревостани заводу «Вогнетрив» нараховують 1949 екземплярів дерев, які впродовж періоду вегетації продукують близько 18233 кг листової маси. У ній накопичується орієнтовно сірки – 229,67 кг, хлору – 10,95 кг та фтору – 1,96 кг. З урахуванням втрат цих забруднювачів, пов'язаних із вимиванням атмосферними опадами та перерозподілом у вегетативні органи (Ількун, 1978), захисне насадження фактично здатне акумулювати фтору – 5,6 кг, хлору – 31,28 кг та сірки – 656,38 кг, що рівнозначно 1312,76 кг SO<sub>2</sub>.

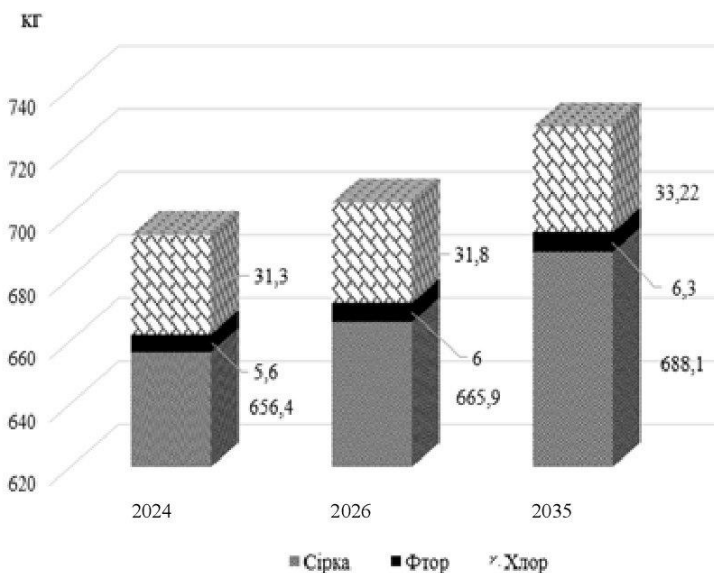


Рис. 6.12 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів підприємства «Вогнетрив», реальна (2024) та очікувана (2026, 2035 рр.), кг

Реалізація запропонованих планів досадження дозволить підвищити ефективність атмосфероочисної функції насаджень уже в перший рік: поглинання зросте на 0,5 кг хлору, 0,4 кг фтору та 9,5 кг сірки. У довгостроковій перспективі, через 10 років після впровадження заходів, лісосмуга С33 підприємства Вогнетрив забезпечуватиме щорічну акумуляцію 688,1 кг сірки (1376,1 кг SO<sub>2</sub>), 33,22 кг хлору та 6,3 кг фтору (рис. 6.12).

Таблиця 6.12

Варіанти запропонованих доповнень дерев до захисних зелених масивів  
Абразивного комбінату

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Acer negundo</i>		17				14
$x_2$	<i>Acer platanoides</i>		15		2	1	15
$x_3$	<i>Acer saccharinum</i>				5		5
$x_4$	<i>Aesculus hippocastanum</i>		5	7	2	4	8
$x_5$	<i>Armeniaca vulgaris</i>	62	8		3		
$x_6$	<i>Catalpa bignonioides</i>		13	5	2	2	7
$x_7$	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	33					
$x_8$	<i>Juglans regia</i>		7	3	2	2	5
$x_9$	<i>Morus alba</i>	1	6				9
$x_{10}$	<i>Picea abies</i>	1	6	10	5	3	8
$x_{11}$	<i>Picea pungens</i>	1	7	13	17	13	8
$x_{12}$	<i>Populus alba</i>	1	8	15	15	19	5
$x_{13}$	<i>Populus nigra</i>	1	8				8
$x_{14}$	<i>Pyrus communis</i>	1	1				
$x_{15}$	<i>Robinia pseudoacacia</i>			28	27	29	5
$x_{16}$	<i>Ulmus pumila</i>	1	1	21	22	24	5
	$F_1$	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
	$F_2$	2,38	2,40	2,39	2,39	2,39	2,39
	$F_3$	143,18	143,23	143,23	143,30	123,28	143,19

Примітка: як в табл. 6.7

Конценсусні варіанти доповнення деревами насаджень санітарно-захисної зони Абразивного підприємства (табл. 6.12) мають неоднаковий склад видів рослин, однак практично подібні за акумуляційним потенціалом поллютантів.. У зв'язку з цим доцільно обирати ті варіанти, у складі яких переважають породи, стійкі до аерополлютантів і адаптовані до екологічних умов регіону. Найбільш перспективними є варіанти 3, 4 та 5, у яких кількісно домінують *Ulmus carpinifolia*, *Juglans regia*, *Armeniaca vulgaris*, *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia* та *Morus alba*.

На теперішній час зелені захисні насадження Абразивного заводу продукують близько 11 424 кг листової маси, яка за час вегетації акумулює орієнтовно 58,04 кг сірки, 2,31 кг хлору та 0,70 кг фтору. З урахуванням втрат токсикантів внаслідок атмосферного вимивання та перерозподілу вегетативними органами рослин, фактичний потенціал поглинання становить 2,00 кг фтору, 6,57 кг хлору й 411,26 кг сірки (822,52 кг SO<sub>2</sub>).

У разі реалізації одного з рекомендованих варіантів досадження дерев вже у перший рік очікується приріст фітомаси на 306 кг, що забезпечить додаткову акумуляцію 10 кг сірки, 0,3 кг хлору та 0,1 кг фтору. За умови підтримання запропонованого складу

деревостану через 10 років насадження зможе акумулювати фтору – до 2,26 кг, хлору – 7,37 кг і сірки – 454,46 кг, що еквівалентно 908,92 кг діоксиду сірки. (рис. 6.13).

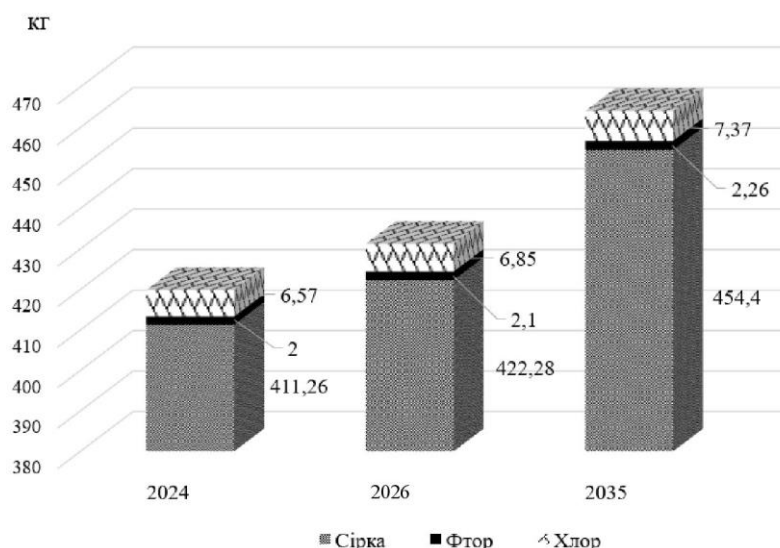


Рис. 6.13 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів Абразивного заводу, реальна (2024) та очікувана (2026, 2035 рр.), кг

Запропоновані плани модернізації деревних насаджень санітарно-захисної зони підприємства «Запоріжсталь» також відрізняються між собою за видовим складом. Водночас відмінності у потенціалі акумуляції досліджуваних поллютантів залишаються незначними.

Як уже вказувалося, при виборі оптимального варіанту озеленення підприємства необхідно надавати перевагу породам із підтвердженою стійкістю до промислових забруднювачів і стресогенних умов техногенного середовища.

У варіанті 1 плану озеленення передбачено висадити 44 шт. гіркокаштана звичайного, який не відзначається високою стійкістю до промислових забруднювачів. Подібна ситуація спостерігається і у другому та шостому варіантах (табл. 6.13), де переважають рослини *Acer pseudoplatanus*, що також мають обмежену толерантність до техногенних впливів. Натомість варіанти 3, 4 та 5 вдало змодельовані, вони демонструють асортимент деревних порід, який підібраний з урахуванням їх стійкості до газоподібних поллютантів та екологічних умов регіону.

На сьогодні захисні деревостани санітарно-захисної зони заводу «Запоріжсталь» налічують 3 136 деревних рослин, які формують близько 30 515 кг фітомаси листків. Упродовж одного вегетаційного періоду в асиміляційних органах цих рослин нагромаджується 384,0 кг сірки, 19,8 кг хлору і 3,8 кг фтору. З оглядом на втрати забруднювачів внаслідок вимивання опадами та внутрішнього перерозподілу (близько 65 % за Ільканом, 1978), фактична поглинальна здатність насадження протягом вегетаційного періоду становить 56,6 кг хлору, 10,9 кг фтору, 1 098,54 кг сірки (2 197,08 кг SO<sub>2</sub>).

У разі реалізації заходів з оновлення деревного складу, що передбачають досадження нових порід і заміну сухостою, вже в перший рік очікується приріст акумуляції на 21,09 кг сірки, 1,7 кг хлору та 0,3 кг фтору.

Через 10 років лісосмуга С33 підприємства «Запоріжсталь» буде здатна накопичувати: фтору – 11,7 кг, хлору – 60,7 кг, сірки – 1 166,94 кг, що дорівнює 2 333,88 кг діоксиду сірки (рис. 6.14).

Таблиця 6.13

Варіанти запропонованих доповнень до захисних зелених масивів заводу «Запоріжсталь»

Величини	Назва рослин	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Acer pseudoplatanus</i>		31				13
$x_2$	<i>Acer negundo</i>		18				13
$x_3$	<i>Aesculus hippocastanum</i>	44	15	5			20
$x_4$	<i>Ailanthus altissima</i>	44	10		4		5
$x_5$	<i>Armeniaca vulgaris</i>		10	35	40	38	5
$x_6$	<i>Betula pendula</i>		15	5		2	7
$x_7$	<i>Catalpa bignonioides</i>			5	5	2	15
$x_8$	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	30					
$x_9$	<i>Fraxinus lanceolata</i>			20	20	13	10
$x_{10}$	<i>Malus silvestris</i>						5
$x_{11}$	<i>Morus alba</i>		7				5
$x_{12}$	<i>Picea abies</i>		5	7	7	5	15
$x_{13}$	<i>Picea pungens</i>		5	7	7	5	15
$x_{14}$	<i>Populus alba</i>		15	15	15	20	8
$x_{15}$	<i>Populus balsamifera</i>						
$x_{16}$	<i>Populus nigra</i>	3	13			5	8
$x_{17}$	<i>Populus simonii</i>	19	19	22	17	15	8
$x_{18}$	<i>Pyrus communis</i>	14	14				
$x_{19}$	<i>Robinia pseudoacacia</i>			35	45	45	5
$x_{20}$	<i>Thuja occidentalis</i>						
$x_{21}$	<i>Thuja orientalis</i>	36					
$x_{22}$	<i>Tilia cordata</i>		14	8	5	2	15
$x_{23}$	<i>Ulmus pumila</i>			29	29	38	10
$x_{24}$	<i>Ulmus glabra</i>						5
	$F_1$	3,90	3,89	3,88	3,88	3,88	3,89
	$F_2$	20,31	20,44	20,35	20,39	20,43	20,33
	$F_3$	384,01	384,24	384,15	384,11	384,29	384,91

Примітка: як в табл. 6.7

Деревостани санітарно-захисної зони Трансформаторного заводу складається з 1 639 деревних рослин і характеризуються високим рівнем видового різноманіття – 24 види. Серед них переважають відносно стійкі породи до інгредієнтів промислових викидів: *Sophora japonica*, *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus lanceolata*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus parvifolia*, *Platanus acerifolia*.

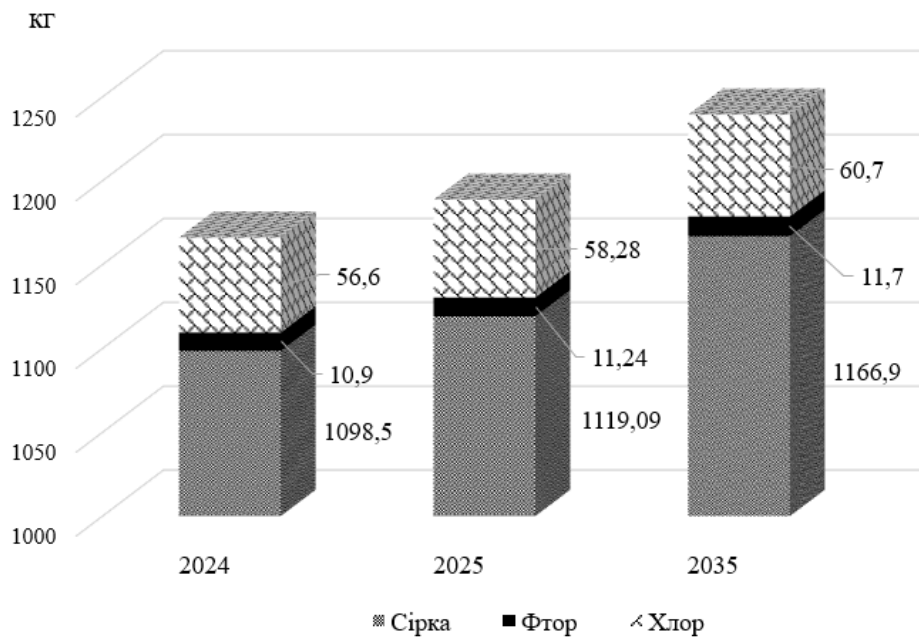


Рис. 6.14 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів заводу «Запоріжсталь», реальна (2024) та очікувана (2026, 2035 рр.), кг

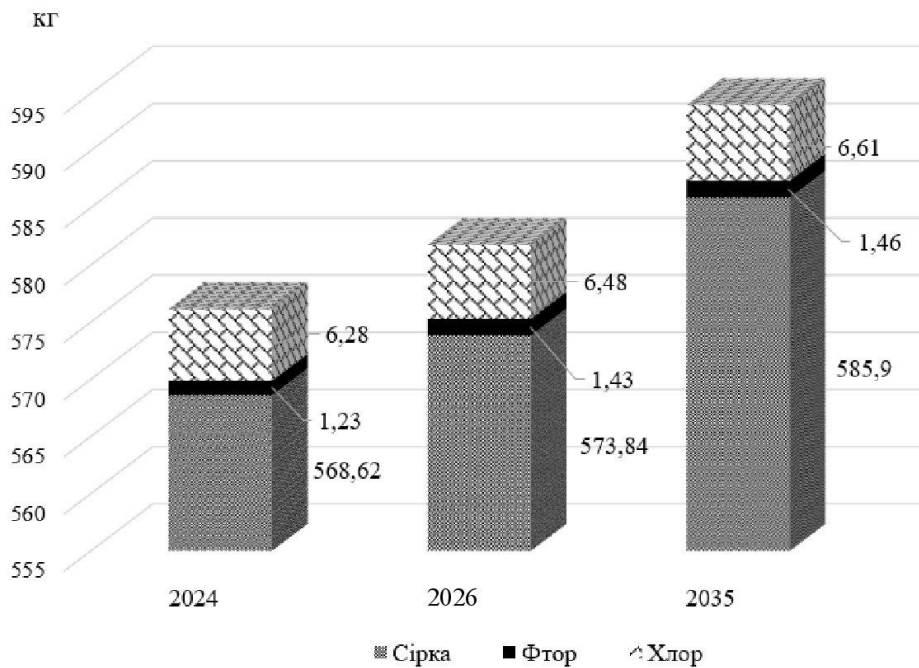


Рис. 6.15 – Акумуляюча здатність захисних зелених масивів Трансформаторного підприємства, реальна (2024) та очікувана (2026, 2035 рр.), кг

Таблиця 6.14

Варіанти запропонованих доповнень дерев до захисних зелених масивів  
Трансформаторного заводу

Величини	Назва рослини	Альтернативний варіант					
		1	2	3	4	5	6
$x_1$	<i>Acer negundo</i>					6	
$x_2$	<i>Acer pseudoplatanus</i>					10	
$x_3$	<i>Acer saccharinum</i>						
$x_4$	<i>Aesculus hippocastanum</i>				12	12	
$x_5$	<i>Ailanthus altissima</i>	12	14	18	1		9
$x_6$	<i>Armeniaca vulgaris</i>						
$x_7$	<i>Betula pendula</i>			3	4		3
$x_8$	<i>Catalpa bignonioides</i>				4	12	
$x_9$	<i>Cotinus coggygria</i>						
$x_{10}$	<i>Fraxinus lanceolata</i>	6	2	4			2
$x_{11}$	<i>Juglans regia</i>						
$x_{12}$	<i>Malus silvestris</i>						
$x_{13}$	<i>Platanus acerifolia</i>				1	1	
$x_{14}$	<i>Picea abies</i>				12		
$x_{15}$	<i>Pinus sylvestris</i>	6	2	8	1	1	6
$x_{16}$	<i>Populus nigra</i>						
$x_{17}$	<i>Populus pyramidalis</i>	2					
$x_{18}$	<i>Quercus robur</i>	4	4	2	4	1	
$x_{19}$	<i>Robinia pseudoacacia</i>	7	7	8	4		10
$x_{20}$	<i>Sophora japonica</i>	7	7				10
$x_{21}$	<i>Sorbus aucuparia</i>				1	1	
$x_{22}$	<i>Thuja orientalis</i>						
$x_{23}$	<i>Tilia cordata</i>			2			
$x_{24}$	<i>Ulmus pumila</i>	3	12	4			8
	$F_1$	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
	$F_2$	2,25	2,25	2,25	2,24	2,24	2,25
	$F_3$	198,80	198,80	198,81	198,80	198,20	198,81

Примітка: як в табл. 6.7

У змодельованих варіантах 4 та 5 представлені до висадження менш толерантні до аерополутантів види дерев, тоді як варіанти 1, 2 та 3 демонструють найкращу відповідність за асортиментом і є найдоцільнішими для реалізації в межах санітарно-захисної зони Трансформаторного підприємства.

Зелені насадження даного підприємства щорічно накопичує 15 795 кг листової маси. В ній нагромаджується 198,8 кг сірки, 2,2 кг хлору й 0,43 кг фтору (табл. 6.14). З урахуванням втрат, фактична поглинальна здатність становить 1,23 кг фтору, 6,28 кг

хлору й 568,62 кг сірки (1 137,24 кг SO<sub>2</sub>). За умови впровадження плану оновлення деревостанів, вже в перший рік прогнозується додаткова акумуляція 5,2 кг сірки, 0,2 кг хлору та 0,2 кг фтору. Через 10 років потенціал накопичення зросте до 1,46 кг фтору, 6,61 кг хлору й 585,9 кг сірки, що еквівалентно 1 171,8 кг діоксиду сірки (рис. 6.15).

Отже, для зелених зон промислових підприємств було визначено найбільш ефективні варіанти доповнення деревного складу відповідно до змодельованих компромісних планів. Так, для заводу «Вогнетрив» та Титано-магнієвого комбінату доцільним є впровадження варіантів 6, 3 і 5. У межах Феросплавного заводу оптимальними визнано варіанти 6, 2 і 3, а для підприємства «Запоріжсталь» та Абразивного комбінату – 5, 4 і 3. Для Алюмінієвого комбінату найкращими є варіанти 6 і 5. У санітарно-захисних зонах Трансформаторного заводу запропоновано реалізацію варіантів 3, 2 і 1, а для підприємства «Укрграфіт» – 5 і 2.

Листковий апарат деревних рослин, що зростають у санітарно-захисних насадженнях, демонструє специфічну здатність до поглинання аеротехногенних забруднювачів – сполук сірки, фтору, хлору та хлору. Така здатність є видовою особливістю та зумовлює різну ефективність фітомаси у процесі покращення якості атмосферного повітря. При цьому рівень акумуляції кожного з поллютантів визначається переважанням відповідного токсиканта у складі промислових викидів підприємства.

У процесі дослідження ідентифіковано деревні породи, які можуть бути використані як інформативні фітоіндикатори забруднення довкілля. Найвищі значення коефіцієнта відносного накопичення хлору зафіксовано у листках *Acer negundo*, *Betula pendula*, *Ailanthus altissima*, *Catalpa bignonioides*, *Elaeagnus angustifolia*, *Fraxinus lanceolata*, *Populus simonii* та *Ulmus laevis*. Найефективнішими індикаторами сірки виступили *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Fraxinus lanceolata*, *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia* та *Populus nigra*. У ролі біоіндикаторів фтору відзначено *Populus nigra*, *Acer platanoides*, *Catalpa bignonioides*, *Tilia cordata*, *Platanus orientalis* та *Ailanthus altissima*. Для хлору найвищі показники продемонстрували *Juglans regia*, *Catalpa bignonioides*, *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia* і *Acer negundo*. Саме ці деревні види можуть бути рекомендовані як надійні фітоіндикатори стану атмосферного повітря в умовах техногенного навантаження.

Щодо максимального абсолютного вмісту поллютантів, то найбільшу здатність до акумуляції сірки продемонстрували *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Salix alba*, *Populus alba*, *Populus simonii* і *Populus nigra*. Хлор у високих концентраціях накопичується в листках *Armeniaca vulgaris*, *Acer negundo*, *Ailanthus altissima*, *Acer platanoides*, *Fraxinus lanceolata*, *Tilia cordata* та *Robinia pseudoacacia*. Найбільший вміст фенолів виявлено у листках *Ailanthus altissima*, *Elaeagnus angustifolia*, *Juglans regia*, *Populus pyramidalis*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Populus simonii* та *Betula pendula*. У свою чергу, фтор у максимальних кількостях накопичується у листі *Ailanthus altissima*, *Platanus orientalis*, *Catalpa bignonioides*, *Acer pseudoplatanus*, *Armeniaca vulgaris*, *Populus nigra*, *Tilia cordata* і *Acer platanoides*. З урахуванням цих даних було змодельовано компромісні плани досадження деревних рослин і заміни сухостійних екземплярів у складі існуючих санітарно-захисних насаджень. При їх формуванні враховувалися газопоглинальні властивості листків різних видів, що дозволяє очікувати підвищення атмосфероочисної здатності лісосмуг. У підсумку здійснено прогнозні розрахунки обсягів поглинання аерополлютантів – як на перший рік після реалізації плану, так і на перспективу десятирічного періоду – окремо для кожного з досліджуваних підприємств.

Проте, обговорюючи можливості вилучення з повітря токсичних газів, доречно не переоцінювати ролі рослин. Оскільки обсяги викидів промисловими підприємствами забруднювачів в атмосферне повітря неспівмірні з газопоглинальною здатністю рослин. Але нехтувати принципом добору рослин за найвищою здатністю акумулювати гази

листками, як констатує Ф. М. Левон (2008), було б безрассудно, тому що зелені масиви здатні істотно доочищувати повітря. Завдяки фільтруючій діяльності зелених насаджень концентрація токсичних газів у повітрі санітарних зон заводів, за даними деяких дослідників, може суттєво знижуватися (Ількун, 1997; Sergeychik, 1997 та ін.). Загалом, втілення оптимальних варіантів запропонованих доповнень дерев до захисних зелених зон промислових підприємств, враховуючі багатофункціональність середовищевірної ролі рослин, вносить вклад в удосконалення формування цих зелених масивів і покращення їх захисної ролі.

## ПІДСУМКИ

Забруднення навколишнього середовища є однією з найгостріших глобальних проблем сьогодення. Найбільше загострення екологічної ситуації спостерігається в промислово розвинених містах, де функціонують масштабні виробничі кластери. Їхня діяльність супроводжується значними викидами до атмосфери пилу, оксидів сірки, азоту, озону, вуглецевих сполук, фтору, хлору, фенолів та інших токсикантів. Скупчення цих шкідливих речовин у навколишньому середовищі справляє негативний вплив на всі компоненти біосфери, включаючи здоров'я людини, провокуючи розвиток численних патологій. Серед регіонів України, що найбільше потерпають від техногенного навантаження, Запоріжжя займає провідне місце – на його території функціонує понад 200 промислових об'єктів.

У зв'язку з цим, упродовж останніх десятиліть все більшої актуальності набуває напрям оздоровлення довкілля з використанням фітореMediaційного потенціалу рослин. Наукові дослідження підтверджують надзвичайно важливу роль зелених насаджень, зокрема деревних рослин, у зменшенні концентрації шкідливих речовин у повітрі. Завдяки своїм морфологічним і фізіологічним властивостям вони здатні затримувати пил та поглинати газоподібні полютанти, частина яких може включатися в обмінні процеси. Значну частку в структурі екологічного захисту промислових зон займають санітарно-захисні насадження деревних рослин.

У даній монографії здійснено узагальнення експериментальних і теоретичних результатів досліджень екологічних та біологічних особливостей деревних порід, які формують насадження санітарно-захисних зон заводів потужного промислового комплексу м. Запоріжжя. Здійснені дослідження дозволили сформулювати низку важливих науково-практичних положень.

У межах санітарно-захисних зон 11 підприємств важкої промисловості ідентифіковано 49 видів деревних рослин. Видовий склад захисних деревних насаджень відчутно варіює: від 11 видів на території підприємства «Склофлюс» до 30 – у межах СЗЗ ПАТ «Запоріжсталь». Усі досліджувані лісосмуги мають фільтраційну структуру та відповідають вимогам за площею. Густота посадки дерев коливається в межах 126–208 екз./га, що нижче нормативного показника. Найнижчу густоту мають насадження заводів «Вогнетрив», «Склофлюс», «Феросплавів», а найвищу – «Укрграфіт».

На територіях таких заводів, як «Вогнетрив», «Дніпроспецсталь», «Запоріжсталь» і Титано-магнієвий комбінат суттєві площі займають зарості підросту заввишки 4–6 м, представлені видами *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Acer negundo*, які класифікуються як інвазійні. Їх надмірна кількість ускладнює функціонування захисних зелених масивів як ефективного фільтра. З метою оптимізації структури деревостанів доцільно провести розрідження таких угруповань, залишаючи інтервали між рослинами не менше 3 метрів.

Супутникові дані Landsat свідчать, що у 1990–2000 роках спостерігалось зменшення густоти зелених насаджень і збільшення відкритих ділянок. У період 2000–2010 років почалося відновлення густоти, а найзначніше її зростання відбувалося у період до 2020 року. У СЗЗ підприємств «Дніпроспецсталь», «Вогнетрив», «Запоріжсталь» і Титано-магнієвий комбінат приріст відбувався головним чином за рахунок самосіву інвазійних порід, а в захисних зонах інших заводів – завдяки посадці нових дерев, хоча й у незначних обсягах. З огляду на високий відсоток інвазійних видів у складі деревостанів СЗЗ, необхідно здійснювати системний моніторинг їх чисельності, запобігаючи надмірному поширенню, яке може призвести до дестабілізації екосистем.

Густота зелених насаджень у санітарно-захисних зонах (СЗЗ) промислових підприємств, я не відповідає нормативним вимогам щодо кількості дерев і чагарників (рекомендовані значення – 500–600 екз./га). З метою підвищення цього показника у складі деревостанів доцільно здійснити додаткові посадки деревних рослин, які демонструють високу стійкість до атмосферних забруднень. До рекомендованих деревних порід відносяться: *Ulmus carpinifolia*, *Fraxinus lanceolata*, *Ulmus parvifolia*, *Sophora japonica*, *Populus simonii*, *Ulmus pumila*, *Platanus acerifolia*, *Quercus robur*, *Populus alba*. Для збагачення видового складу доцільним є також введення чагарникових рослин – *Ligustrum vulgare*, *Rosa canina*, *Juniperus communis*, *Tamarix tetrandra*, *Euonymus europaea*, *Cornus alba*, однак їх частка не повинна перевищувати 10 % від загальної кількості дерев у лісосмузі.

Необхідно зазначити, що певні інвазійні види – *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima* – незважаючи на свій статус інвазійних, мають високий потенціал до виживання, толерантність до інгредієнтів промислових викидів і посухи, що є особливо важливим з огляду на специфіку умов місця досліджень.

Аналіз видового складу захисних зелених насаджень показав переважання інтродукованих рослин. Найбільше їх у СЗЗ підприємств «Феросплавів» – 99,2 %, «Склофлюс» – 97,7 %, «Запоріжсталь» 97,5 %, Титано-магнієвий комбінат – 96,1 %, «Дніпроспецсталь» – 95,0 %, «Вогнетрив» – 93,2 %. Водночас, найменша частка інтродукованих видів зафіксована у деревостанах заводів Трансформаторного – 45,6 % та Абразивного – 27,0 %. У захисних зонах переважаючими деревними породами є: *Acer negundo*, *Populus simonii*, *Robinia pseudoacacia*, *Morus alba*, *Ailanthus altissima*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Betula pendula*, *Catalpa bignonioides*, *Ulmus pumila*. Серед них тільки *Populus nigra* та *Betula pendula* є аборигенними рослинами. Види дерев *Ulmus pumila* й *Robinia pseudoacacia* виявлені в усіх вивчаємих зелених масивах СЗЗ заводів.

Оцінка флористичної подібності, проведена за коефіцієнтами Жаккара та Серенсена, виявила найменшу схожість у складі деревостанів СЗЗ підприємства «Склофлюс» та Трансформаторного заводу. Високий рівень подібності притаманний для насаджень заводу «Вогнетрив» та Титано-магнієвого комбінату, а також для деревних масивів останнього та заводу «Дніпроспецсталь», що пояснюється одночасним періодом їх закладання – 1960-ті роки.

Найвищі показники коефіцієнтів видового багатства за методами Маргалєфа і Шеннона зафіксовано для СЗЗ заводів «Запоріжсталь», «Укрграфіт», «Трансформатор» та Алюмінієвого комбіната. Мінімальні показники цих індексів виявлено у зелених насадженнях заводу «Склофлюс». Найбільше домінування окремих деревних видів, за індексами Сімпсона та Бергера-Паркера, характерне для насаджень СЗЗ підприємств «Феросплавів», «Склофлюс» та Абразивного комбінату, а найменше – для Трансформаторного заводу та «Укрграфіт».

У ході дослідження було проаналізовано таксаційні характеристики дерев досліджуваних захисних зелених масивів індустріальних заводів. Найбільш високі екземпляри домінуючих видів дерев – *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila* – зафіксовано у лісосмугах СЗЗ Трансформаторного заводу та підприємства «Укрграфіт», де висота найвищих дерев становить від 20,1 до 26,0 м. У більшості інших підприємств цей показник не перевищує 20 м, зокрема знаходиться в межах 18,1–20,0 м. У насадженнях підприємств «Коксохім» і «Склофлюс» максимальна висота дерева у діапазоні від 14,1 до 16,0 м, а заводу «Феросплавів» – від 16,1 до 18,0 м. Домінуючим класом висот для захисних деревостанів заводів «Склофлюс», «Коксохім», «Феросплавів», «Дніпроспецсталь» та Алюмінієвого комбіната є 10,1–12,0 м, тоді як

16,1–18,0 м – для зелених зон підприємств «Запоріжсталь», «Вогнетрив», «Трансформатор» та Абразивного комбінату.

Найбільша товщина стовбура дерев зареєстрована у насадженнях підприємства «Укрграфіт» — до 112 см, у той час як найменша (68,1–72,0 см) зафіксована в лісосмузі заводу «Дніпроспецсталь». Вищі значення діаметра спостерігаються у дерев Абразивного комбінату (84,1–88,0 см) та заводів «Запоріжсталь», «Феросплавів», «Склофлюс» (88,1–92,0 см). Основними деревними видами з найбільшими діаметрами стовбура є *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba*, *Populus nigra* та *Ulmus pumila*. Представники провідних порід досліджуваних деревних насаджень *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila* найчастіше потрапляють до наступних разрядів діаметрів: 28,1–32,0; 24,1–28,0; 20,1–24,0; см та висотних груп: 16,1–18,0; 14,1–16,0; 10,1–12,0; м.

Найвищі середні значення діаметра і висоти дерев зафіксовано в СЗЗ Трансформаторного заводу (38,4 см і 17,8 м відповідно). Це, ймовірно, зумовлено кращими умовами вирощування, догляду за зеленими насадженнями, а також меншим рівнем забруднення повітря. Ці середні показники найнижчі у дерев заводу «Коксохім» (28,4 см і 10,2 м).

Встановлено, що найбільша частка дерев у доброму життєвому стані (без видимих ознак ослаблення) спостерігається в СЗЗ Трансформаторного заводу – 20,13 % від загальної кількості рослин. Водночас, у зелених зонах підприємств «Запоріжсталь», «Коксохім» та «Феросплавів» частка ослаблених дерев значно перевищує аналогічний показник для захисних насаджень інших обстежених заводів, що пояснюється інтенсивними виробничими процесами та значними обсягами викидів.

За значеннями флуктуючої асиметрії листкових пластинок берези повислої (*Db*), найбільш виражений техногенний вплив відзначено в СЗЗ підприємств «Запоріжсталь», «Вогнетрив», «Дніпроспецсталь», «Коксохім», та Алюмінієвий комбінат (межі показника – 0,058–0,065). Найнижчі значення асиметрії виявлено у листках рослин лісосмуги Трансформаторного заводу (0,040), що свідчить про менше забруднення довкілля. Максимальна кількість стовбурових деформацій та пошкоджень зафіксована у дерев СЗЗ таких підприємств, як «Запоріжсталь», «Феросплавів» та «Коксохім». У санітарно-захисних зелених насадженнях підприємств «Склофлюс» і «Трансформатор» таких порушень виявлено значно менше.

Здійснення оцінювання інтегрального віталітетного стану дерев дозволило виизначити їх види, що характеризуються високою стійкістю до умов техногенного навантаження: *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus parvifolia*, *Morus alba*, *Ulmus laevis*, *Platanus acerifolia*, *Populus alba*, *Fraxinus lanceolata*, *Picea pungens*. Аналіз коефіцієнта життєвого стану деревостанів у санітарно-захисних зонах промислових підприємств засвідчив, що всі вони знаходяться в стані ослаблення, або пошкодження. Його значення коливається в межах від 72,1 для деревних насаджень Трансформаторного підприємства (що вказує на найкращу ситуацію) до 59,2 для підприємства «Вогнетрив», де стан насаджень є найгіршим. За величиною індекса життєвого стану найбільше пошкоджений деревостан у СЗЗ цього заводу, а також заводів «Коксохім» і «Запоріжсталь».

Встановлено, що накопичення основних токсикантів – сірки, хлору та фтору – у листках деревних рослин (при контамінації повітря їх сполуками) відбувається протягом усього вегетаційного періоду, але максимально молодими листками після завершення їх росту. У випадку фенольних сполук, найінтенсивніше акумуляція фіксується саме в період інтенсивного росту листкових пластинок. Найвищий рівень концентрації забруднювачів у листках визначено наприкінці вегетації.

Показано, що рівень забруднення листя дерев напряму корелює з обсягами викидів відповідного поллютанта у виробничому процесі підприємства. Проте встановлено, що ступінь зростання концентрації забруднювача в листовій масі, як правило, не є пропорційною фактичним обсягом його надходження в атмосферу

Проведено ранжування підприємств за ступенем накопиченням кожного з вказаних поллютантів (фтор, хлор, сірка, феноли) у листках дерев, що зростають у межах їх СЗЗ. При цьому відмічено, що порядок розташування підприємств у рейтингу забруднення повітря за різними токсикантами суттєво відрізняється.

В умовах значного антропогенного навантаження надзвичайно важливим є створення ефективних біологічних фільтрів, спроможних до акумулювання токсикантів за одночасної стійкості до їх дії. На основі газопоглинальної здатності листя деревних рослин запропоновано рекомендовані породи для висадки у зонах переважного забруднення тим чи іншим елементом:

- для зон із високим рівнем викидів хлору: *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Fraxinus lanceolata*;
- для зон із домінуванням сірки: *Robinia pseudoacacia*, *Populus simonii*, *Populus alba*, *Salix alba*, *Populus nigra*;
- для фенольного забруднення: *Elaeagnus angustifolia*, *Populus nigra*, *Ailanthus altissima*, *Populus pyramidalis*, *Populus alba*, *Populus simonii*;
- для фтору: *Populus alba*, *Salix alba*, *Catalpa bignonioides*, *Populus pyramidalis*, *Populus simonii*, *Populus nigra*.

До цього списку доречно додати види дерев, що віднесені до другої групи за здатністю акумулювати вказані забруднюючі речовини, (середньонаопичуючі) у листках, але характеризуються високою стійкістю в захисних зелених зонах промислових підприємств. Ці породи доцільно висаджувати у відповідних ділянках СЗЗ для посилення очищувального потенціалу зелених насаджень.

Однак, як вже вказувалося, масштаби викидів токсичних газів у атмосферне повітря промисловими підприємствами і можливості їх акумуляції листям рослин неспівмірні. Тому середовищеочисна роль рослин може бути лише ефективним доповненням до технічних і технологічних заходів охорони повітряного басейну. Низка дослідників зазначали доцільність створення у межах санітарно-захисних зон зелених насаджень з високою газопоглинальною здатністю. Хоча у зоні з високим рівнем забруднення газоочисна роль рослин була малоефективною (Getko, 1989; Левон, 2008).

Аналіз значень індексів відносного накопичення забруднюючих речовин дозволяє визначити найбільш інформативні види дерев для фітоіндикації стану атмосферного повітря. Так, за результатами накопичення сполук сірки найбільш показовими є листки *Populus alba*, *Populus nigra* та *Betula pendula*; хлоровмісні поллютанти найкраще індикуються листками *Acer negundo*, *Catalpa bignonioides* та *Robinia pseudoacacia*; фенольні сполуки – *Catalpa bignonioides*, *Betula pendula*, *Elaeagnus angustifolia*; фтор – *Ailanthus altissima*, *Catalpa bignonioides* та *Populus nigra*.

На основі отриманих результатів були розроблені компромісні моделі оновлення насаджень у санітарно-захисних зонах промислових об'єктів, які передбачають досадження деревних рослин і заміну пошкоджених або відмерлих екземплярів. Для кожного з підприємств із шести запропонованих варіантів були відібрані два-три оптимальні – з урахуванням видової специфіки, кількісної структури та адаптивного потенціалу рослин. Реалізація найбільш ефективних варіантів планів оновлення дозволить значно підвищити повітроочисний потенціал зелених насаджень СЗЗ. Також були здійснені розрахунки потенційного приросту акумуляції аерополлютантів, який

забезпечуватиметься листовим апаратом додатково висаджених дерев відповідно з обраними варіантами.

У сучасних умовах однією з найактуальніших задач у сфері екологічної безпеки великих індустріальних регіонів є впровадження науково обґрунтованих підходів до підвищення стійкості та ефективності функціонування захисних деревних насаджень при промислових підприємствах. Проведення комплексного аналізу видового складу, структурних характеристик, життєвого стану та динаміки змін деревостану СЗЗ є ключовою передумовою для планування їх раціональної реконструкції й формування довгострокових прогнозів розвитку та оздоровлення екологічної ситуації в промислових районах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Абдулоєва О., Карпенко Н., Сенчило О. (2008). Обґрунтування «чорного списку» загрозованих для біорізноманіття інвазійних видів рослин України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Біологія. 008. Вип. 52–53. С. 108–110.
2. Абдулоєва О. С., Карпенко Н. І. (2012). Обґрунтування критеріїв інвазійного потенціалу чужинних видів рослин в Україні. Чорноморський ботанічний журнал. Т. 8, № 3. С. 252–256.
3. Алексєєва Т. М. (2014). Біоіндикація як метод екологічної оцінки стану природного навколишнього середовища. Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського. № 2 (85). С. 166–171.
4. Алексєєва Т. М. (2014). Ґрунтово-рослинний покрив як показник забруднення атмосферного повітря важкими металами. Український гідрометеорологічний журнал. № 14. С. 16–22.
5. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cn.dsns.gov.ua>.
6. Антоняк Г. Л., Мамчур З. І., Першин О. І. та ін. (2015). Біологічна доступність металів та їх акумуляція в тканинах рослин. Вісник проблем біології і медицини. Т. 3, № 2. С. 11–16.
7. Атаманюк Ю. А., Костюченко Л. Л. (1981). Озеленення санітарно-захисних зон. Київ: Будівельник. 64 с.
8. Байцим А. І., Талах М. В., Стратій В. І. (2016). Використання нормального вегетаційного індексу для моніторингу стану рослинного покриву НПП «Вижницький» на основі даних супутникової зйомки. Молодий вчений. № 5 (32). С. 208–213.
9. Барбарич А. І., Брадїс Є. М., Вісюліна О. Д., Володченко В. С., Доброчаєва Д. М., Карнаух Є. Д., Катїна З. Ф., Котов М. І. та ін., 1965. Визначник рослин України. Видання друге, виправлене і доповнене. Відп. ред. Д. К. Зєров. Київ: Урожай, 1965. 875 с.
10. Бардиш Б., Бурштинська Х. (2014). Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Вип. II (28). С. 82–88.
11. Баскакова Л. В., Кравченко Н. Б., Сафонова О. О. (2017). Вплив діяльності Новокаматорського машинобудівного заводу на навколишнє природне середовище. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Екологія. № 17. С. 89–98.
12. Баштаннік М. П., Жемера Н. С., Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. (2014). Стан забруднення атмосферного повітря над територією України. Моніторинг і стан довкілля: наук. праці УкрНДГМІ. Вип. 266. С. 70–93.
13. Белоконь К. В. (2018). Дослідження впливу викидів промислових підприємств на забруднення атмосферного повітря в заводському районі м. Запоріжжя. Хімічні технології та інженерія. Біотехнології та біоінженерія. Екологія. Т. 2 (33). С. 91–96. DOI: 1.31319/2519-2884.33.2018.206
14. Белоконь К. В., Яскевич Я. О. (2017). Аналіз екологічної безпеки викидів, що містять оксид вуглецю і вуглеводні, промислових підприємств. Зб. тез доповідей I-го спеціалізованого міжнародного Запорізького екологічного форуму. Запоріжжя: Запорізька торгово-промислова палата.
15. Белоконь К. В., Манїдіна Є. А., Куранова Я. О. (2018). Дослідження впливу викидів металургійних підприємств на забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. Металургія. № 1 (39). С. 136–140.
16. Бессонова В. П. (2001). Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля: навчальний посібник. Ч. 1. Запоріжжя: ЗДУ. 196 с.
17. Бессонова В. П. (1992). Вплив важких металів на пігментну систему листка. Український ботанічний журнал. Т. 49, № 2. С. 63–66.
18. Бессонова В. П. (1992). Вплив важких металів та полістимуліну К на антиоксидантну систему клітин листя чини запашної. Фізіологія і біохімія культурних рослин. Київ. Т. 24, № 2. С. 147–153.

19. Бессонова В. П. (1992). Стан пилку як показник забруднення середовища важкими металам. Екологія. № 4. С. 45–50.
20. Бессонова В. П. (1993). Ефективність осадження пилових частинок листям деревних та чагарникових рослин. Питання захисту природного середовища та охорони праці в промисловості: зб. наук. праць. Дніпропетровськ: Вид-во ДДУ. С. 34–37.
21. Бессонова В. П. (1999). Індикація забруднення навколишнього середовища важкими металами за їх накопиченням у рослинах. Питання біоіндикації та екології. № 4. С. 11–21.
22. Бессонова В. П. (1999). Цитофізіологічні ефекти впливу важких металів на ріст і розвиток рослин. Запоріжжя: ЗДУ. 208 с.
23. Бессонова В. П. (2006). Вплив важких металів на фотосинтез. Дніпропетровськ: ДДАУ. 218 с.
24. Бессонова В. П. (2019). Методологія і організація наукових досліджень у садово-парковому господарстві: навчальний посібник. Київ: Центр учбової літератури. 264 с.
25. Бессонова В.П.(2024). Фітоіндикація та фітомоніторинг: навчальний посібник. Дніпро: Герда. 206 с.
26. Бессонова В. П., Грицай З. В. (1998). Накопичення запасних речовин у насінні *Acer platanoides* L. та *A. negundo* L. під впливом промислових викидів. Укр. ботан. журн. Т.55. № 3.С. 289–291.
27. Бессонова В. П., Грицай З. В., Юсипів Ю. І. (1996). Використання цитогенетичних критеріїв для оцінки мутагенності промислових полютантів. Цитологія і генетика. Київ. Т. 30, № 5. С. 70–76.
28. Бессонова В. П., Джиган О. П. (2018). Дендрофлора насаджень ПАТ Дніпровського агрегатного заводу м. Дніпро. Питання біоіндикації та екології. Т. 23, № 2. С. 96–112.
29. Бессонова В. П., Зайцева І. А. (2008). Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. Питання біоіндикації та екології. Вип.13. № 2 С. 62–77.
30. Бессонова В. П., Іванченко О. Є. (2013). Шкала стійкості декоративних деревних рослин до інгредієнтів викидів підприємства чорної металургії. Рослини та урбанізація. Дніпропетровськ: ТОВ ТВГ «Куниця». С. 84–87.
31. Бессонова В. П., Іванченко О. Є. (2019). Оцінка видового різноманіття та життєвого стану придорожніх насаджень пр. С. Нігояна м. Дніпро. Питання біоіндикації та екології. Т. 24, № 1. С. 36–56.
32. Бессонова В. П., Іванченко О. Є. (2020). Видове багатство дендрофлори та естетичне оцінювання фітоценозів парку смт Магдалинівка. Scientific Bulletin of UNFU..Т. 30, № 1. С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300104>.
33. Бессонова В. П., Іванченко О. Є. (2021). Дизайнерські рішення та видовий склад рослин парку селища міського типу Петриківка Дніпропетровської області. Науковий вісник НЛТУ України. Т. 31, № 4. С. 27–35.
34. Бессонова В. П., Іванченко О. Є., Склярєнко А. В. (2024). Видове багатство деревних насаджень та їх життєвий стан в Обухівкому парку Дніпропетровської області. Scientific Bulletin of UNFU. Т. 34, № 2. С. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.36930/40340202>.
35. Бессонова В. П., Криворучко А. П. (2017а). Зміна показників структури однорічного пагона *Quercus rubra* в умовах антропогенного навантаження. Biosystems Diversity. Т. 3. С. 191–196. DOI: 10.15421/011729.
36. Бессонова В. П., Криворучко А. П. (2017б). Показники анатомічної структури листків дуба червоного (*Quercus rubra* L.) в урботехногенних умовах. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. Вип. 76. С. 29–37.
37. Бессонова В. П., Лижєнко І. І. (1990а). Динаміка деяких макроелементів у листі деревних рослин, що ростуть в умовах металургійних підприємств. Питання лісової біогеоценології, екології та охорони природи у степовій зоні. С. 107–115.
38. Бессонова В. П., Лижєнко І. І. (1990б). Пероксидне окислення ліпідів у вегетативних та генеративних органах рослин – показник забруднення середовища важкими металам. Екологічні проблеми охорони живої природи. Вип. 2. С. 46–47.
39. Бессонова В. П., Пономарьова О. А. (2016). Порівняльна оцінка життєвого стану інтродукованих і аборигенних деревних рослин примагістральної лісосмуги траси Дніпропетровськ–Донецьк. Інтродукція рослин. № 4. С. 65–72.

40. Бессонова В.П., Пономарьова О.А (2017). Морфометричні показники та вміст пластидних пігментів хвої *Picea pungens* залежно від відстані до автошляху. *Biosystems Diversit.* Вип. 25(2). С.96–101.
41. Бессонова В. П., Фендюк Л. М., Пересипкіна Т. М. (1996). Можливості використання декоративних квіткових рослин для фітоіндикації забруднення навколишнього середовища. Вміст зелених пігментів. *Український ботанічний журнал.* Т. 53, № 2. С. 319–324.
42. Бессонова В. П., Чонгова А. С. (2021). Видовий склад і таксаційні характеристики деревних рослин санітарно-захисної зони Придніпровського ремонтно-механічного заводу. *Науковий вісник НЛТУ України.* Т. 31, № 2. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.36930/40310203>.
43. Бессонова В. П., Чонгова А. С. (2023). Морфометричні показники деревних рослин в індикації забруднення довкілля. *Екологічні науки.* № 1(46). С. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.есо.1-46.18>.
44. Бессонова В. П., Юсипіва Т. І. (2001). Насіннєве відновлення деревних рослин та промислові полютанти (SO<sub>2</sub> і NO<sub>2</sub>). Запоріжжя: ЗДУ. 193 с.
45. Бессонова В. П., Юсипіва Т. Ю. (1998). Вплив забруднення природного середовища на плодоношення деревних рослин. *Лісове господарство.* № 2. С. 29–40.
46. Бессонова В. П., Яковлева-Носарь С. О. (2014). *Фізіологія рослин.* Дніпропетровськ: Свідлер. 596 с.
47. Бессонова В. П., Яковлева-Носар С. О. (1999). Активність хлорофілази та пероксидного окислення ліпідів у листках декоративних квіткових рослин за умов надлишку хрому в середовищі вирощування. *Фізіологія і біохімія культурних рослин.* Київ. Т. 31, № 5. С. 387–391.
48. Бессонова В. П., Яковлева-Носар С. О. (2004). Стан асиміляційного апарату і нетто-фотосинтез віргінільних деревних рослин за умов пріоритетного забруднення хлористими сполуками. *Проблеми екології та охорони природи.* № 4. С. 157–162.
49. Бойко Т. О., Дементьєва О. І. (2018). Екологічні основи створення зелених насаджень на територіях загальноосвітніх закладів міста Херсона. *Таврійський науковий вісник.* № 100(1). С. 276–282.
50. Бородіна Н. А., Вирожемський В. К. (2004). Оцінка впливу хлористих протиожеледних матеріалів на навколишнє середовище при зимовому утриманні автомобільних доріг. *Дороги й мости.* № 2. С. 14–17.
51. Букша І. Ф., Волкова Р. Є., Пастернак В. П., Пивовар Т. С., Яроцький В. Ю. (2014). Методичні підходи до оцінки біорізноманіття лісів на прикладі дібров лісостепу Харківської області БелДУ. *Серія: Природничі науки.* Т. 27, № 10. С. 24–33.
52. Буцяк А. А., Буцяк В. І., Музіка Л. І. (2018). Використання рослин-біоіндикаторів для оцінки стану атмосферного повітря в зоні діяльності Добротвірської ТЕС. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького.* Т. 89. С. 122–126. DOI: [10.32718/nvlvet8922](https://doi.org/10.32718/nvlvet8922).
53. Василенко І.А., Пивоваров О.А., Трус І.М., Іванченко А.В. (2017). *Урбоекологія.* Дніпро: Акцент ПП. 309 с.
54. Василенко О. В., Нікітіна О. В., Балабак О. А., Балабак А. В., Гнатюк Н. О. (2024). Моніторинг рівня пилового навантаження в м. Умань. *Таврійський науковий вісник.* № 136(1). С. 181–185. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1>.
55. Васькін Р. А., Васькіна І. В. (2009). Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.* № 5(58). С. 109–112.
56. Вергун О. А., Пушкаренко М. В., Алексеєнко А. Р. (2015). Аналіз впливу сталеплавильного виробництва в Україні на оточуюче середовище. *Металознавство та термічна обробка металів.* № 4. С. 57–61.
57. Вітенко В. А., Вітенко Д. В., Шевчук М. М. (2020). Сучасний стан деревних і чагарникових рослин у буферній зоні села Степашки. *Наукові записки Уманського державного педагогічного університету (серія «Природничі науки»).* Вип. 23. С. 63–66.
58. Вирожемський В., Бородіна Н. А., Трух М. (2006). Екологічні наслідки зимового утримання автомобільних доріг. *Автошляховик України.* № 2(190). С. 35–38.
59. Войко Н. Ю., Добровольська О. Ю. (2017). Роль зелених насаджень в організації комфортного міського середовища. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування.* № 47. С. 231–237.

60. Ворон В.П. (2021). Аеротехногенна трансформація лісів України. Ч. 1. Забруднення атмосфери викидами сірки та азотутримуючих фітотоксикантів та важких металів. Х.: ТОВ Планета Прінт. 257 с.
61. Ворон В.П., Прищеп А.М., Івашинюта С.В., Грицюк І.І., Ткач О.М. (2023). Особливості антропогенного пошкодження сосняків Полісся. Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки. В.1 (101). С. 33–50.
62. Вороновський Г. К., Переверзев В. М. (2000). Екологія та енергетика. Харків: Курсор. 274 с.
63. Гаврикова В. С. (2014). Скринінг видів клена (*Acer*) як тест-об'єктів для оцінювання ступеня забруднення навколишнього середовища. Науковий вісник НЛТУ України. № 6. С. 70–73.
64. Ганаба Д. В. (2015). Пилове навантаження на деревні насадження міста Хмельницького. Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки. № 19. С. 55–60.
65. Гелеш А. Б., Яворський В. (2016). Моніторинг газових викидів печей прожарювання пасти метатитанової кислоти. *Technology audit and production reserves*. № 2/4(28). С. 74–80.
66. Гетко Н. В. Газопоглинальна здатність дерев і кущів. Рослини і промислове середовище. Київ: Наукова думка. 1968. С. 112-115.
67. Глухов А. З., Штирц Ю. А., Демкович А. Є., Жуков С. П. (2011). Оцінка прояву флуктуючої асиметрії білатеральних ознак листової пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в умовах придорожніх екосистем промислового міста (на прикладі м. Донецька). *Промислова ботаніка*. № 11. С. 90–96.
68. Глухов О. З., Прохорова С. І. (2008). Індикація стану техногенного середовища за морфологічною мінливістю рослин. *Промислова ботаніка*. № 8. С. 3–11.
69. Глухов О. З., Сафонов А. І., Хижняк Н. А. (2006). Фітоіндикація метплопресінгу в антропогенно трансформованому середовищі. Донецьк: Норд-Прес. 360 с.
70. Глушко А. П., Гринь Н. В., Солов'єв В. А. (1977). Про особливості заходів з охорони атмосферного повітря в районі дії викидів промислових підприємств Донецька. *Гігієна і санітарія*. № 9. С. 87–89.
71. Гнатів П. С. Функціональна діагностика в дендрології. Львів: Камула, 2014. 336 с.
72. Гнатів П. С. (2008). Біоіндикація екоотопів за спектром хімічного складу сухої речовини дерев. *Науковий вісник Чернівецького університету. Збір. наук. праць*. В. 216. Біологія. Чернівці: Рута. С. 249–255.
73. Гнатів П. С., Мазепа Н. Г., Артемовська Д. В., Ган Т. В. (2000). Буферні властивості та морфо-анатомічні ознаки листків у техногенних умовах зростання дерев. *Наук. вісник УкрДЛТУ*. В. 10.2. С. 87–90.
74. Гнатів В. П., Артемовська Д. В. (2009). Вуглеводний метаболізм листків у зв'язку з мінеральним живленням дерев у деградованому довкіллі. *Наукові праці ЛАНУ*. Львів, РВВ НЛТУ України. В. 7. С. 98–103.
75. Голикова М. (2011). Вплив промислового забруднення на елементи анатомічної структури пагонів кленів. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*. № 57. С. 242–248.
76. Гомонай В.І., Ходаковський В. С. Лобко В. Ю. Вміст важких металів в ґрунтах м. Ужгорода. *Вісник УжНУ. Серія Хімія*. 74 Випуск 13. 2005 С. 74–76.
77. Горейко В. А. (1996). Теорія і практика захисного лісорозведення в умовах степового Придніпров'я. Дніпропетровськ: Пороги. 228 с.
78. Горохова В. А., Тубольцев Л. Г., Корченко В. П., Падун Н. І. (2009). Проблеми модернізації виробництва і екологічна ситуація в чорній металургії України. *Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії: Зб. наук. праць*. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України. Вип. 20. С. 358–368.
79. Гринь Н. В., Кривошей В. А., Хопახбеев В. І., Макогопов В. О. (1970). Гасіння коксу фенолвмісними стічними водами на Макіївському коксохімічному заводі. *Гігієна населених місць*. № 8. – С. 8–12.
80. Грицай З. В., Денисенко О. Г. (2011). Насіннева продукція деревних рослин в умовах забруднення довкілля викидами металургійного підприємства, *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. Т. 19. № 2. С. 40–44.
81. Гришко В. М., Сищиков Д. В., Піскова О. М., Данільчук О. В., Машталер Н. В. (2012). Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. *Донецьк: Донбас*. 303 с.

82. Гришко В. М. (2002). Ріст деревних рослин в умовах техногенного забруднення. Український ботанічний журнал. Т. 59, № 1. С. 79–89.
83. Гришко В. М., Демура Т. А. (2009). Перебіг процесів окислення ліпідів та роль аскорбінової кислоти у формуванні адаптаційного синдрому рослин за сумісної дії кадмію і нікелю. Доповіді Національної академії наук України. № 2. С. 154–162.
84. Гришко В. М., Зубровська О. М. (2015). Накопичення важких металів та перебіг вільнорадикальних реакцій в асиміляційних органах деревних рослин в умовах забруднення Фізіологія рослин і генетика. Т. 47, № 1. С. 47–57.
85. Гришко В. М., Піскова О. М. (2014). Особливості акумуляції важких металів у листках деревних рослин при аерогенному забрудненні екотопів. Інтродукція рослин. № 1. С. 93–100.
86. Гришко В. Н., Сищиков Д. В. (2012). Функціонування антиоксидантної системи та стійкість рослин при впливі важких металів і фтору. Київ: Наукова думка. 238 с.
87. Гром М. М. (2007). Лісова таксація. Львів: РВВ НЛТУ України. 416 с.
88. Губарь Л. М., Конякін С. М. (2020). Інвазійні чужорідні види рослин урочища «Феофанія». Екологічні науки. № 4(31). С. 167–173. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.26>.
89. Даценко Л. М., Непша О. В. (2004). Еколого-агрономічний стан ґрунтів Запорізької області. Соціально-економічні проблеми сталого розвитку українського суспільства: Зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф. (Мелітополь, 13 травня 2004 р.). Мелітополь: НКПГУ «ЗІДМУ». С. 50–51.
90. Даценко Л. М., Молодиченко В. В., Воронка В. П. (2014). Фізична географія Запорізької області. Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького. 200 с.
91. Даценко Л. М., Молодиченко В. В., Непша О. В. (2014а). Північно-Західне Приазов'я: геологія, геоморфологія, геолого-геоморфологічні процеси, геоекологічний стан. Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького. 308 с.
92. Доброчаєва Д. Н., Котов М. І., Прокудін Ю. Н. та ін. (1987). Визначник вищих рослин України. Київ: Наукова думка. 548 с.
93. Дзюма М. А., Кравчук Г. І. (2011) Екотехнологічні методи зниження рівня шуму антропогенного походження у м. Вінниця. Збірник наукових праць ВНАУ. Екологія. №8 (48). С.99–103
94. Довгаюк-Семенюк М. В., Величко О. І., Терек О. І. (2015). Вміст амонійного та нітратного нітрогену у рослинах конюшини лучної за дії нафтового забруднення ґрунту та підживлення фосфорно-калійними добривами. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. № 1(62). С. 94–99.
95. Долгова Л. Г., Козюкіна Ж. Г. (1972). До питання про біологічне очищення атмосфери в умовах коксохімічного підприємства. Український ботанічний журнал. Т. 29. № 2. С. 171–175.
96. Долина Л. Ф., Козачина В. А., Пристинський В. В. (2013). Моніторинг забруднення атмосферного повітря бенз(а)піреном та вуглеводнем Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. № 6. С. 91–97.
97. Дружинін М. А., Плешкановська А. М. (2014). Проблеми формування санітарно-захисних зон в плануванні міста. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. № 35. С. 237–341.
98. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами): чинні з 01.01.1998 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>.
99. Дубин Р. Б., Левусь Т. М., Фітак М. М. (2016). Стан вуличних насаджень центральної частини міста Хмельницького. Науковий вісник НЛТУ України. Т. 26. № 1. С. 41–45.
100. Дячок В. В., Захарко Я. М., Попович О. Р. (2013). Дослідження впливу підприємства з виробництва оздоблювальних будівельних матеріалів на стан довкілля. Теорія та практика виробництва. № 755. С. 131–134.
101. Дячок О. М., Дячок В. Ю. (2010). Санітарно-гігієнічна роль зелених насаджень у ландшафтному просторі. Наукові записки. Серія: Мистецтвознавство. № 1. С. 218–221.
102. Екологічний паспорт Запорізької області. 2021. 25 с.
103. Екологічний паспорт м. Запоріжжя. 2018. 29 с.
104. Жицька Л. І. (2013). Дослідження вмісту важких металів у елементах середовища урбоєкосистем міста Черкаси. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія: Біологія. № 5. С. 218–223.
105. Зав'язова Л. В. (2017). Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. Біологічні системи. Т. 9. № 1. С. 87–107.

106. Задорожна Д. В. (2013). Інтегральна оцінка життєздатності *Platanus × acerifolia* (Aiton) Willd. у міських насадженнях. Промислова ботаніка. № 13. С. 136–142.
107. Зайцева Н. В., Май І. В., Макс А. А., (2013). Загороднов С. Ю. Аналіз дисперсного і компонентного складу пилу для оцінки експозиції населення в зонах впливу викидів промислових стаціонарних джерел. Гігієна і санітарія. № 5. С. 19–23.
108. Закон України "Про охорону атмосферного повітря". Чинний з 17.11.1992 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>.
109. Звягінцева К. О. (2013). Інвазійні види в урбанофлорі Харкова. Український ботанічний журнал. Т. 70. № 4. С. 508–513.
110. Ібрагімова Е. Е. (2010). Вплив техногенного хімічного забруднення на величину флуктуючої асиметрії листової пластинки *Armeniaca vulgaris* L. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Біологія. Хімія. Т. 23(62), № 3. С. 62–67.
111. Іванова В. М., Непша О. В. (2018). Сучасний геоекологічний стан земельних ресурсів та ґрунтів Запорізької області. Соціальні та екологічні технології: актуальні проблеми теорії та практики: матеріали X міжнар. інтернет-конф. (Мелітополь, 24–26 січня 2018 р.). Мелітополь: ТОВ «Колор Принт». С. 95–97
112. Іванченко О. Є., Бессонова В. П. (2015) Фітосанітарний стан дендрофлори меморіального парку ім. В. М. Комарова с. Новоалександрівка Дніпропетровської області. Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства. Терноп. держ. с.-г. досл. станція. Тернополь; Крок. 2015. С.73–74.
113. Іванченко О. Є., Бессонова В. П. (2016). Індикація стану деревних рослин парків м. Дніпропетровськ за морфофізіологічними показниками. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. Т. 24, № 1. С. 109–118. DOI: 10.15421/011613.
114. Іванченко О. Є., Бессонова В. П. (2020). Видове різноманіття та естетична характеристика насаджень селищного парку (сmt Іларіонове). Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. № 49. С. 26–47. DOI: 10.15421/442003.
115. Іванченко О. Є., Бессонова В. П., Скляренко А. В. (2022). Використання даних супутника Landsat для оцінки стану рослинності парків м. Дніпро. Екологічні науки. № 3(42). С. 72–83. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.12>.
116. Ількун Г. М., Маховська М. О. (1978). Очищення повітря рослинами від сполук свинцю. Український ботанічний журнал. Т. 35, № 3. С. 246–251.
117. Ількун Г. М. (1978). Забруднювачі атмосфери і рослини. Київ: Наукова думка. 246 с.
118. Ількун Г. М., Моргун В. В. (1980). Поглинання та виділення іонів коріннями рослин в забрудненому атмосферному середовищі. Фізіологія рослин. Т. 27. № 1. С. 150–156.
119. Іщук Л. П., Іщук Г. П. (2020). Аналіз пігментного апарату листків деяких видів і культиварів родини *Salicaceae* Mirb. у зв'язку із забрудненням повітря в умовах м. Біла Церква. Екологічні науки. № 5(32). С. 91–95. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.13>.
120. Какодей А. О. (2011). Вплив металургійного виробництва на стан навколишнього середовища Донецької області. Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності. С. 207–213.
121. Калюжний Д. Н. (1981). Санітарний захист атмосферного повітря від викидів підприємств чорної металургії. Київ: Госмедвидат, 181 с.
122. Каміура М., Секіне Р. (2023). Матриця Жаккара для статистики нелінійних фільтрів. Журнал з контролю вимірювань та інтеграції систем. SICE. Vol. 16 (1). P 152–163.
123. Капелюш Н. В. (2011). Вплив аеротехногенного забруднення довкілля на репродуктивний розвиток представників роду *Platanus* L. Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. № 1(11). С. 66–72.
124. Капелюш Н. В. (2012). Вплив аерогенного забруднення на показники асиміляційного апарату деревних рослин міста Запоріжжя. Вісник Запорізького національного університету. № 3. С. 111–115.
125. Капелюш Н. В., Бессонова В. П. (2007). Середовищеочищувальна роль *Platanus orientalis* у насадженнях санітарно-гігієнічного призначення. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. Т. 15. № 1. С. 59–66.

126. Капелюш Н. Н., Бессонова В. П. (2005). Зміна анатомічних показників листків *Platanus orientalis* L. під дією промислових емісій (техногенного навантаження). Інтродукція рослин. № 1. С. 81–87.
127. Капустенко П. А., Ілюнін О. О., Перевертайло А. Ю. (2011). Моделювання процесу неперервного травлення листової вуглецевої сталі в умовах невизначеності. Інтегровані технології та енергозбереження. № 2. С. 35–44.
128. Караванович Х. Б., Глібовицька Н. І. (2020). Здатність деревних видів акумулювати важкі метали в умовах нафтозабруднених ґрунтів. Науковий вісник НЛТУ України. Т. 30, № 1. С. 83–87.
129. Кипоть Н. С., Белопощенко В. П., Некомнящая А. С., Стецено Е. А. (1976). Про виробництво фенольних продуктів на коксохімічних заводах України. Кокс і хімія. № 5. С. 31–34.
130. Кисельовська К. Є. (2009). Застосування методу дистанційного зондування Землі для екологічного моніторингу. ГІАБ. № 1. С. 188–190.
131. Клименко В. Г., Цигічко О. Ю. (2010). Забруднення атмосферного повітря. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна. 28 с.
132. Клопко Г. К. (1971). Про створення санітарно-захисних зон для підприємств чорної металургії. Оздоровлення оточуючого середовища населених місць. Київ: Будівельник. В. 9. С. 23–27.
133. Коржов М. М. (2006). Вплив діяльності гірничо-металургійного комбінату "Міттал Стіл Кривий Ріг" на природне середовище. Геолого-мінералогічний вісник. № 2(16). С. 90–93.
134. Коршиков І. І. (2004). Стійкість рослин до техногенних забруднювачів навколишнього середовища. Промислова ботаніка. № 4. С. 46–57.
135. Коршиков І. І., Медведєв В. А. (1976). Проникнення резорцину в листя деревних рослин. Рослини і промислове середовище. Київ: Наукова думка, С. 92–93.
136. Коршиков І. І., Котов В. С., Михеев І. П. (1995). Взаємодія рослин з техногенно забрудненим середовищем. Київ: Наукова думка. 192 с.
137. Космачова А. М., Цикало А. Л. (2014). До проблеми оптимізації санітарно-захисних зон. Холодильна техніка та технологія. № 3(149). С. 64–68.
138. Костишин С. С., Перепелиця О. О., Сметанюк О. І. (2011). Особливості накопичення фторидів в рослинах лучних біотопів Північної Буковини. Екологічний журнал. № 6. С. 843–849.
139. Кохан С. С. (2011). Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур. Космічна наука і технологія. Т. 17. № 5. С. 58–63.
140. Кохан С. С. (2012). Застосування вегетаційних індексів нормалізованої різниці та зваженої різниці при визначенні стану сільськогосподарських культур. Доповіді Національної академії наук України. № 2. С. 135–140.
141. Кохно М. А., Пархоменко Л. І. (2002). Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина І. Київ: Фітосоціоцентр. 720 с.
142. Коцун Л. О., Кузьмішина І. І., Коцун Б. Б., Тимчій А. (2015). Еколого-біологічні особливості *Pinus sylvestris* L. в умовах урбогенного середовища міста Луцька [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfaindmkaj>.
143. Коцур Н. І. (2013). Екологічні ризики і здоров'я людини: сучасні проблеми та шляхи розв'язання. Молодий вчений. Агросвіт. № 139. С. 91–94.
144. Кочановський А. М., Кульський Л. А., Сотнікова Є. В. (1974). Очищення промислових стічних вод. Київ: Техніка, 208 с.
145. Кочубей С. М., Кобець Н. І., Шадчина Т. М. (1990). Спектральні властивості рослин як основа методів дистанційної діагностики. Київ: Наукова думка. 112 с.
146. Криворучко А. П. Транспірація деревостанів дуба звичайного та дуба червоного у змішаних та однопорідних насадженнях Степу України. Питання біоіндикації та екології. 2019. Вип. 24, № 1. С. 23–35. DOI: 10.26661/2312-2056/2019-24/1-02.
147. Крупей К. С., Обруч К. І., Михайличенко А. А. (2019). Фітоіндикація стану доквілля за ступенем пошкодження листової пластинки *Betula pendula* Roth. Питання біоіндикації та екології. Т. 24, № 2. С. 66–74.
148. Крячко Г. Ю., Кузнецов М. С., Полетаєв В. П., Семенча С. М. Про умови доменної плавки переробного чавуну визначеної якості. Металургія. 2018. № 33. С. 9–16. DOI: 10.31319/2519-2884.33.2018.189.
149. Кучерявий В. П. (2003). Фітомеліорація. Львів: Світ. 368 с.

150. Кучерявий В. П. (2005). Озеленення населених місць : підручник. Львів : Світ. 456 с.
151. Левон Ф. М. (2000). Дослідження та оцінка особливостей росту сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у зв'язку з промисловим забрудненням середовища. Науковий вісник НАУ. Лісівництво. Київ. Вип. 27. С. 158–168.
152. Левон Ф. М. (2008). Зелені насадження в антропогенно трансформованому середовищі. Київ: ННЦШФЕ. 264 с.
153. Лещенюк О. М., Мазура М. Ю. (2021). Зміна анатомічних показників листків *Forsythia europaea* Degen & Bald. за дії викидів автотранспорту. Scientific Bulletin of UNFU. Т. 31. № 5. С. 29–35.
154. Литвинова Л. І., Левон Ф. М. Зелені насадження і охорона навколишнього середовища. Київ : Здоров'я, 1986. 168 с.
155. Ліпянін В. А., Стародуб І. В. (2015). Інженерна підготовка і благоустрій міських територій : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 293 с.
156. Лупінос С. М., Прутцьков Д. В., Листопад Д. О., Беспалов Р. І., Воляр Р. М. (2016). Вплив вуглецевого відновника на механізм і кінетику процесів хлорної металургії. Металургія. № 2(34). С. 43–47.
157. Луцишин О. Г., Радченко В. Г., Палапа Н. В., Яворовський П. П. (2010). Макроморфологічні зміни реакції-відповіді рослинних організмів вуличних насаджень Київського мегаполісу при стресовому рівні техногенного забруднення. Доповіді Національної академії наук України. № 6. С. 180–187.
158. Лялько В. І., Шпортюк З. М., Сахацький О. І., Сибірцева О. М. (2008). Використання індексів червоного краю та водних індексів за гіперспектральними даними EO-1 «Hyperion» для класифікації земного покриву. Космічна наука і технологія. Т. 14, № 3. С. 55–68.
159. Мадані М. М. (2022). Урбанізовані рослинні угруповання з домінуванням інвазійного *Acer negundo*. Аграрні інновації: меліорація, землеробство, рослинництво. № 14. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.12>.
160. Максимцев С. І., Дударець С. М. (2020). Шумопоглинальні властивості придорожніх лісових смуг різних конструкцій в умовах західного Полісся. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. Т. 11, № 3. С. 25–35. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest2020.03.003>.
161. Малиновський А. К. (2018). Основні напрями та результати досліджень фітоінвазій. Наукові записки Державного природознавчого музею. Львів. Вип. 34. С. 55–68.
162. Манідіна Є. А., Р. В. Смотраєв, О. О. Троїцька, Н. В. Беренда, В. Г. Рижков, С. Є. Суліменко. (2018). Технологія очищення промислових газових викидів від сульфуру (IV) оксиду (SO<sub>2</sub>) розчинами сполук заліза (II, III) Теорія і практика металургії. № 3–5. С. 33–36.
163. Мельниченко А. С., Кустов М. В., Кіреєв О. О., Лещова В. А.. (2020). Аналіз стану небезпеки на об'єктах зберігання хлору. Problems of Emergency Situations. № 31. С. 198–210.
164. Миленька М. М. (2008). Вміст фотосинтетичних пігментів в листках *Tilia cordata* Mill. та *Acer negundo* L. за умови урботехногенного забруднення довкілля. Науковий вісник НЛТУ України. Вип. 18(11). С. 193–197.
165. Мислюк О. О., Шейкіна О. Ю. (2008). Оцінка екологічної безпеки функціонування автотранспорту в умовах промислового міста. Вісник ЖДТУ. Технічні науки. № 3(46). С. 1–9.
166. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92\*\* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/v0044481-92>.
167. Морозова Т. В., Кирнична Л. І. (2012). Морфо-фізіологічні особливості деревних рослин в умовах аеротехногенного забруднення. Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Серія: Біологія. № 16. С. 173–177.
168. Мосякін А. С. (2012). Сучасні методи біологічного контролю (біологічного регулювання) активності інвазійних рослин: приклади й перспективи застосування. Наукові основи збереження біотичної різноманітності. Т. 3(10), ч. 1. С. 93–109.
169. Мочалова А. Д. (1975). Спектрометричний метод визначення сірки в рослинах. Сільське господарство за кордоном. № 4. С. 17–21.
170. Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України № 105 від 10 квітня 2006 року «Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0880-06>.

171. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 173 від 19.06.1996 «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0379-96>.
172. Немченко М. В. (2008). Пилозатримуюча здатність листків дерев *Catalpa bignonioides* Walt. і *Catalpa speciosa* Ward. в урботехногенних умовах зростання Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ, Т. 13(2). С. 39–46.
173. Оборська А. Е. (2010). Моделювання динаміки середньої висоти модальних деревостанів вільхи клейкої західного Полісся України. Науковий вісник НЛТУ України. № 1. С. 63–67
174. Олексійченко Н. О., Китаєв О. І., Лесюк А. М. (2009). Індукція флуоресценції хлорофілу листя липи серцелистої у вуличних насадженнях Києва. Наук. Пр. ЛАН України: Зб. наук. Праць. Львів: РВВ НЛТУ України. В. 7. С. 95–97.
175. Олексійченко Н. О., Ліханов А. Ф. (2016). Варіабельність морфологічних і біохімічних ознак листків рослин роду *Tilia* L. в урбосередовищі. Наукові праці Лісівничої академії наук України. Вип. 14. С. 23–30.
176. Панченко А. Ю., Тамбовцев Г. В., Непша О. В. (2019). Особливості геолого-геоморфологічної будови Приазовської низовини та Приазовської височини. Актуальні наукові дослідження у сучасному світі. № 3(47), ч. 2. С. 95–100.
177. Парпан В. І., Миленька М. М. (2009). Морфофізіологічні особливості *Populus pyramidalis* Ros. в умовах урботехногенного забруднення середовища. Екологія та ноосферологія. Т. 20, № 1–2. С. 84–90.
178. Парпан В. І., Юхимчук Г. В. (1984). Накопичення хлору листями деревних та кущових порід у Прикарпатті. Лісівництво та агролісомеліорація. № 68. С. 36–38.
179. Пашков Д. П. (2014). Аналіз можливостей застосування космічних систем дистанційного зондування Землі для вирішення екологічних завдань. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. № 2(15). С. 184–188.
180. Петрушкевич Ю. М. (2018). Насіннева продуктивність та посівні якості насіння *Betula pendula* Roth. в насадженнях Кривого Рогу. Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. Вип. 47. С. 39–47. DOI: 10.15421/411805.
181. Петрушкевич Ю. М. (2016). Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. № 1(72). С. 82–89.
182. Пляцук Д. Л. (2015). Проведення інтегральної експрес-оцінки якості атмосферного повітря в умовах зміни промислової інфраструктури регіону. Східно-Європейський журнал передових технологій. Сер. Екологія. № 3/6(75). С. 58–63. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.43753.
183. Поліщук О. І., Лесів М. С., Гілецька І. Б., Панченко В. О., Антоняк Г. Л. (2020). Акумуляція важких металів у деяких видах рослин на території міста Львова. Екологічні науки. № 1(28). С. 269–273. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.42>.
184. Поліщук С. З., Полторацька В. М., Мінков Ю. І. (2012). Аналіз розподілу приземних концентрацій забруднюючих речовин на границі СЗЗ коксохімічного виробництва ПАТ "Євраз ДМЗ ім. Петровського" за даними натурних спостережень та розрахунків на ПЕОМ. Зб. наук. пр. Нац. гірничого ун-ту. № 38. С. 172–178.
185. Полторацька В. М. (2014). Системний аналіз визначення ступеня забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин від автотранспорту та стаціонарних джерел коксохімічного виробництва ПАТ «Євраз ДМЗ ім. Петровського» на основі природних спостережень та даних розрахунків на ЕОМ. Вісник ПДАБА. № 3(192). С. 27–37.
186. Поляков А. К., Сусллова Є. П. (2004). Стан деревних рослин в умовах техногенного впливу та принципи формування стійких насаджень. Промислова ботаніка. № 4. С. 72–78.
187. Поляков А. К., Сусллова Є. П., Лихацька Є. М. (2007). Видовий склад і стан деревно-кущових рослин на території Авдіївського коксохімічного завод. Промислова ботаніка. № 7. С. 42–49.
188. Пономарьова О. А., Бессонова В. П. (2010). Порівняльна пилеосаджуюча здатність видів роду *Tilia* L. при зростанні в санітарних зонах промислових підприємств. Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. Кам'янець-Подільський: Вид-во ПДАТУ, С. 137–140.
189. Приседський Ю. Г. (2003). Закономірності пошкодження деяких видів деревних та чагарникових рослин за умов комплексного забруднення повітря сполуками фтору, сірки та азоту. Вісник Донецького університету. Серія: Природничі науки. С. 304–311.

190. Приседський Ю. Г. (2014). Характеристика стійкості деревних та чагарникових рослин до забруднення повітря сполуками сірки, фтору та нітрогену. Вісник Харків. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Серія: Біологія. № 21. С. 162–167.
191. Приседський Ю. Г. (2019). Накопичення фтору рослинами за забрудненням повітря HF. Матеріали наук. конф. професорсько-викладацького складу, наук. працівників і здобувачів наук. ступеня за підсумками НДР за період 2017–2018 рр. (16–17 трав. 2019 р.) : у 2 т. Т. 1. Вінниця : ДонНУ ім. Василя Стуса. С. 56–57.
192. Приседський Ю. Г., Лихолат Ю. В. (2017). Адаптація рослин до антропогенних чинників. Вінниця : Нілан-ЛТД. 272 с.
193. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : наказ МОЗ України від 19.06.1996 р. № 173.
194. Радченко В. Г. та ін. (2010). Функціональний стан гіркокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) в умовах техногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу. Екологія та ноосферологія. Т. 21, № 1–2. С. 4–18.
195. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Запорізькій області у 2021 році. 2022. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-Zaporizka-ODA-2021.pdf>.
196. Романик Н. М. (2003). Оптимізація девастрованих ландшафтів Яворівського гірничо-хімічного комбінату шляхом фітомеліорації. Проблеми урбоекології та фітомеліорації. Наук. вісн. Т. 13, № 5. С. 63–66.
197. Керівництво з проектування санітарно-захисних зон промислових підприємств. М.: ЦНІП містобудування, Будвидат, 1984. 88 с.
198. Савосько В. М., Домшина К. М., Савосько В. В. (2013). Морфологічні особливості листків берези повислої культурдендроценозів степу в умовах промислового міста. Питання біоіндикації та екології. Т. 18, № 2. С. 122–133.
199. Савосько В., Квітко М. Сучасний життєвий стан лісових культурфітоценозів Криворіжжя. Вісн. Львів. ун-ту. Серія: Біологія. 2017. В. 75. С. 75–82.
200. Савосько В. М., Лихолат Ю. В., Белик Ю. В., Григорюк І. П. (2019). Апофітні та адвентивні деревні види на девастрованих землях гранітних кар'єрів Криворіжжя. Біоресурси і природокористування. Т. 11. № 1–2. С. 14–25. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.01.002>
201. Семенова І. Г. Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух в Україні. Укр. гідрометеорол. журн. 2014. № 14. С. 43–52.
202. Склярєнко А. В. (2019). Оцінювання впливу промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листової пластинки *Betula pendula* м. Запоріжжя. Наук. вісн. НЛТУ України. Т. 29, № 6. С. 54–57. DOI: 10.15421/40290611
203. Склярєнко А. В., Бессонова В. П. (2017). Різноманіття дендрофлори санітарно-захисної зони ПАТ «Запорізький трансформаторний завод». Питання біоіндикації та екології. Т. 22, № 2. С. 17–21.
204. Склярєнко А. В., Бессонова В. П. (2017). Таксаційні характеристики та життєвий стан деревних рослин санітарно-захисної зони ПАТ «Український графіт». Науковий вісник НЛТУ України. Т. 27, № 1. С. 83–87.
205. Склярєнко А. В., Бессонова В. П. (2020). Оцінка щільності та стану зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя в динаміці з використанням даних супутника Landsat. Екологічні науки. № 1(28). С. 64–77.
206. Склярєнко А. В., Бессонова В. П. (2020). Вміст водорозчинних фенолів в листках деревних рослин санітарно-захисних зон заводів промислової зони Запоріжжя. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Біологія». № 34. С. 175–184. DOI: 10.26565/2075-5457-2020-34-18.
207. Слободяник М. П. (2014). Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за матеріалами ДЗЗ та вегетаційними індексами. Вісник геодезії та картографії. № 6(93). С. 16–20.
208. Слюсар А. В., Знак З. О., Калимон Я. А., Буклів В. Л. (2019). Методи очищення і перероблення сірковмісних газів (огляд). Питання хімії і хімічної технології. № 3. С. 83–97.
209. Смальяк Я. А. (1963). Вітрозахисні особливості лісових смуг різних конструкцій. Київ : Держ. вид-во сільськогосподарської літератури УРСР. 168 с.

210. Солошич І. О., Підліснюк В. В. (2009). Дослідження забруднення повітря транспортними потоками центральної частини м. Банська-Бистриця (Словацька Республіка). Екологічна безпека. № 4(8). С. 43–48.
211. Сніжко С. І., Шевченко О. Г. (2011). Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. Київ: Видавництво географічної літератури «Обрії». 297 с.
212. Спрягайло І. Ю. (2012). Інвазійні властивості *Acer negundo* L. в урбанізованих екосистемах України. Інтродукція рослин, № 4, С.52–54.
213. Стан довкілля в Запорізькій області. Інформаційно-аналітичний огляд. Запоріжжя: Запорізька обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів, 2019.
214. Стецишин М. М., Гришко С. В. (2011). Сучасні кліматичні особливості Запорізької області. Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія Географія і сучасність. Вип. 28(16). С. 82–86.
215. Тарабрін В. П., Кондратюк Є. М., Башкатов В. Г., Ігнатенко О. О., Коршиков І. І., Чертишева Л. В., Шацька Р. М. (1986). Фітотоксичність органічних і неорганічних забруднювачів. Київ: Наукова думка. 216 с.
216. Тарасова В. В. (2013). Оцінка впливу екологічного стану довкілля на здоров'я населення. Агросвіт. № 13. С. 3–6.
217. Трегубенко Г. П., Воронова Т. С., Гончаренко І. В. (2018). Забруднення атмосферного повітря автотранспортом: ризики для здоров'я населення та регулювання правових аспектів. Порівняльно-аналітичне право. № 5. С. 186–189.
218. Туник А. Х. (2007). Запоріжжя – зона екологічного лиха. Сучасні проблеми біології, екології та хімії. С. 438–440.
219. Турос О. І., Петросян А. А., Ананьєва О. В., Картавцев О. М. (2013). Розширення можливостей санітарно-епідеміологічної експертизи при обґрунтуванні встановлення розміру санітарно-захисної зони для феросплавного підприємства на етапі управління ризиком. Гігієна населених місць. Вип. 61. С. 62–70.
220. Фещенко О. Л., Каменева Н. В. (2016). Оцінка впливу діяльності металургійних підприємств на навколишнє природне середовище України. Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід. № 2. С. 28–32.
221. Хаданович А. В., Свириденко В. Г., Дроздова Н. І., Сухеев В. В. (2012). Надходження і розподіл іонів купруму (II), цинку, плюмбуму (II), кадмію в системі ґрунт–рослина. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Хімія. № 19. С. 58–62.
222. Харитонов М. М., Станкевич С. А., Клименко О. Є., Хлопова В. М. (2014). Визначення стійкості сортів кісточкових рослин до кислотних дощів, обумовлених утворенням аерозолів. Вісник Полтавської державної аграрної академії. № 4. С. 15–19.
223. Хвостов О. О., Капелюш Н. В. (2011). Вплив аерогенного забруднення на стан деревної рослинності м. Запоріжжя. Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ. Т. 16. № 1. С. 103–108.
224. Хоменко Л. О., Остапко О. І., Дуда О. В. (2011). Екологічні аспекти стоматологічних захворювань у дітей. Клінічна стоматологія. № 1–2. С. 53–63.
225. Хаземова Л. А., Радовська Т. Л., Круглова Н. В., Качалкова Т. К. (1983). Визначення фтору в рослинному матеріалі. Агрохімія. № 6. С. 66–72.
226. Царев Ю. В., Царева С. А., Буймова С. А., Кувикін Н. А., Беляєва О. В. (2014). Екологічний моніторинг лінійного промислового об'єкта методом дистанційного зондування Землі. Екологія і промисловість. № 5. С. 56–61.
227. Цурик Є. І. (2008). Таксація динаміки деревостанів. Львів: НЛТУ України. 345 с.
228. Чипиляк Т. Ф., Гришко В. М. (2008). Зміни анатомічної будови листків видів та сортів лілійнику за дії аерогенного забруднення. Вісн. Харків. нац. аграр. ун-ту. Серія: Біологія. № 3. С. 58–65.
229. Чипиляк Т. Ф., Лещенюк О. М. (2017). Оцінка життєвого стану рослин в насадженнях обмеженого користування. Наук. вісн. НУБіП. Серія: Лісівництво та декор. садівництво. Вип. 278. С. 105–112.
230. Чонгова А. С. (2013). Дендрофлора парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Запорізької області (структура, екологічна оцінка, декоративність): автореф. дис...канд. біол. наук. Київ. 18 с.

231. Шматков Г. Г., Мінков Ю. І. (2011). Оцінка забруднення атмосферного повітря викидами пилу від стаціонарних джерел промислових підприємств, які розташовані в м. Дніпропетровську. Екологія і природокористування. № 14. С. 1–4.
232. Юсипіва Т. І., Коростильова Т. С. (2015). Вплив техногенного навантаження на фізіологічні та цитогенетичні показники генеративних органів представників роду *Tilia*. Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. Біологія. Екологія. Т. 23, № 1. С. 10–14.
233. Юсипіва Т. І. (2016). Зміни анатомічних характеристик стебла однорічного пагона *Betula pendula* Roth. за дії антропогенного навантаження. Вісн. Львів. ун-ту. Серія: Біологія. Вип. 72. С. 125–133.
234. Юсипіва Т. І., Грицай З. В. (2014). Вплив аерогенного забруднення NO<sub>2</sub> та SO<sub>2</sub> на анатомічні показники стебла *Caragana arborescens* Lam. Журн. Харків. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Серія: Біологія. Вип. 1129. С. 123–127.
235. Юсипіва Т., Мясоїд Г. (2016). Вплив промислових викидів SO<sub>2</sub> та NO<sub>2</sub> на анатомічну структуру стебла *Salix alba*. Int. Lett. Nat. Sci. № 51. С. 6–13.
236. Яворовський П. П. Бар'єрно-оздоровча роль лісу і зелених насаджень в урбосередовищі. Лісове і сад.-парк. госп.-во. 2014. № 4. С. 1–11.
237. Яворський В. Т., Гелеш А. Б., Калимон Я. А. (2010). Моніторинг газових викидів із реакторів розкладу ільменіту у виробництві пігментного титану (IV) оксиду. Наук. вісті НТУУ "КПІ". № 5. С. 153–157.
238. Яковишина Т. Ф. (2013). Екологічна оцінка стану зелених насаджень індустріальних районів. Містобудування та терит. планування. Вип. 48. С. 525–529.
239. Abdallah F. B., Elloumi N., Mezghani I., Boukhris M., Garrec J.-P. (2006). Survival strategies of pomegranate and almond trees in a fluoride polluted area / Stratégies de survie du grenadier et de l'amandier dans une zone à pollution fluorée. Comptes Rendus Biologies. 329(3), P. 200–207. doi:10.1016/j.crv.2005.12.003.
240. Abdullah A. (2015). Sources of metal pollution in the urban atmosphere A case study: Tuzla, Istanbul. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 13(79), P. 1–9. doi:10.1186/s40201-015-0224-9.
241. Adam E., Mutanga O., Rugege D. (2010). Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. Wetlands Ecology and Management. 18(3), P. 281–296. doi:10.1007/s11273-009-9169-z.
242. Agostini E., Talano M. A., González P. S., Wevar A. L., Oller A. L. W., Medina M. I. (2010). Phytoremediation of phenolic compounds: recent advances and perspectives. In: Golubev I. A. (Ed.). Handbook of Phytoremediation. New York: Nova Science Publishers. Inc. P. 1–50.
243. Alfheim I., Wikström L. (1984). Air pollution from aluminum smelting plants I. The emission of polycyclic aromatic hydrocarbons and of mutagens from an aluminum smelting plant using the Söderberg process. Toxicological & Environmental Chemistry. 8(1). P. 55–72. doi:10.1080/02772248409357041.
244. Al-Jahdali M. O., Bin Bisher A. S. (2008). Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) accumulation in soil and plant's leaves around an oil refinery: a case study from Saudi Arabia. American Journal of Environmental Sciences. 4(1), P. 84–88. doi:10.3844/ajessp.2008.84.88.
245. Alvey A. A. (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. Urban Forestry & Urban Greening. 5(4). P. 195–201. doi:10.1016/j.ufug.2006.09.003.
246. Armolaitis K., Vaičys M. (1986). On the assessment of gas resistance and viability of woody plants in the zone of influence of nitrogen fertilizer plants. Monitoring of Forest Ecosystems. Kaunas. P. 21–23.
247. Artamanov V. I. (1986). Plants and the cleanliness of the natural environment. M.: Science. 126 p.
248. Asada K., Kanematsu S. (1979). Reaktivty of thiol with superoxide radical. Agr. Biol. Chem. Vol. 40, № 1. P. 1–16.
249. Asada K. (1980). Formation and scavenging of superoxide in chloroplasts with relation to injury by sulfur dioxide. Res. Rep. Inst. Env. Stud.. № 11. P. 165–169.
250. Baciak M., Warمیński K., Beś A. (2015). The effect of selected gaseous air pollutants on woody plants. Leśne Prace Badawcze. Forest. 76(4). P. 401–409. doi:10.1515/frp-2015-0039.
251. Bakhitova L. M., Pashin Yu. V. (1982). Modification of mutagenic and carcinogenic activity of chemical pollutants. Advances in Modern Genetics. 10. P. 131–142.

252. Banerjee A., Roychoudhury A. (2019). Fluorine: a biohazardous agent for plants and phytoremediation strategies for its removal from the environment. *Biologia Plantarum*. 63. P. 104–112. doi:10.32615/bp.2019.013.
253. Basovic M., Prica V., Velagic-Habul E., Bogdanovic Z. (1975). Absorption sposobnosti listanekih listopadnih parkovchih kultura za SO<sub>2</sub> u aerozagadenoj sredini. Golišn Biological Institute. Univerzitet u Sarajevu. 28. P. 29–38.
254. Beckett K. P., Freer-Smith P., Taylor G. (2000). Effective tree species for local air quality management. *Journal of Arboriculture*. 26(1). P. 12–19.
255. Berger W. H., Parker, F.L. (1970). Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Science*. 168. 1345–1347. <https://doi.org/10.1126/science.168.3937.1345>.
256. Bessonova V. P., Dzhygan O. P. (2018). Tree species diversity in sanitary protection zone of the "Biosphere corporation" in city of Dnipro, Ukraine. *Pytannya bioindykatsii ta ekolohii*. 23(1). P. 77–91.
257. Bessonova V. P., Sklyarenko A. V. (2020). The accumulation of fluoride by leaves of woody plants growing in the area of sanitary protection zones in the industrial region of Zaporizhzhya. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. 62(2). P. 128–138.
258. Bessonova V. P., Chongova A. S., Sklyarenko, A. V. (2020). Influence of multicomponent contamination on the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants commonly planted in for greening of cities. *Biosystems Diversity*. 28(2) P. 203–208 <https://doi.org/10.15421/012027>.
259. Bessonova V., Yusypiva T. (2021). Physiological Parameters of the State of *Pinus pallasiana* D. Don in different Forest Growth Conditions in Ravine Viyskovyi. *Ekológia (Bratislava) – Journal of the Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences*. 40(2). P. 137–144. <https://doi.org/10.2478/eko-2021-0016>.
260. Bhandari A. K., Kumar, A., Singh G. K. (2012). Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. *Procedia Technology*. Vol. 6 P. 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.10.074>.
261. Blood A., Starr G., Escobedo F., Chappelka, A., Staudhammer, C. (2016). How Do Urban Forests Compare? Tree Diversity in Urban and Periurban Forests of the Southeastern US. *Forests*. 7(6). P. 120. <https://doi.org/10.3390/f7060120>.
262. Boichenko B. M., Molchanov L. S., Synegin, I. V. (2016). Technological Methods to Protect the Environment in the Ukrainian BOF Shops. *Ironmaking and Steelmaking Processes*. P. 285–299. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39529-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39529-6_17).
263. Bordbar H., Yousefi A. A., Abedini, H. (2017). Production of titanium tetrachloride (TiCl<sub>4</sub>) from titanium ores: A review. *Polyolefins Journal*. 4(2). P. 150–169. <https://doi.org/10.22063/poj.2017.1453>
264. Borjigin S., Hasegawa K., Suzuki M., Hobo, T. (2009). Fluoride Ion-Selective Electrode Based on LaF<sub>3</sub> Crystal for Potentiometric Determination of Fluoride in Water. *Analytical Sciences*. 25(12). P. 1437–1441. <https://doi.org/10.2116/analsci.25.1437>.
265. Brandle K., Schnyder J. (1970). Abtransport von Schwefelverbindungen aus Bohnenprimärblättern (*Phaseolus vulg.*) nach Begasung mit H<sub>2</sub>S. *Experientia Bales*. 26. P. 112–123.
266. Brashears M. B., Fajvan M. A., Schuler T. M. (2004). An Assessment of Canopy Stratification and Tree Species Diversity Following Clearcutting in Central Appalachian Hardwoods. *Forest*. P. 54–64.
267. Bratkov V. V., Kravchenko I. V., Tuaeov G. A., Ataev, Z. V., & Abdulzhalimov, A. A. (2016). Application of vegetation indices for mapping landscapes of the Greater Caucasus. *Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Series Natural and Exact Sciences*. 10(4). P. 97–111.
268. Bunce H. W. F. (1979). Fluoride Emissions and Forest Growth. *Journal of the Air Pollution Control Association*. 29(6), P. 632–643. <https://doi.org/10.1080/00022470.1979.10470839>.
269. Bytnerowicz A., Olszyk D. M., Kats G., Dawson P. J., Wolf, J., Thompson C. R. (1987). Effects of SO<sub>2</sub> on physiology, elemental content and injury development of winter wheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 20(1). 37–47. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(87\)90026-0](https://doi.org/10.1016/0167-8809(87)90026-0).
270. Capuana M. (2011). Heavy metals and woody plants – biotechnologies for phytoremediation. *Forest. Biogeosciences and Forestry*. Vol. 4. P. 7–15. – doi:10.3832/ifer0555-004.
271. Carvalho-Oliveira R., Amato-Lourenço L. F., Moreira T. C. L., Rocha Silva D. R., Vieira B. D., Mauad T., Saiki M., Nascimento Saldiva P. H. (2017). Effectiveness of traffic-related elements in tree bark and pollen abortion rates for assessing air pollution exposure on respiratory mortality rates. *Environment International*. Vol. 99. P. 161–169.

272. Castagneyrol B., Jactel H., Vacher C., Brockerhoff E. G., Koricheva J. (2014). Effects of plant phylogenetic diversity on herbivory depend on herbivore specialization. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 51. P. 134–141. doi:10.1111/1365-2664.12175.
273. Cayanan D. F., Zheng Y., Zhang P., Graham T., Dixon M., Chong C., Llewellyn J. (2008). Sensitivity of five container-grown nursery species to chlorine in overhead irrigation water. *Hort Science*. Vol. 43. № 6. – P. 1882–1887. doi:10.21273/HORTSCI.43.6.1882.
274. Chen W., He Z. L., Yang X. E., Mishra S., Stoffella P. J. (2008). Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 33. No. 7. P. 943–952. doi:10.1080/01904160903242417.
275. Chen Y., Huang B., Zeng H. (2022). How does urbanization affect vegetation productivity in the coastal cities of eastern China? *Science of the Total Environment*. Vol. 811. Article ID: 152356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152356>.
276. Chung C. Y., Chung P. L., Liao S. W. (2011). Carbon fixation efficiency of plants influenced by sulfur dioxide. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 173, № 1–4. P. 701–707. doi:10.1007/s10661-010-1416-5.
277. Cicek A., Koparal A. S. (2004). Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tuncbilek Thermal Power Plant. *Chemosphere*. Vol. 57, № 8. P. 1031–1036. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.07.038.
278. Cornelissen T., Stiling P., Drake B. (2003). Elevated CO<sub>2</sub> decreases leaf fluctuating asymmetry and herbivory by leaf miners on two oak species. *Global Change Biology*. Vol. 10. P. 27–36. doi:10.1046/j.1529-8817.2003.00712.x.
279. Cornish L. (1968). Contribution á l'étude de l'absorption du soufre du dioxyde de soufre. *Annals of Physiology Vegetable*. Vol. 10, № 2. P. 99–112.
280. Coster D. G., Dongen V. S., Malaki Ph., Muchane M., Alcántara-Exposito A., Matheve H., Lens L. (2013). Fluctuating asymmetry and environmental stress: understanding the role of trait history. *PLoS One*. Vol. 8. № 3. doi:10.1371/journal.pone.0057966.
281. Davison A. W. (1971). The effects of de-icing salt on roadside verges. I. Soil and plant analysis. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 8, № 2. P. 555–561. doi:10.2307/2402891.
282. Desler Kh. G. (1981). Einfluß von Luftverunreinigungen auf die vegetation. Jena. 184 p.
283. Dochinger L. S. (1980). Interception of airborne particles by tree planting. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 9, № 2. P. 265–268.
284. Doganlar Z. B., Doganlar O., Erdogan S., Onal Yu (2012). Heavy metal pollution and physiological changes in the leaves of some shrub, palm and tree species in urban areas of Adana, Turkey. *Chemical Speciation and Bioavailability*. Vol. 24. № 2. P. 65–78. doi:10.3184/095422912X13338055043100.
285. Durga M., Bharathi S., Balakrishna Murthy P., Devasena T. (2015). Characterization and phytotoxicity studies of suspended particulate matter (SPM) in Chennai urban area. *Journal of Environmental Biology*. Vol. 36, № 3. P. 583–589.
286. Durmishidze S. V. Cleavage of the Aromatic Ring of Some Exogenous Compounds in Plants. Tbilisi: Metsniereba, 1975. 50 p.
287. Durmishidze S. V. (1977). Metabolism of Some Atmospheric Air Pollutants in Plants. Tbilisi: Metsniereba. 50 p.
288. Eisenach C., Angeli De A. (2017). Ion transport at the vacuole during stomatal movements. *Plant Physiology*. Vol. 174, № 2. P. 520–530. doi:10.1104/pp.17.00130.
289. Endress A. G., Kitasako J. T., Taylor O. C. (1967). Ultracytopathological characterization of leaves following short-term exposures of hydrogen chloride gas. *Atmospheric Environment*. Vol. 12. № 6–7. P. 1383–1390. – doi:10.1016/0004-6981(78)90080-X.
290. Endress A. G., Swiecki T. J., Taylor O. C. (1978). Foliar and microscopic observations of bean leaves exposed to hydrogen chloride gas. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 18, № 2. P. 139–149. doi:10.1016/0098-8472(78)90011-4.
291. Eydenzon M. A. (1964). Production of magnesium and chlorine by the electrolysis of molten magnesium chloride. M.: Metallurgy. 120 p.
292. Faller N. (1970). Schwefeldioxid aus der alsentscheidende Nährstoffquelle für die Pflanze. *Landwirtschaftliche Forschung*. Bd. 18. S. 48–54.

293. Farooq M., Saxena R. P., Beg M. U. (1988). Sulfur dioxide resistance of Indian trees I. Experimental evaluation of visible symptoms and SO<sub>2</sub> sorption. *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 40. № 3–4. P. 307–316. doi:10.1007/BF00163735.
294. Fatt V. (1961). *Atmospheric Dust*. Illinois. 322 p.
295. Fornasiero R. B. (2001). Phytotoxic effects of fluorides. *Plant Science*. Vol. 161. № 5. P. 979–985. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00499-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00499-X).
296. Fornasiero R. B. (2003). Fluorides effects on *Hypericum perforatum* plants: first field observations, *Plant Science*. Vol. 165. № 3. P. 507–513. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00205-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00205-X).
297. Fortes R., Prieto M. del H., García-Martín A., Córdoba A., Martínez L., Campillo C. (2015). Using NDVI and guided sampling to develop yield prediction maps of processing tomato crop. *Spanish Journal of Agricultural Research*. Vol. 13. № 1. P. 1–9. doi:10.5424/sjar/2015131-6532.
298. Foyer C. N., Noctor G. (2005). Oxidant and antioxidant signaling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell and Environment*. Vol. 28. P. 1056–1071.
299. Franco-Navarro J. D., Brumós J., Rosales M. A., Cubero-Font P., Talón M., Colmenero-Flores J. M. (2016). Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 67. № 3. P. 873–891. doi:10.1093/jxb/erv502.
300. Gami A. A., Shukor M. Y., Khalil K. A., Dahalan F. A., Khalid A., Ahmad S. A. (2014). Phenol and its toxicity. *Journal of Environmental Microbiology and Toxicology*. Vol. 2. No. 1. P. 11–24.
301. Ghorani-Azam A., Riahi-Zanjani B., Balali-Mood M. (2016). Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. *Journal of Research in Medical Sciences*. Vol. 21. P. 65. doi: 10.4103/1735-1995.189646.
302. Gioda A., Sales J. A., Cavalcanti P. M. S., Maiaka M. F., Maia L. F. P. G., Aquino Neto F. R. (2004). Evaluation of air quality in Volta Redonda, the main metallurgical industrial city in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. Vol. 15. No. 6. P. 856–864. doi: 10.1590/S0103-50532004000600012.
303. Giniyatullin R. Kh. (2010). Environment-purifying functions of balsam poplar and silver birch under conditions of industrial pollution. *Forestry Bulletin*. 5. P. 10–14.
304. Glass A. D. M., Bohm B. A. (1971). Uptake of simple phenols by barley roots. *Planta*. Vol. 100, №2. P. 93–105.
305. Godzik S. (1976). Pobieranie <sup>35</sup>SO<sub>2</sub> powietrza i rozmieszczenie <sup>35</sup>S u niektórych gatunków: badania porównawcze. Kraków. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN. 159 s.
306. Gostin I. (2009). Air Pollution Effects on the Leaf Structure of some Fabaceae Species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. Vol. 37. No. 2. P. 57–63.
307. Grossiord Ch., Granier A., Ratcliffe S., Bouriaud O., Bruelheide H., Chečko E., Forrester D., Dawud S. M., Finér L., Pollastrini M., Scherer-Lorenzen M., Valladares F., Bonal D., Gessler A. (2014). Tree diversity does not always improve resistance of forest ecosystems to drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 111. № 41. P. 14812–14815. doi: 10.1073/pnas.1411970111.
308. Guderian R. (1979). *Air Pollution. Phytotoxicity of Acidic Gases and its significance in Air Pollution control (Ecological studies 22.)* Springer-Verlag., Berlin- New York. 127 p.
309. Habashi F. (2016). Ilmenite for pigment and metal production. *Interdisciplinary Journal of Chemistry*. Vol. 1. № 1. P. 28–33. doi: 10.15761/IJC.1000105.
310. Häfner V. M., Michel H. G. (1975). Untersuchungen zur Abtrift des Schwefels und zum Rückstandsverhalten auf pflanzlichem Material (Rotklee und Apfelblätter, Sorte: „Golden Delicious“). *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig)*. Vol. 27. № 2. S. 24–27.
311. Haidouti C., Chronopoulou A., Chronopoulos J. (1993). Effects of fluoride emissions from industry on the fluoride concentration of soils and vegetation. *Biochemical Systematics and Ecology*. Vol. 21, № 2. P. 195–208. doi: 10.1016/0305-1978(93)90037-R.
312. Halecki W., Stachura T., Fudała W., Stec A., Kuboń S. (2022). Assessment and planning of green spaces in urban parks: A review. *Sustainable Cities and Society*. Article ID 104280. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104280>.
313. Haque N., Norgate T. (2013). Estimation of greenhouse gas emissions from ferroalloy production using life cycle assessment with particular reference to Australia. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 39. P. 220–230. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.08.010.

314. Haridoss S. (2017). Effect of air pollutants and its emission control strategies in petroleum refineries. *Journal of Industrial Pollution Control*. Vol. 33. No. 1. P. 730–740.
315. Heber U., Hüve K. (1997). Action of SO<sub>2</sub> on plants and metabolic detoxification of SO<sub>2</sub>. *International Review of Cytology*. Vol. 177. P. 255–286. doi: 10.1016/S0074-7696(08)62234-2.
316. Hejda M., Pysek P., Jarosík V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of Ecology*. Vol. 97. P. 393–403. doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x.
317. Hijano C. F., Domínguez M. D., Giménez R. G., Sánchez P. H., García I. S. (2005). Higher plants as bioindicators of sulphur dioxide emissions in urban environments. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 111. P. 75–88. doi: 10.1007/s10661-005-8140-6.
318. Hindawi I. J. (1968). Injury by sulfur dioxide, hydrogen fluoride, and chlorine as observed and reflected on vegetation in the field. *Journal of the Air Pollution Control Association*. Vol. 18, № 5. P. 307–312. doi: 10.1080/00022470.1968.10469130.
319. Holevas C. D. Airborne (1988). Pollutant Injury to Vegetation in Greece. *Air Pollution and Ecosystems*. P. 154–157. DOI: 10.1007/978-94-009-4003-1\_18.
320. Hopp N. V., Smirnov V. V. (2009). Using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess aboveground biomass stocks of tundra plant communities. *Interexpo Geo-Siberia*. Vol. 1. P. 1-6.
321. Hwangbo J.-K., Lee Ch.-S., Kim J.-H. (2000). Tolerance of several woody plants to sulphur dioxide. *Korean Journal of Biological Sciences*. Vol. 4. № 4. P. 337–340. DOI: 10.1080/12265071.2000.9647566.
322. International Programme on Chemical Safety. International chemical safety card entry for chlorine. ICSC 0126. Geneva: World Health Organization, 2009.
323. Israel G. W. (1974). A field study of the correlation of static lime paper sampler with forage and cattle urine. *Atmospheric Environment*. Vol. 8, № 2. P. 167–181.
324. Jacobson J. S., Weinstein L. H., Mccune D. C., Hitchcock A. E. (1966). The Accumulation of Fluorine by Plants. *Journal of the Air Pollution Control Association*. Vol. 16. № 8. P. 412–417. DOI: 10.1080/00022470.1966.10468494.
325. Jactel H., Brockerhoff E. G. (2007). Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters*. Vol. 10, № 9. P. 835–848. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01073.x.
326. Jarkowska H. (1985). Zawartosc i rozmieszczenie fluoru w roslinach. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie. Sesja Naukowa*. № 3. P. 107–124.
327. Jouraeva V. A., Johnson D. L., Hassett J. P. (2002). Differences in accumulation of PANs and metals on the leaves of *Tilia euchlora* and *Pyrus calleryana*. *Environmental Pollution*. Vol. 120. P. 331–338.
328. Каміура М., Секіне Р. (2023). Матриця Жаккара для статистики нелінійних фільтрів. *Журнал з контролю вимірювань та інтеграції систем*. SICE. Vol. 16 (1). P. 152–163 .
329. Karaivazoglou N. A., Papakosta D. K., Divanidis S. (2005). Effect of chloride in irrigation water and form of nitrogen fertilizer on Virginia (flue-cured) tobacco. *Field Crops Research*. Vol. 92, № 1. P. 61–74. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.09.006.
330. Katz M. (1962). Some Aspects of the Physical and Chemical Nature of Atmospheric Pollution. Geneva : WHO Publishing. P. 105–1–70.
331. Kavelenova L. M., Lishchinskaya S. N., Karandaeva L. N. (2001). Features of seasonal dynamics of water-soluble phenolic compounds in the leaves of weeping birch in urban conditions in the forest-steppe. *Chemistry of Plant Raw Material*. № 3. P. 91–96.
332. Kero I. T., Eidem P. A., Ma Y., Indresand H., Aarhaug Th. A., Grådahl S. (2019). Airborne Emissions from Mn Ferroalloy Production. *JOM*. Vol. 71. № 1. P. 349–365. <https://doi.org/10.1007/s11837-018-3165-9>.
333. Kessabi M., Assimi B., Braun J. P. (1984). The effects of fluoride on animals and plants in the South Safi zone. *Science of The Total Environment*. Vol. 38. P. 63–68. DOI: 10.1016/0048-9697(84)90208-0.
334. Kosiba P. (2008). Variability of morphometric leaf traits in small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) under the influence of air pollution. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, Vol. 77, No. 2.
335. Kharytonov M., Bensehoub A., Kryvakovska R., Klimkina I., Bouhedja A., Bouabdallah S., Chaabia R., Vasylyeva T. I. (2017). Risk assessment of aerotechnogenic pollution generated by industrial

- enterprises in Algeria and Ukraine. *Studia Universitatis "Vasile Goldiș". Seria Științele Vieții*. Vol. 27, № 2. P. 99–104.
336. Kluczynski B. (1983). Tolerancja drzew i krzewow na dziatanie wysokich stezen zwiakow fluoru w warunkach hutu aluminium "Konin." *Rocznik Arboretum Kornickie*. Warszawa, Poznan, Vol. 27. P. 235–264.
337. Kok L. J., Maas F. M., Godeke J., Haaksma A. B., Kuiper P. J. C. (1986). Glutathione, a tripeptide which may function as a temporary storage compound of excessive reduced sulphur in H<sub>2</sub>S fumigated spinach plants. *Plant and Soil*. Vol. 91, № 3. P. 349–352. doi: 10.1007/BF02198121.
338. Kotlarz J., Nasiłowska S., Rotchimmel K., Kubiak K., Kacprzak M. (2018). Species Diversity of Oak Stands and Its Significance for Drought Resistance. *Forests*. Vol. 9. P. 126. doi: 10.3390/f9030126.
339. Kozlov M. V., Gavrikov D. E., Zverev V., Zvereva E. L. (2018). Local Insect Damage Reduces Fluctuating Asymmetry in Next-year's Leaves of Downy Birch. *Insects*. Vol. 9. № 2. P. 56. doi: 10.3390/insects9020056.
340. Kozlov M. V., Wilsey B. J., Koricheva J., Haukioja E. Fluctuating Asymmetry of Birch Leaves Increases Under Pollution Impact. *Journal of Applied Ecology*. 1996. Vol. 33, № 6. P. 1489–1495. doi: 10.2307/2404787.
341. Krasinskiy N. P. (1950). Greening industrial sites with smoke-resistant assortment. M.: Publishing House "VI.S." 219 p.
342. Kulagin Yu. Z. Gas resistance of woody plants and sulfur accumulation in leaves. *Vegetation and Industrial Pollution*. 1970. P. 36–41.
343. Lawrence J. A., Weinstein L. H. (1982). The influence of air pollutants on plant productivity. Interaction of forest ecosystems and atmospheric pollutants. *Talli*. Vol. 1. P. 132–152.
344. Li X., Yu X., Wu K., Feng Z., Liu Y., Li X. (2020). Land-use zoning management to protecting the Regional Key Ecosystem Services: A case study in the city belt along the Chaobai River, China. *Science of the Total Environment*. Article 143167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143167>.
345. Li Z. G., Min X., Zhou Z. H. (2016). Hydrogen Sulfide: A Signal Molecule in Plant Cross-Adaptation. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 7, Article 1621. P. 1–12. doi: 10.3389/fpls.2016.01621.
346. Lin Ch., Liou N., Chang P.-E., Yang J.-Ch., Sun E. (2007). Fugitive Coke Oven Gas Emission Profile by Continuous Line Averaged Open-Path Fourier Transform Infrared Monitoring. *Journal of the Air & Waste Management Association*. Vol. 57, № 4. P. 472–479. – doi: 10.3155/1047-3289.57.4.472.
347. Lin J., Reddy M., Moorthi V., Qoma B. E. (2008). Bacterial removal of toxic phenols from an industrial effluent. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 7. № 13. P. 2232–2238.
348. Little H. (1977). Depositson of 2.75, 5.0 and 5.5 mm particles to plants and soil sarfacts. *Environmental Pollution*. Vol. 12. P. 293–305.
349. Liu X. N., Liu C. L., Chen L., Pei X., Qiao Q. (2020). Gradient effects and ecological zoning of ecosystem services in transition zone of Beijing Bay. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. Vol. 36. P. 276–285.
350. Liu Y., Zhang Y., Li Ch., Bai Y., Zhang D., Xue Ch., Liu G. (2018). Air pollutant emissions and mitigation potential through the adoption of semi-coke coals and improved heating stoves: Field evaluation of a pilot intervention program in rural China. *Environmental Pollution*. Vol. 240. P. 661–669. doi: 10.1016/j.envpol.2018.04.110.
351. Livesley S. J., McPherson E. G., Calfapietra C. The (2016). Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 45. P. 119–124.
352. Lorenzini G., Panattoni A., Guidi L. (1987). Ricerche sugli effetti fitotossici dei fluoruri atmosferici nei dintomi di una sorgente industrial. *Informatore Fitopatologico*. Vol. 37, № 3. P. 41–48.
353. Majumdar D., Bhanarkar A., Gangadhar Gavane A., Rao Ch. (2019). Measurements on Stationary Source Emissions and Assessing Impact on Ambient Air Quality around Two Indian Refineries. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. Vol. 13. № 2. P. 73–87. doi:10.5572/ajae.2019.13.2.073.
354. Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and its Measurement*. Reprinted by Chapman & Hall, 1996. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>.
355. Magurran A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford, UK: Blackwell Publishing. 256 p.
356. Makhelouf A. (2009). The Effect Of Green Spaces On Urban Climate And Pollution. *Iranian Association of Environmental Health (IAEH)*. Vol. 6. № 1. P. 35–40.

357. Makhelouf A. (2013). The contribution of the urban green spaces in the regulation of the microclimate and the improvement of the air quality in cities. *Asian Journal of Current Engineering and Maths*. Vol. 2. P. 190–195.
358. Malhotra S. S., Hocking D. (1976). Biochemical and cytological effects of sulphur dioxide on plant metabolism. *New Phytologist*. Vol. 76. № 2. P. 227–237. doi: 10.1111/j.1469-8137.1976.tb01456.x.
359. Mallegowda P., Rengaiyan G., Krishnan J., Niphadkar M. (2015). Assessing Habitat Quality of Forest-Corridors through NDVI Analysis in Dry Tropical Forests of South India: Implications for Conservation. *Remote Sensing*. Vol. 7. P. 1619–1639. doi:10.3390/rs70201619.
360. Mammadova A. O., Farzaliyeva N. M., Mammadova R. N. (2017). Environmental Assessment of the Tree Plant Leaves According to their Physiological State and Fluctuating Asymmetry Indices of Morphological Features, Which Widely Spread in Baku. *Journal of Ecology of Health & Environment*. Vol. 5. № 1. P. 19–21.
361. Mancera J. P., Rraggio E. M., Sia Su G. L., Rubite R. R. (2013). Plant Community Structure of a Secondary Forest at Barangay Camias, Porac, Pampanga, The Philippines. *Philippine Journal of Science*. Vol. 142. P. 135–143.
362. Manning W. D., Feder W. A. (1988). *Biomonitoring air pollution with plants*. London: Applied Science Publishers LTD. 240 p.
363. Margalef R. (1958). Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. *Perspectives in Marine Biology*. Berkeley. P. 323–347.
364. Martin S. C., Larivière C. (2014). Community Health Risk Assessment of Primary Aluminum Smelter Emissions. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. Vol. 56. № 5. P. 33–39. doi: 10.1097/JOM.000000000000135.
365. Mezghani I., Elloumi N., Abdallah F. B., Chaieb M., Boukhris M. (2005). Fluoride accumulation by vegetation in the vicinity of a phosphate fertilized plant in Tunisia. Vol. 38. № 1. P. 69–75.
366. Michałowicz J., Duda W. (2007). Phenols – Sources and Toxicity. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 16, № 3. P. 347–362.
367. Mikhailova T. A., Shergina O. V., Kalugina O. V. (2013). Accumulation and migration of elements-pollutants in “soil-plant” system within urban territory. *Natural Science*. Vol. 5, № 6. P. 705–709. doi:10.4236/ns.2013.56087.
368. Mitchell R., Maher B. A., Kinnersley R. (2010). Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and inter-species analyses. *Environmental Pollution*. Vol. 158. № 5. P. 1472–1480. doi: 10.1016/j.envpol.2009.12.029.
369. Morawitz D. F., Blewett T. M., Cohen A., Alberti M. (2006). Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 114. № 1–3. P. 85–106. doi: 10.1007/s10661-006-1679-z.
370. Moreno T., Pandolfi M., Querol X., Lavín J., Viana M., Alastuey A., Gibbons W. (2011). Manganese in the urban atmosphere: identifying anomalous concentrations and sources. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 18. № 2. P. 173–183. doi: 10.1007/s11356-010-0353-8.
371. Mu L., Fang L., Dou W., Wang C., Qu X., Yu Y. Urbanization-induced spatio-temporal variation of water resources utilization in northwestern China: A spatial panel model based approach. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 125. Article ID 107457. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107457.
372. Nagendra H., Gopal D. (2009). Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution, *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol. 9, № 2. P. 129–137. doi: 10.1016/j.ufug.2009.12.005.
373. Nath B., Acharjee Sh. (2013). Forest Cover Change Detection using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Study of Reingkhongkine Lake's Adjoining Areas, Rangamati, Bangladesh. *Indian Cartographer*. Vol. 33. P. 348–353.
374. Nguyen D., Castagnyrol B., Bruelheide H., Bussotti F., Guyot V., Jactel H., Jaroszewicz B., Valladares F., Stenlid J., Boberg J. (2016). Fungal disease incidence along tree diversity gradients depends on latitude in European forests. *Ecology and Evolution*. Vol. 6, № 8. P. 2426–2438. doi: 10.1002/ece3.2056.
375. Nikolaevsky N. S. (1979). *Biological Foundations of Plant Gas Resistance*. Nk: Science. 280 p.
376. Nikolaevsky V. S. (1981). *Biomonitoring, its significance and role in the system of environmental monitoring and protection*. Methodological and Philosophical Problems of Biology. P. 341–354.

377. Nikolaevsky V. S., Nikolaevskaya T. V. (1988). Methodology for determining maximum permissible concentrations of harmful gases for vegetation. 25 p.
378. Nowak D. J., Crane D. E., Stevens J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol. 4, № 3–4. P. 115–123. doi: 10.1016/j.ufug.2006.01.007.
379. Nowak D. J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol. 29. P. 40–48. doi: 10.1016/j.ufug.2017.10.019.
380. Okano K., Machida T., Totsuka T. (1989). Differences in ability of NO<sub>2</sub> absorption in various broad-leaved tree species. *Environ. Pollution*. Vol. 58. № 1. P. 1–17. doi: 10.1016/0269-7491(89)90233-9.
381. Okpodu C. M., Alscher R. G., Grabau El. A., Cramer C. L. (1996) Physiological, Biochemical and Molecular Effects of Sulfur Dioxide. *Journal of Plant Physiology*. Vol. 148, № 3–4. P. 309–316. doi: 10.1016/S0176-1617(96)80258-6.
382. Onder S., Dursun S. (2006). Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). *Atmospheric Environment*. Vol. 40. № 6. P. 1122–1133. doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.11.006.
383. Ort D. R., Govindjee. (1982). Energy conversion by plants and bacteria. *Photosynthesis*. Vol. 1 Academic Press. New York, London, Paris. P. 8–89.
384. Pacyna J. M., Pacyna E. G. (2001). An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environmental Reviews*. Vol. 9. P. 269–298. doi: 10.1139/er-9-4-269.
385. Pandey J. (2005). Evaluation of air pollution phytotoxicity downwind of a phosphate fertilizer factory in India. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 100. № 1–3. P. 249–266.
386. Pavlov I. N. (2005). Woody plants under conditions of anthropogenic pollution. Ulan-Ude: BNC SB RAS 406 p.
387. Pérez-Hoyos A., Martínez B., García-Haro F. J. Moreno Á. (2014). Gilabert M. A. Identification of ecosystem functional types from coarse resolution imagery using a self-organizing map approach: A case study for Spain. *Remote Sensing*. Vol. 6. P. 11391–11419. doi: 10.3390/rs61111391.
388. Pettorelli N., Laurance W. F., O'Brien T. G., Wegmann M., Nagendra H., Turner W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 51. P. 839–848. – doi: 10.1111/1365-2664.12261.
389. Pettorelli N., Vik J., Mysterud A., Gaillard J., Tucker C., Stenseth N. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. Vol. 20. P. 503–510. doi: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
390. Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich A., Langenfeld-Heyser R., Polle A. (2010). Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 85, No. 3. P. 251–255. doi: 10.1007/s00128-010-0047-4.
391. Pöykiö R., Torvela H. (2001). Pine needles (*Pinus sylvestris* L.) as a bioindicator of sulphur and heavy metal deposition in the area around a pulp and paper mill complex at Kemi, Northern Finland. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. Vol. 79. P. 143–154. doi: 10.1080/03067310108035906.
392. Prach K., Lencová K., Novák J., Trnková R. (2013). Spontaneous vegetation succession at different central European mining sites: a comparison across seres. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 20. P. 7680–7685.
393. Price K., Egbert S., Lee R., Boyce R., Nellis M. D. (1997). Mapping land cover in a high plains agroecosystem using a multi-date Landsat thematic mapper modeling approach. *Transactions of the Kansas Academy of Science*. Vol. 100. No. 1–2. P. 21–33. doi: 10.2307/3628436.
394. Pridham J. B. (1958). Metabolism of phenolic by the broad bean *Vicia faba*. *Nature*. Vol. 182. №4638. P. 795–796.
395. Pridham J. B. (1964). The phenolic glucosylation reaction in the plant Kingdom. *Phytochemistry*. Vol. 3. P. 493–498.
396. Pryseds'kyj Y. (2017). Influence of air pollution by compounds of fluorine, sulphur and nitrogen on changes of peroxidase and polyphenol oxidase activity in the leaves of trees and bushes. *Biosystems Diversity*. Vol. 25, № 3. P. 216–221. doi:10.15421/01173.

397. Paul R. (1974). L'absorption foliaire Le dioxyde De soufre atmospherique et son utilisation eventuelle par la plante. Annales de Gembloux. Vol. 80. № 2. P. 95–103.
398. Ragothaman A., Anderson W. A. (2017). Air Quality Impacts of Petroleum Refining and Petrochemical Industries. Environments. Vol. 4, № 66. P. 1–16. doi:10.3390/environments4030066.
399. Rahul J., Kumar Jain M. (2014). An Investigation in to the Impact of Particulate Matter on Vegetation along the National Highway: A Review. Research Journal of Environmental Sciences. Vol. 8. P. 356–372. doi:10.3923/rjes.2014.356.372.
400. Rezanejad F., Maid A., Shariatzade S. M. (2002). Effect of air pollution on water proteins, structure and cellular material release in *Lagerstroemia indica* L. (Lytraccae). XVII International Congress "Sexual Plant Reproduction in Nature and the Laboratory": Programme and Abstracts. Lublin: Maria Curie-Sklodowska University. P. 128.
401. Rhimi N., Ben Ahmed C., Elloumi N., Athar H. R., Noreen S., Ashraf M., Ben Abdallah F., Ben Nasry-Ayachi M. (2016). Morpho-anatomical and physiological changes in grapevine leaves exposed to atmospheric pollution. Applied Ecology and Environmental Research. Vol. 14, № 5. P. 77–89. doi:10.15666/aeer/1405\_077089.
402. Roberts B. R. (1974). Foliar sorption of atmospheric sulfur dioxide by woody plants. Environmental Pollution. Vol. 7. № 2. P. 133–140. doi:10.1016/0013-9327(74)90080-9.
403. Rostunov A., Konchina T., Zhestkova E., Gusev D., Kharitono S. (2017). The Dependence of Morphological and Physiological Indicators of the Leaves of Woody Plants on the Degree of Technogenic Pollution. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources". Rezekne, Latvia. Vol. 1. P. 235–239. doi:10.17770/etr2017vol1.2516.
404. Saborit J. (2009). Effects of air pollution on citrus tree. Tree and Forestry Science Biotechnology. Vol. 3. P. 92–104.
405. Sahu K. K., Alex Th. C., Mishra D., Agrawal A. (2006). An overview on the production of pigment grade titania from titania-rich slag. Waste Management & Research. Vol. 24. P. 74–79. doi:10.1177/0734242X06061016.
406. Sakschewski B., von Bloh W., Boit A., Poorter L., Peña-Claros M., Heinke J., Joshi J., Thonicke K. (2016). Resilience of Amazon forests emerges from plant trait diversity. Nature Climate Change. Vol. 6. № 11. P. 1032–1036. <https://doi.org/10.1038/nclimate3109>.
407. Sandner T. M., Zverev V., Kozlov M. V. (2019). Can the use of landmarks improve the suitability of fluctuating asymmetry in plant leaves as an indicator of stress? Ecological Indicators. Vol. 97. P. 457–465. doi:10.1016/j.ecolind.2018.10.038.
408. Schiff, J. A., & Hodson, R. C. (1973). The metabolism of sulfate. Annual Review of Plant Biology. Vol. 24. P. 381–414. doi:10.1146/annurev.pp.24.060173.002121.
409. Schreuder, M. D. J., Brewer, C. A. (2001a). Effects of short-term, high exposure to chlorine gas on morphology and physiology of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*. Annals of Botany. Vol. 88. № 2. P. 187–195. doi:10.1006/anbo.2001.1442.
410. Schreuder M. D. J., Brewer C. A. (2001b). Persistent effects of short-term, high exposure to chlorine gas on physiology and growth of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*. Annals of Botany. Vol. 88. № 2. P. 197–206. doi:10.1006/anbo.2001.1443.
411. Schwela D. (2000). Air pollution and health in urban areas. Reviews on Environmental Health. Vol. 15. № 1–2. P. 13–42. doi:10.1515/REVEH.2000.15.1-2.13.
412. Semadi A., De Cormis L. (1986). Influence de la pollution atmosphérique fluoree sur la vegetation de la region d'Annaba (Algerie). Pollution Atmosphérique. № 1–3. P. 24–30.
413. Semenytina A. V., Kretinin V. M., Taran, S. S. (2013). Principles of formation and placement of crop communities in sanitary protection zones on technogenic lands. Proceedings of N. V. AUK. Vol. 2(30). P. 1–7.
414. Semenytina, A. V., Noyanova, N. G., Kurmanov, N. V. (2018). Scientific justification of selection of plants for sanitary protection zones in arid regions. Science. Thought: Electronic Periodical Journal. №1. P. 52–67.
415. Sergeyichik, S. A. Woody Plants and the Industrial Environment. MK: Science and Technology. 1984. 279 p.
416. Sergeyichik S. A. Ecology and Plants. MK: Harvest. 1997. 224 p.

417. Seung-Ki B., Jin-Ho S., Young-Ho M. Young-Hee K., Kwang-Seol S., Geum-Ju S., Yong-Chil S. (2017). Mercury distribution characteristics in primary manganese smelting plants. *Environmental Pollution*. Vol. 227. P. 357–363. doi:10.1016/j.envpol.2017.04.097.
418. Seydafari R. A. (2013). Small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) in the anthropogenic conditions of Priyutova village. *Bulletin of KrasGAU. Ecology*. № 4. P. 126–130.
419. Seyyednejad S. M., Niknejad M., Koochak H. (2011). A review of some different effects of air pollution on plants. *Research Journal of Environmental Sciences*. Vol. 5. P. 302–309. doi:10.3923/rjes.2011.302.309.
420. Shannon C. E., Weaver W. (1963). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana (Illinois): University of Illinois Press. 132 p.
421. Sidhu S. S. (1979). Fluoride levels in air, vegetation and soil in the vicinity of a phosphorus plant. *Journal of the Air Pollution Control Association*. Vol. 29. № 10. P. 1069–1072. doi:10.1080/00022470.1979.10470899.
422. Silva H. V., Alves-Silva E., Santos J. C. (2016). On the relationship between fluctuating asymmetry, sunlight exposure, leaf damage and flower set in *Miconia fallax* (Melastomataceae). *Tropical Ecology*. Vol. 57. № 3. P. 419–427.
423. Simon E., Braun M., Vidic A., Bogyó D., Fábrián I. Tóthmérész, B. (2011). Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna. *Environmental Pollution*. Vol. 159. № 5. P. 1229–1233. doi:10.1016/j.envpol.2011.01.034.
424. Simpson, E. H. Measurement of diversity. *Nature*. 1949. Vol. 163, No. 4148. P. 668.
425. Sjöman, H., Östberg J. (2019). Vulnerability of ten major Nordic cities to potential tree losses caused by longhorned beetles. *Urban Ecosystems*. Vol. 22. № 2. P. 385–395. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-0824-8>.
426. Sklyarenko A. V. (2020). Trade-offs in the process of enrichment of tree plantations in sanitary protection zones of enterprises regarding the peculiarities of potential accumulation of toxicants in the leaves of trees. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. Vol. 6. № 1. P. 89–99.
427. Sklyarenko A. V., Bessonova V. P. (2018). Accumulation of sulfur and glutathione in leaves of woody plants growing under the conditions of outdoor air pollution by sulfur dioxide. *Biosystems Diversity*. Vol. 26. № 4. P. 334–338. doi:10.15421/011849.
428. Sklyarenko A. V., Bessonova V. P. (2019). Species diversity of tree plantations in industrial enterprise protective zones (Zaporizhzhya, Ukraine). *Acta Biologica Sibirica*. Vol. 5. № 1. P. 167–174.
429. Smith W. H. (1985). *Air pollution and forests*. New York. Springer-Verlag: 427 p.
430. Stratu A., Costică N., Costică M. (2016). Wooden species in the urban green areas and their role in improving the quality of the environment. *Present Environment and Sustainable Development*. Vol. 10. № 2. P. 173–184. doi:10.1515/pesd-2016-0035.
431. Subba J. R., Thammakhet C. Thavarungkul, P., Kanatharana P. (2016). Distributions of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in the lower atmosphere of an industrial area in Bhutan. *Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. Vol. 51, № 14. P. 1278–128. doi:10.1080/10934529.2016.1215196.
432. Suleimanov I. F., Mavrin G. V., Kharlyamov D. A., Belyaev E. I., Mansurova, A. I. (2015). Pollution of the air basin in the cities by motor transport and the industrial enterprises, quality assessment of atmospheric air with the use of calculation methods and instrumental control. *Modern Applied Science*. Vol. 9. № 4. P. 12–20. doi:10.5539/mas.v9n4p.
433. Sun L., Liao, X. Yan, X. Zhu G., Ma D. (2014). Evaluation of heavy metal and polycyclic aromatic hydrocarbons accumulation in plants from typical industrial sites: potential candidate in phytoremediation for co-contamination. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 21. № 21. P. 12494–12504. doi:10.1007/s11356-014-3171-6.
434. Supuka J. (1993). Multifactorial effects of the urban environment on the flow and cumulation of some allochthonous substances on the example of *Betula pendula* Roth. *Ekologia (Bratislava)*. Vol. 22. № 12. P. 199–213. (repr. 97).
435. Swain T., Hillis W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 10. № 1. P. 63–68. doi:10.1002/jsfa.2740100110.

436. Szostek R., Ciećko Z. (2017). Effect of soil contamination with fluorine on the yield and content of nitrogen forms in the biomass of crops. *Environmental Science and Pollution Research International*. Vol. 24. № 9. P. 8588–8601. doi:10.1007/s11356-017-8523-6.
437. Tangahu B. V., Abdullah S. R. Sh., Basri H., Idris M., Anuar N., Mukhlisin M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. Vol. 2011. P. 1–31. doi:10.1155/2011/939161.
438. Taylor K. O. (1988). Response of higher plants to phytochemical and other atmospheric pollutants at the organismal level. *Air Pollution and Plant Life*. Hydrometeoizdat. P. 247–272.
439. Taylor R. J., Basabe F. A. (1984). Patterns of Fluoride accumulation and growth reduction exhibited by Douglas Fir in the vicinity of an aluminum reduction plant. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*. Vol. 33. № 3. P. 221–235. DOI: 10.1016/0143-1471(84)90012-6.
440. Thomas M. D. (1962). Influence of atmospheric air pollution on distribution. *Air Pollution*. Geneva: WHO. P. 251–306.
441. Thompson L. K., Sidhu S. S., Roberts B. A. (1979). Fluoride accumulation in soil and vegetation in the vicinity of a phosphorus plant. *Environmental Pollution*. Vol. 18. P. 221–224. DOI: 10.1016/0013-9327(79)90104-6.
442. Towers G. H. N. (1968). Phenol metabolism in higher plants and microorganisms. *Biochemistry of Phenolic Compounds*. P. 200–233.
443. Treshou M. Diagnosis of the effects of air pollution and the similarity of symptoms. *Air Pollution and Plant Life*. John Wiley and sons. Ed. Treshou M. Chichester. New York: Brisbane. Toronto. Singapore. 1988. 533 p.
444. Tripodo P., Andelini R., Mazzoleni S., Nanes F. (1992). Foliar peroxidase activity and sulfate content as indicators of the urban pollution climate. *Annals of Botany*. Vol. 50. P. 49–61.
445. Tuygun G. T., Altuğ H., Elbir T., Gaga E. E. (2017). Modeling of air pollutant concentrations in an industrial region of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 24. № 9. P. 8230–8241. DOI: 10.1007/s11356-017-8492-9.
446. Ugolini F., Tognetti R., Raschi A., Bacci L. (2013). *Quercus ilex* L. as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: Effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic. *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol. 12. № 4. P. 576–584. DOI: 10.1016/j.ufug.2013.05.007.
447. Ugrekhelidze D. Sh. (1976). Metabolism of exogenous alkanes and aromatic hydrocarbons in plants. Tbilisi: Metsniereba. 223 p.
448. Ugrekhelidze D. Sh., Kavtaradze V. I. (1979). On the conjugation products of phenol in plants. *Metabolism of chemical pollutants in the biosphere in plants*. P. 43–49.
449. Ugrekhelidze D. Sh., Tsevelidze Dzh. Sh. (1967). Assimilation of phenol by higher plants. *Reports of the Academy of Sciences of the Georgian SSR*. Vol. 47. № 1. P. 43–49.
450. Uka U. N., Hogarh J., Belford E. J. D. (2017). Morpho-Anatomical and Biochemical Responses of Plants to Air Pollution. *International Journal of Modern Botany*. Vol. 7. № 1. P. 1–11. DOI: 10.5923/j.ijmb.20170701.01.
451. Ustin S. L., Gamon J. A. (2010). Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*. Vol. 186. № 4. P. 795–816. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x.
452. Vaz Monteiro M., Doick K. J., Handley P., Peace A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol. 16. P. 160–169. DOI: 10.1016/j.ufug.2016.02.008.
453. Vehviläinen H., Koricheva J., Ruohomäki K. (2007). Tree species diversity influences herbivore abundance and damage: meta-analysis of long-term forest experiments. *Oecologia*. Vol. 152. P. 287–298. doi:10.1007/s00442-007-0673-7.
454. Vijayan R., Bedi S. J. (1989). Effect of chlorine pollution on three fruit tree species at ranoli near Baroda, India. *Environmental Pollution*. Vol. 57. № 2. P. 97–102. doi:10.1016/0269-7491(89)90002-X.
455. Vike E., Håbjørg Atle. (1995). Variation in fluoride content and leaf injury on plants associated with three aluminium smelters in Norway. *Science of The Total Environment*. Vol. 163, № 1–3. P. 25–34. doi:10.1016/0048-9697(95)04497-O.
456. Vike E. (1999). Air-pollutant dispersal patterns and vegetation damage in the vicinity of three aluminium smelters in Norway. *Science of The Total Environment*. Vol. 236. № 1–3. P. 75–90. doi:10.1016/S0048-9697(99)00268-5.

457. Vike E. (2005). Uptake, deposition and wash off of fluoride and aluminium in plant foliage in the vicinity of an aluminium smelter in Norway, *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 160. № 1–4. P. 145–159. doi:10.1007/s11270-005-3862-1.
458. Vogl M., Börtitz S. (1965). Physicologische und biochemische Beiträge zur Rauchschaadenforschung. *Biol. Zentralblatt*. Vol. 84, № 6. P. 31–50.
459. Wang C., Turner V. K., Wentz E. A., Zhao Q., Myint S. W. (2021). Optimization of residential green space for environmental sustainability and property appreciation in metropolitan Phoenix, Arizona, *Science of The Total Environment*. Vol. 763. P. 144605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144605>.
460. Wang K., Tian H., Hua Sh., Zhu Ch., Gao J., Xueac Y., Haod J., Wangab Y., Zhouab J. A (2016). Comprehensive emission inventory of multiple air pollutants from iron and steel industry in China: Temporal trends and spatial variation characteristics. *Science of The Total Environment*. Vol. 559. P. 7–14. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.125.
461. Wei X., Lyu S., Yu Y., Wang Z., Liu H., Pan D., Chen J. (2017). Phylloremediation of air pollutants: exploiting the potential of plant leaves and leaf-associated microbes. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 8. Article № 1318. P. 1–23. doi:10.3389/fpls.2017.01318.
462. Weinstein L. H., Davison A. W. (2003). Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride. *Environmental Pollution*. Vol. 125. № 1. P. 3–11. doi:10.1016/S0269-7491(03)00090-3.
463. White P. J., Broadley M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany*. Vol. 88. P. 967–988. doi:10.1006/anbo.2001.1540.
464. Williams C. R., Harrison R. M. (1984). Cadmium in the atmosphere. *Experientia*. Vol. 40. № 1. P. 29–36. doi:10.1007/BF01959099.
465. Wu Q., Gao W., Wang S., Hao J. (2017). Updated atmospheric speciated mercury emissions from iron and steel production in China during 2000–2015. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Vol. 17. № 17. P. 10423–10433. doi:10.5194/acp-17-10423-2017.
466. Wu X., Zhao L., Zhang Y., Zheng Ch., Gao X., Cen K. (2015). Primary air pollutant emissions and future prediction of iron and steel industry in China. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol. 15. P. 1422–1432. doi:10.4209/aaqr.2015.01.0029.
467. Xue J., Su B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*. Article ID 1353691. P. 1–17. doi:10.1155/2017/1353691.
468. Yang H., Liu Y., Liu J., Wang Y., Tao Sh. (2018). The roles of the metallurgy, nonmetal products and chemical industry sectors in air pollutant emissions in China. *Environmental Research Letters*. Vol. 13(8). P. 1–11.
469. Zaprometov M. N. (1977). On the Abilities for Cleavage of the Benzene Ring in Higher Plants. Deep oxidation of C<sup>14</sup> catechins in tea shoots. *Biochemistry*. Vol. 42. № 1. P. 3–20.
470. Zhang P., Li B., Wu J., Hu S. (2019). Invasive plants differentially affect soil biota through litter and rhizosphere pathways: a meta-analysis. *Ecology Letters*. Vol. 22(1). P. 200–210. <https://doi.org/10.1111/ele.13181>.
471. Zhang X., Zhou P., Zhang W., Zhang W., Wang Y. (2013). Selection of Landscape Tree Species of Tolerant to Sulfur Dioxide Pollution in Subtropical China. *Open Journal of Forestry*. Vol. 3(4). P. 10433108. doi:10.4236/ojf.2013.34017.
472. Zimmerman P. W. (1955). Chemical involved in air pollution and their affects upon vegetation. *Prof. Papers Boyce Tompson Inst*. Vol. 2. P. 124–125.
473. Zimny H. (1984). Ecological Effects of Industrial Pollutants and Their Effect on Cultivated Plants. *Studies in Environmental Science*. Vol. 23. P. 79–91. doi:10.1016/S0166-1116(08)71218-4.
474. Zuber R., Tschannen W., Bovay E. (1981). Contrôle de la teneur en fluor des feuilles d'abricotiers de la vallée du Rhône de 1974 à 1980. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture*. Vol. 13(3). P. 131–138.
475. Zverev V., Lama A. D., Kozlov M. (2018). Fluctuating asymmetry of birch leaves did not increase with pollution and drought stress in a controlled experiment. *Ecological Indicators*. Vol. 84. P. 283–289. doi:10.1016/j.ecolind.2017.08.058.
476. Yusyypiva T., Miasoid G. (2016). The Impact of Industrial Pollution with Toxic Gases on Stem Histological Parameters of Woody Plant Undergrowth under Conditions of the Southern Industrial Zone of the City of Dnipro, Ukraine. *International Letters of Natural Sciences*. Vol. 59. P. 62–71. DOI: 10.18052/www.scipress.com/ILNS.59.62.

ДОДАТКИ  
Додаток А

Таблиця А.1

Аборигенні та інтродуковані деревні рослини зелених захисних насаджень промислових підприємств

№ п/п	Назва рослин	походження	Сзз підприємств										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<i>Acer negundo</i>	Інтр.	89/3,80			2/0,17	13/0,61	4/0,09			1732/37,87	156/9,37	762/27,50
2	<i>Acer platanoides</i>	Аб.	8/0,34	5/0,51		13/1,14	16/0,76	19/0,42				187/11,23	76/2,74
3	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Аб.			2/0,24				2/0,18		11/0,24		
4	<i>Acer saccharinum</i>	Інтр.					4/0,19	1/0,02				80/4,80	
5	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Інтр.	10/0,43				3/0,14	51/1,12	11/1,01		45/0,98	63/3,78	16/0,58
6	<i>Ailanthus altissima</i>	Інтр.	44/1,88	178/18,20	149/18,13	53/4,65	43/2,03		27/2,48	10/0,85	116/2,54	15/0,90	68/2,45
7	<i>Armeniaca vulgaris</i>	Інтр.					4/0,19	1/0,02			2/0,04	5/0,30	
8	<i>Betula pendula</i>	Аб.	24/1,03	46/4,70			44/2,08		2/0,18	2/0,17	17/0,37	66/3,96	11/ 0,40
9	<i>Catalpa bignonioides</i>	Інтр.		139/14,21		1/0,09	25/1,18	105/2,30	16/1,47	11/0,93	3/0,07	2/0,12	5/0,18
10	<i>Cornus mas</i>	Аб.						3/0,07			10/0, 22	3/0,18	
11	<i>Cotinus coggygia</i>	Аб.										172/10,33	
12	<i>Daphne mezereum</i>	Аб.			27/3,28	85/7,45		3232/70,75	56/5,14	5/0,42	25/0,55		
13	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Аб.		1/0,10		1/0,09		2/0,04		2/0,17	10/0,22		6/0,22
14	<i>Forsythia suspensa</i>	Інтр.					7/0,33						
15	<i>Fraxinus lanceolata</i>	Інтр.	13/0,56			37/3,25			57/5,23	2/0,17	4/0,09	14/0,84	6/0,22
16	<i>Hibiscus syriacus</i>	Інтр.				4/0,35							
17	<i>Juglans regia</i>	Інтр.	10/0,43			9/0,79	22/1,04	7/0,15				10/0,60	2/0,07
18	<i>Juniperus sabina</i>	Аб.				6/0,53			54/4,95				1/0,04
19	<i>Malus domestica</i>	Інтр.				4/0,35				1/0,08			
20	<i>Malus silvestris</i>	Аб.									6/0,13	8/0,48	
21	<i>Morus alba</i>	Інтр.	12/0,51	39/3,99	11/1,34	116/10,18	20/0,95	3/0, 07	9/0,83	5/0,42	2/0,04		18/0,65
22	<i>Picea abies</i>	Аб.	11/0,47				6/0,28	2/0,04			2/0,04	33/1,98	3/0,11
23	<i>Picea pungens</i>	Інтр.	10/0,43				16/0,76	9/0,20	13/1,19		1/0,02		10/0,36
24	<i>Pinus sylvestris</i>	Аб.										13/0,78	
25	<i>Platanus acerifolia</i>	Інтр.					4/0,19		1/0,09			10/0,60	1/0,04

## Продовження табл. А.1

26	<i>Populus alba</i>	Інтр.	34/1,45	8/0,82	2/0,24	70/6,14	17/0,80	317/6,94	29/2,66	8/0,68	57/1,25		293/10,57
27	<i>Populus balsamifera</i>	Інтр.									1/0,02		
28	<i>Populus nigra</i>	Аб.	20/0,85			3/0,26	1/0,05	49/1,07	5/0,46		5/0,11	30/1,80	48/1,73
29	<i>Populus pyramidalis</i>	Інтр.				1/0,09						134/8,05	
30	<i>Populus simonii</i>	Інтр.	75/3,21	2/0,21	1/0,12	4/0,35	203/9,59		1/0,09		108/2,36		40/1,44
31	<i>Prunus tomentosa</i>	Інтр.				1/0,09					1/0,02		
32	<i>Pyrus communis</i>	Аб.			1/0,12	1/0,09	1/0,05	1/0,02			2/0,04		
33	<i>Quercus robur</i>	Аб.		1/0,10					3/0,28			112/6,73	
34	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Інтр.	578/24,70	164/16,77	25/3,04	365/32,02	779/36,81	548/12,00	348/31,93	478/40,4	903/19,74	86/5,17	679/24,50
35	<i>Rosa canina</i>	Аб.				1/0,09					1/0,02		40/1,44
36	<i>Salix alba</i>	Аб.	1/0,04			2/0,17	2/0,09		15/1,38	1/0,08			1/0,04
37	<i>Sambucus nigra</i>	Аб.									6/0,13		
38	<i>Sophora japonica</i>	Інтр.										10/0,60	
39	<i>Sorbus aucuparia</i>	Аб.							2/0,18			18/1,08	
40	<i>Spiraea vanhouttei</i>	Інтр.					111/5,25	20/0,44			114/2,49	23/1,38	
41	<i>Symphoricarpos albus</i>	Інтр.				95/8,33							
42	<i>Syringa vulgaris</i>	Інтр.				4/0,35			1/0,09				
43	<i>Thuja occidentalis</i>	Інтр.	30/1,28				60/2,84		25/2,29		15/0,33		
44	<i>Thuja orientalis</i>	Інтр.	1/0,04			4/0,35			6/0,55		9/0,20	23/1,38	
45	<i>Tilia cordata</i>	Аб.	3/0,13			7/0,61	29/1,37		14/1,29		5/0,11	264/15,86	2/0,07
46	<i>Ulmus laevis</i>	Аб.	24/1,03	110/11,25	10/1,22	61/5,35	3/0,14		32/2,94				
47	<i>Ulmus carpinifolia</i>	Інтр.	1314/ 56,15		30/3,65	183/16,05	627/29,63	162/3,55	361/43,12	27/2,28	1311/28,66		669/24,14
48	<i>Ulmus parvifolia</i>	Інтр.		277/28,32	564/68,61					631/53,34		128/7,69	
49	<i>Ulmus glabra</i>	Аб.									13/0,28		

Примітки: 1 – Титано-магнієвий комбінат; 2 – Коксохімічний завод; 3 – завод «Склофлюс»; 4 – завод «Укрграфіт»; 5 – завод «Дніпроспецсталь»; 6 – Абразивний комбінат; 7 – Алюмінієвий завод; 8 – Феросплавний завод; 9 – завод «Запоріжсталь»; 10 – Трансформаторний завод; 11 – завод «Вогнетрив»; Інтр. – інтродуцент; Аб. – абориген

## Додаток Б

Таблиця Б.1

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях  
Коксохімічного підприємства

Діа-метр, см	Всього шт	Назва рослин											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4–8	57/ 5,88	14/ 7,86		26/ 56,52	4/ 3,64	2/ 0,72	1/ 0,72	2/ 40		8/ 4,88			
8,1–12	144/ 14,85	71/ 39,89		20/ 43,48	17/ 15,45	9/ 3,25	22/ 15,83	1/ 20		4/ 2,44			
12,1–16	69/ 7,11	27/ 15,17	1/ 100		11/10	18/ 6,50	8/ 5,76			4/ 2,44			
16,1–20	99/ 10,21	26/ 14,61			15/ 13,64	34/ 12,27	8/ 5,76	2/ 40		10/ 6,10	2/ 100		2/ 5,13
20,1–24	72/ 7,42	9/ 5,06			10/ 9,09	37/ 13,36	10/ 7,19		1/ 100	5/ 3,05			
24,1–28	52/ 5,36	4/ 2,25			7/ 6,36	22/ 7,94	6/ 4,32			13/ 7,93			
28,1–32	98/ 10,10	8/ 4,49			20/ 18,18	42/ 15,16	10/ 7,19			17/ 10,37			1/ 2,56
32,1–36	73/ 7,53	8/ 4,49			8/ 7,27	34/ 12,27	9/ 6,47			13/ 7,93			1/ 2,56
36,1–40	88/ 9,07	6/ 3,37			7/ 6,36	27/ 9,75	30/ 21,58			13/ 7,93			5/ 12,82
40,1–44	55/ 5,67	4/ 2,25			4/ 3,64	16/ 5,78	22/ 15,83			7/ 4,27			2/ 2,13
44,1–48	20/ 2,06				2/ 1,82	5/ 1,81	6/ 4,32			6/ 3,65			1/ 2,56
48,1–52	23/ 2,37				1/ 0,91	11/ 3,97	4/ 2,88			5/ 3,05			2/ 5,13
52,1–56	18/ 1,86				2/ 1,82	6/ 2,17				9/ 5,49			1/ 2,56
56,1–60	15/ 1,55	1/ 0,56			1/ 0,91	2/ 0,72	1/ 0,72			6/ 3,65		1/ 12,5	3/ 7,70
60,1–64	11/ 1,13					1/ 0,36	2/ 1,44			7/ 4,27			1/ 2,56
64,1–68	8/0,82					1/ 0,36				3/ 1,83			4/ 10,26
68,1–72	28/ 2,89				1/ 0,91	6/ 2,17				12/ 7,32		3/ 37,5	6/ 15,39
72,1–76	12/ 1,24					1/ 0,36				6/ 3,65			5/ 12,82
76,1–80	11/ 1,13					1/ 0,36				7/ 4,27			3/ 7,70
80,1–84	11/ 1,13					1/ 0,36				6/ 3,65		3/ 37,5	1/ 2,56
84,1–88	1/ 0,10												1/ 2,56
88,1–92	2/0,21					1/ 0,36						1/ 12,5	
98,1–102	3/0,31									3/ 1,83			

Примітка: 1 – *Ailanthus altissima*; 2 – *Quercus robur*; 3 – *Betula pendula*; 4 – *Ulmus laevis*; 5 – *Ulmus pumila*; 6 – *Catalpa bignonioides*; 7 – *Acer platanoides*; 8 – *Elaeagnus angustifolia*; 9 – *Robinia pseudoacacia*; 10 – *Populus balsamifera*; 11 – *Populus alba*; 12 – *Morus alba*. Рослини з діаметром 92,1 – 98,1 см відсутні. Чисельник – кількість дерев, шт; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця Б.2

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях заводу «Склофлюс»

Діа-метр, см	Всього шт	Назва рослин									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4 – 8	50/6,29	41/ 27,52	1/3,33	4/0,71	4/40						
8,1 – 12	55/6,92	22/ 14,77	11/ 36,67	15/2,66	6/60	1/4					
12,1 – 16	33/4,15	14/ 9,40	1/3,33	18/3,19							
16,1 – 20	68/8,55	16/ 10,74	2/6,67	49/8,69		1/4					
20,1 – 24	95/11,95	11/ 7,38	7/23,33	75/13,30			2/ 18,18				
24,1 – 28	63/7,92	8/ 5,37	4/13,33	51/9,04							
28,1 – 32	82/10,31	12/ 8,05	1/3,33	63/11,17		2/8	2/ 18,18	1/100	1/50		
32,1 – 36	68/8,55	14/ 9,40		49/8,69		1/4	3/ 27,27		1/50		
36,1 – 40	87/10,94	6/4,03	1/3,33	77/13,65		1/4	1/9,09				1/100
40,1 – 44	47/5,91	4/2,68	1/3,33	41/7,27			1/9,09				
44, – 48	29/3,65	1/0,67		25/4,43		1/4	1/9,09			1/50	
48,1 – 52	32/4,03			28/4,96		3/12				1/50	
52,1 – 56	14/1,76		1/3,33	11/1,95		2/8					
56,1 – 60	29/3,65			27/4,79		2/8					
60,1 – 64	17/2,14			12/2,13		5/20					
64,1 – 68	6/0,75			6/1,06							
68,1 – 72	9/1,13			4/0,71		4/16	1/9,09				
72,1 – 76	4/0,50			2/0,39		2/8					
78,1 – 82	4/0,50			4/0,41							
88,1 – 92	3/0,38			3/0,53							

Примітки: 1 – *Ailanthus altissima*; 2 – *Ulmus carpiniifolia*; 3 – *Ulmus pumila*; 4 – *Ulmus laevis*; 5 – *Robinia pseudoacacia*; 6 – *Morus alba*; 7 – *Pyrus communis*; 8 – *Acer pseudoplatanus*; 9 *Populus alba*; 10 – *Populus simonii*. Рослини діаметром 82,1 – 88,1 см відсутні. Чисельник – кількість дерев, шт; знаменник – % від числа рослин даного виду рослини

Таблиця Б.3

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях Коксохімічного заводу

Назва рослин	Діаметр, см										
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36	36,1–40	40,1–44	44,1–48
<i>Acer negundo</i>				3/1,92	21/13,46	14/8,97	58/37,18	31/19,87	9/5,77	11/7,05	8/5,13
<i>Acer platanoides</i>			1/0,53	1/0,53	5/2,67	9/4,81	44/23,53	26/13,90	31/16,58	5/2,67	1/0,53
<i>Acer saccharinum</i>				2/2,50	6/7,50	21/26,25	19/23,75	6/7,50	9/11,25	3/3,75	1/1,25
<i>Aesculus hippocastanum</i>				8/12,70	13/20,63	11/17,46	16/25,40	3/4,76			12/19,05
<i>Ailanthus altissima</i>				1/6,67	2/13,33	7/46,67			1/6,67		
<i>Armeniaca vulgaris</i>			2/40	1/20	1/20	1/20					
<i>Betula pendula</i>				3/4,55		52/78,79	5/7,58	2/3,03	3/4,55		1/1,52
<i>Catalpa bignonioides</i>					2/100						
<i>Cotinus coggygria</i>		3/1,74	72/41,86	57/33,14	40/23,26						
<i>Fraxinus lanceolata</i>					1/7,14	2/14,29	4/28,57	1/7,14	1/7,14		2/14,29
<i>Juglans regia</i>	1/8,33		1/8,33	2/16,67	2/16,67	2/16,67	3/25,00	1/8,33			
<i>Malus silvestris</i>			5/62,50	3/37,50							
<i>Picea abies</i> L.			2/6,06	7/21,21	3/9,09	2/6,06	10/30,30		9/27,27		
<i>Pinus sylvestris</i> L.			3/23,08		3/23,08	4/30,77	3/23,08				
<i>Platanus acerifolia</i>					2/20	4/40	1/10	1/10	1/10		
<i>Populus nigra</i>							1/3,33	1/3,33			2/6,67
<i>Populus pyramidalis</i>						1/0,75	13/9,70	24/17,91	5/3,73	17/12,69	11/8,21
<i>Quercus robur</i>					12/10,71	11/9,82	28/25,00	8/7,14	2/1,49		31/27,68
<i>Robinia pseudoacacia</i>			1/1,15			9/10,34	35/40,23	4/4,60	4/4,60	13/14,94	4/4,60
<i>Sophora japonica</i>				2/20		1/10	5/50				
<i>Sorbus aucuparia</i>		1/5,26	4/21,05	9/47,37	1/5,26	4/21,05					
<i>Thuja orientalis</i>		12/42,86	1/3,57	5/17,86	7/25,00		3/10,71				
<i>Tilia cordata</i>				4/1,52	21/7,95	118/44,70	59/22,35	46/17,42	7/2,65	7/2,65	2/0,76
<i>Ulmus pumila</i>			1/0,76	3/2,29	5/3,82	10/7,63	11/8,40	31/23,66	29/22,14	8/6,11	10/7,63
Всього, шт	1/0,06	16/0,97	93/5,63	111/6,72	147/8,90	283/17,14	318/19,26	185/11,21	111/6,72	64/3,88	85/5,15

Назва рослин	Діаметр, см										
	48,1–52	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72	72,1–76	76,1–80	84,1–88	88,1–92	92,1–96
<i>Acer negundo</i>			1/0,64								
<i>Acer platanoides</i>	40/21,39	5/2,67	3/1,60	10/5,35	4/2,14			1/0,53			1/0,53
<i>Acer saccharinum</i>	7/8,75		5/6,25						1/1,25		
<i>Aesculus hippocastanum</i>											
<i>Allanthus altissima</i>		1/6,67	3/20,00								
<i>Armeniaca vulgaris</i>											
<i>Betula pendula</i>											
<i>Catalpa bignonioides</i>											
<i>Cotinus coggygria</i>											
<i>Fraxinus lanceolata</i>	2/14,29		1/7,14								
<i>Juglans regia</i>											
<i>Malus silvestris</i>											
<i>Picea abies</i>											
<i>Pinus sylvestris</i>											
<i>Platanus acerifolia</i>			1/10								
<i>Populus nigra</i>	14/46,67	5/16,67	2/6,67	2/6,67	2/6,67						1/3,33
<i>Populus pyramidalis</i>	10/7,46	5/3,73	7/5,22	7/5,22	11/8,21	3/2,24	8/5,97	8/5,97	1/0,75		3/2,24
<i>Quercus robur</i>	6/5,36	11/9,82	2/1,79							1/0,89	
<i>Robinia pseudoacacia</i>	9/10,34			3/3,45	1/1,15	1/1,15	2/2,30	1/1,15			
<i>Sophora japonica</i>				2/20							
<i>Sorbus aucuparia</i>											
<i>Thuja orientalis</i>											
<i>Tilia cordata</i>											
<i>Ulmus pumila</i>	15/11,45	4/3,05	2/1,53		1/0,76		1/0,76				
Всього, шт	103/6,24	31/1,88	27/1,64	24/1,45	19/1,15	4/0,24	11/0,67	10/0,61	2/0,12	1/0,06	5/0,30

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця Б.4

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях заводу «Вогнетрив»

Назва рослин	Діаметр, см											
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36	36,1–40	40,1–44	44,1–48	48,1–52
<i>Acer negundo</i> +1	596/78,11	23/3,01	3/0,39	12/1,57	27/3,54	48/6,29	20/2,62	27/3,54	4/0,52	1/0,13	1/0,13	
<i>Acer platanoides</i>	30/39,47	6/7,89	8/10,53	6/7,89	10/13,16	8/10,53	5/6,58	2/2,63		1/1,32		
<i>Aesculus hippocastanum</i>	15/93,75	1/6,25										
<i>Ailanthus altissima</i>	44/64,71	3/4,41	7/10,29	7/10,29	7/10,29							
<i>Betula pendula</i>			1/9,09	2/18,18	5/45,45	1/9,09	1/9,09	1/9,09				
<i>Catalpa bignonioides</i>			5/100									
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	6/100											
<i>Fraxinus lanceolata</i>		3/50	1/16,67	2/33,33								
<i>Juglans regia</i>			1/50				1/50					
<i>Morus alba</i>		1/5,56		3/16,67	7/38,89	2/11,11	3/16,67	2/11,11				
<i>Picea abies</i>	1/33,33	2/66,64										
<i>Picea pungens</i>	1/10	3/30	3/30	2/20	1/10							
<i>Platanus acerifolia</i>											1/100	
<i>Populus alba</i>		4/1,37		1/0,34	3/1,02	5/1,71	7/2,39	35/11,95	34/11,6	42/14,33	65/22,18	19/6,48
<i>Populus nigra</i>									2/4,17	2/4,17	3/6,25	1/2,08
<i>Populus Simonii</i>			1/2,5	2/5	4/10	7/17,5	8/20	12/30	4/10	1/2,5	1/2,5	
<i>Robinia pseudoacacia</i>	82/12,08	1/0,15	6/0,88	28/4,12	66/9,72	69/10,16	174/25,63	151/22,24	53/7,81	24/3,53	14/2,06	5/0,74
<i>Salix alba</i>								1/100				
<i>Tilia cordata</i>		1/50		1/50								
<i>Ulmus pumila</i>	101/15,1	2/0,3	5/0,75	13/1,94	42/6,28	63/9,42	75/11,21	93/13,9	79/11,81	70/10,48	51/7,62	17/2,54
Всього, шт	876/32,24	50/1,84	41/1,51	79/2,91	172/6,33	203/7,47	294/10,82	324/11,92	176/6,48	141/5,19	136/5,01	42/1,55

Продовження табл. Б.4

Назва ромлин	Діаметр, см											
	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72	72,1–76	76,1–80	80,1–84	84,1–88	88,1–92	92,1–96	96,1–101
<i>Acer negundo</i>	1/0,13											
<i>Acer platanoides</i>												
<i>Aesculus hippocastanum</i>												
<i>Ailanthus altissima</i>												
<i>Betula pendula</i>												
<i>Catalpa bignonioides</i>												
<i>Elaeagnus angustifolia</i>												
<i>Fraxinus lanceolata</i>												
<i>Juglans regia</i>												
<i>Morus alba</i>												
<i>Picea abies</i>												
<i>Picea pungens</i>												
<i>Platanus acerifolia</i>												
<i>Populus alba</i>	17/5,80	12/4,10	1/0,34	14/4,78	2/0,68	3/1,02	4/1,37		8/2,73	7/2,39	5/1,71	5/1,71
<i>Populus nigra</i>	5/10,42	4/8,33	3/6,25	2/4,17	5/10,42	1/2,08	6/12,5	4/8,33		5/10,42	2/4,17	3/6,25
<i>Populus Simonii</i>												
<i>Robinia pseudoacacia</i>	3/0,44	1/0,15							2/0,29			
<i>Salix alba</i>												
<i>Tilia cordata</i>												
<i>Ulmus pumila</i>	23/3,44	11/1,64	7/1,05	7/1,05	1/0,15	4/0,6	3/0,45	2/0,3				
Всього, шт	49/1,8	28/1,03	11/0,4	23/0,85	8/0,29	8/0,29	13/0,48	6/0,22	10/0,37	12/0,44	7/0,26	8/0,29

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця Б.5

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях Титаномagneїєвого комбінату

Назва рослин	Діаметр, см										
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36	36,1–40	40,1–44	44,1–48
<i>Acer negundo</i>	39/43,82			10/11,24	11/12,36	7/7,87	13/14,61	6/6,74	1/1,12		
<i>Acer platanoides</i>	1/12,50	1/12,50	1/12,50	2/25,00	1/12,50		1/12,50	1/12,50			
<i>Aesculus hippocastanum</i>		1/10	1/10	2/20		1/10	3/30	2/20			
<i>Ailanthus altissima</i>	40/90,91		4/9,09								
<i>Betula pendula</i>	14/58,33	7/29,17	1/4,17	1/4,17		1/4,17					
<i>Fraxinus lanceolata</i>				1/7,69	4/30,77	5/38,46	3/23,08				
<i>Juglans regia</i>	10/100										
<i>Morus alba</i>					1/8,33	3/25	1/8,33	1/8,33	2/16,67	2/16,67	
<i>Picea abies</i>	1/9,09	4/36,36	2/18,18	3/27,27			1/9,09				
<i>Picea pungens</i>	3/30	6/60	1/10								
<i>Populus alba</i>			1/2,86	1/2,86	1/2,86		1/2,86		2/5,71	4/11,43	2/5,71
<i>Populus nigra</i>							1/5	3/15	2/10	6/30	3/15
<i>Populus Simonii</i>				3/4	9/12	10/13,33	16/21,33	9/12	10/13,33	6/8	4/5,33
<i>Robinia pseudoacacia</i>	50/8,65	123/21,28	51/8,82	25/4,33	55/9,52	35/6,06	57/9,86	31/5,36	37/6,40	13/2,25	8/1,38
<i>Salix alba</i>											
<i>Thuja occidentalis</i>	30/100										
<i>Thuja orientalis</i>					1/100						
<i>Tilia cordata</i>						1/33,33	1/33,33	1/33,33			
<i>Ulmus laevis</i>				2/8,33	1/4,17			3/12,50	2/8,33	1/4,17	
<i>Ulmus pumila</i>	416/31,66	106/8,07	151/11,49	72/5,48	149/11,34	82/6,24	87/6,22	109/8,30	39/2,97	22/1,67	20/1,52
Всього, шт	604/26,12	248/10,73	213/9,21	122/5,28	233/10,08	145/6,27	185/8	166/7,18	95/4,11	54/2,34	37/1,60

Продовження табл. Б.5

Назва рослин	Діаметр, см										
	48,1–52	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72	72,1–76	76,1–80	80,1–84	84,1–88	96,1–100
<i>Acer negundo</i>		1/1,12		1/1,12							
<i>Acer platanoides</i>											
<i>Aesculus hippocastanum</i>											
<i>Ailanthus altissima</i>											
<i>Betula pendula</i>											
<i>Fraxinus lanceolata</i>											
<i>Juglans regia</i>											
<i>Morus alba</i>	1/8,33	1/8,33									
<i>Picea abies</i>											
<i>Picea pungens</i>											
<i>Populus alba</i>		4/11,43	2/5,71		3/8,57	2/5,71	4/11,43	3/8,57	3/8,57	1/2,86	1/2,86
<i>Populus nigra</i>	3/15	2/10									
<i>Populus Simonii</i>		3/4	3/4	1/1,33	1/1,33						
<i>Robinia pseudoacacia</i>	20/3,46	21/3,63	15/2,6	15/2,6	8/1,38	7/1,21	6/1,04		1/0,17		
<i>Salix alba</i>					1/100						
<i>Thuja occidentalis</i>											
<i>Thuja orientalis</i>											
<i>Tilia cordata</i>											
<i>Ulmus laevis</i>	1/4,17	3/12,50	2/8,33	3/12,50	2/8,33	1/4,17	3/12,50				
<i>Ulmus pumila</i>	11/0,84	7/0,53	6/0,46	6/0,46	11/0,84	9/0,68	8/0,61	2/0,15	1/0,08		
Всього, шт	36/1,56	42/1,82	28/1,21	26/1,12	26/1,12	19/0,82	21/0,91	5/0,22	5/0,22	1/0,04	1/0,04

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду. Рослини з діаметрами стовбура 88,1 – 96,0 – відсутні

Таблиця Б.6

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях Феросплавного підприємства

Назва рослин	Діаметр, см										
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36	36,1–40	40,1–44	44,1–48
<i>Ailanthus altissima</i>	2/20	4/40	2/20	2/20							
<i>Betula pendula</i>		1/50	1/50								
<i>Catalpa bignonioides</i>		1/9,09	2/18,18	5/45,45	2/18,18	1/9,09					
<i>Elaeagnus angustifolia</i>						1/50	1/50				
<i>Fraxinus lanceolata</i>	1/33,33		1/33,33				1/33,33				
<i>Malus domestica</i>			1/100								
<i>Morus alba</i>					1/20		2/40	2/40			
<i>Populus alba</i>											
<i>Robinia pseudoacacia</i>	38/8,64	63/14,32	33/7,50	75/17,05	68/15,45	53/12,05	59/13,41	15/3,41	12/2,73	10/2,27	4/0,91
<i>Salix alba</i>											
<i>Ulmus carpiniifolia</i>	1/3,70	3/11,11	2/7,41	3/11,11	4/14,81	1/3,70	3/11,11		3/11,11	2/7,41	1/3,70
<i>Ulmus parvifolia</i>	8/1,26	24/3,77	15/2,36	22/3,46	43/6,76	49/7,70	93/14,62	63/9,91	85/13,36	68/10,69	22/3,46
Всього, шт	50/4,36	96/8,38	57/4,97	107/9,34	118/10,30	105/9,16	159/13,87	80/6,98	100/8,73	80/6,98	27/2,36
Назва рослин	Діаметр, см										
	48,1–52	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72	72,1–76	76,1–80	80,1–84	84,1–88	88,1–92
<i>Ailanthus altissima</i>											
<i>Betula pendula</i>											
<i>Catalpa bignonioides</i>											
<i>Elaeagnus angustifolia</i>											
<i>Fraxinus lanceolata</i> +1											
<i>Malus domestica</i>											
<i>Morus alba</i>											
<i>Populus alba</i>				1/12,50	1/12,50	4/50		1/12,50			1/12,50
<i>Robinia pseudoacacia</i> +2	5/1,14	1/0,23	1/0,23			3/0,68					
<i>Salix alba</i>									1/100		
<i>Ulmus pumila</i>	2/7,41							1/3,70	1/3,70		
<i>Ulmus parvifolia</i> +5	29/4,56	20/3,14	29/4,56	20/3,14	13/2,04	12/1,89	5/0,79	11/1,73	1/0,16	1/0,16	3/0,47
Всього	36/3,14	21/1,83	30/2,62	21/1,83	14/1,22	19/1,66	5/0,44	13/1,13	3/0,26	1/0,09	4/0,35

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця Б.7

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях Алюмінієвого заводу

Назва рослин	Діаметр, см										
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36	36,1–40	40,1–44	44,1–48
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1/50					1/50					
<i>Aesculus hippocastanum</i>		3/27,27	5/45,45	3/27,27							
<i>Ailanthus altissima</i>	2/7,41	10/37,04	3/11,11	5/18,52	3/11,11	2/7,41	2/7,41				
<i>Betula pendula</i>									1/50	1/50	
<i>Catalpa bignonioides</i>	6/31,58	3/15,79	5/26,32	1/5,26	2/10,53	1/5,26				1/5,26	
<i>Fraxinus lanceolata</i>	9/15,25	8/13,56	12/20,34	10/16,95	6/10,17	3/5,08	9/15,25		1/1,69		
<i>Morus alba</i>	3/23,08	2/15,38		3/23,08	2/15,38	1/7,69	1/7,69	1/7,69			
<i>Picea pungens</i>	4/30,77	9/69,23									
<i>Platanus acerifolia</i>		1/50									
<i>Populus alba</i>		1/3,45	3/10,34	1/3,45	2/6,90	2/6,90	2/6,90	2/6,90	1/3,45	2/6,90	4/13,79
<i>Populus nigra</i>						1/20	3/60				
<i>Populus Simonii</i>					1/100						
<i>Quercus robur</i>	3/100										
<i>Robinia pseudoacacia</i>	14/3,93	38/10,67	48/13,48	61/17,13	66/18,54	34/9,55	42/11,80	20/5,62	13/3,65	9/2,53	1/0,28
<i>Salix alba</i>						2/12,50	1/6,25	1/6,25	2/12,50	2/12,50	1/6,25
<i>Sorbus aucuparia</i>			1/50		1/50						
<i>Thuja occidentalis</i>	24/96	1/4									
<i>Thuja orientalis</i>	1/16,67	4/66,66	1/16,67								
<i>Tilia cordata</i>	6/42,86	4/28,57	4/28,57								
<i>Ulmus pumila</i>	6/1,63	8/2,17	18/4,88	37/10,03	69/18,70	52/14,09	70/18,97	32/8,67	16/4,34	16/4,34	8/2,17
<i>Ulmus laevis</i>	2/6,25	3/9,38	3/9,38	4/12,50	1/3,13	3/9,38	8/25		1/3,13	2/6,25	
Всього, шт	81/8,05	95/9,44	103/10,24	125/12,43	153/15,21	102/10,14	138/13,72	56/5,57	35/3,48	33/3,28	14/1,39

Назва рослин	Діаметр, см										
	48,1–52	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72	72,1–76	76,1–80	80,1–84	88,1–92	92,1–96
<i>Acer pseudoplatanus</i>											
<i>Aesculus hippocastanum</i>											
<i>Ailanthus altissima</i>											
<i>Betula pendula</i>											
<i>Catalpa bignonioides</i> +3											
<i>Fraxinus lanceolata</i> +2	1/1,69										
<i>Morus alba</i> +4											
<i>Picea pungens</i>											
<i>Platanus acerifolia</i> +1	1/50										
<i>Populus alba</i>	2/6,90	2/6,90			2/6,90	2/6,90				1/3,45	
<i>Populus nigra</i>										1/20	
<i>Populus Simonii</i>											
<i>Quercus robur</i>											
<i>Robinia pseudoacacia</i> +8	3/0,84	1/0,28	1/0,28	1/0,28	1/0,28	2/0,56			1/0,28		
<i>Salix alba</i> +1			1/6,25	2/12,50		2/12,50		1/6,25			1/6,25
<i>Sorbus aucuparia</i>											
<i>Thuja occidentalis</i>											
<i>Thuja orientalis</i>											
<i>Tilia cordata</i>											
<i>Ulmus pumila</i>	7/1,90	5/1,36	4/1,08	8/2,17	8/2,17	1/0,27	1/0,27	1/0,27	1/0,27	1/0,27	
<i>Ulmus laevis</i>	1/3,13			2/6,25	1/3,13					1/3,13	
Всього, шт	15/1,49	8/0,80	6/0,60	13/1,29	12/1,19	7/0,70	1/0,10	2/0,20	2/0,20	4/0,40	1/0,10

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

## Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях заводу «Дніпроспецсталь»

Назва рослин	Діаметр, см							
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36
<i>Acer negundo</i>	1/7,69	1/7,69		2/15,38	2/15,38		2/15,38	1/7,69
<i>Acer platanoides</i> +1	4/23,53	7/41,18	4/23,53		2/11,76			
<i>Acer saccharinum</i>			1/25		1/25		1/25	
<i>Aesculus hippocastanum</i>					1/33,33	1/33,33	1/33,33	
<i>Ailanthus altissima</i> +1		9/20,45	10/22,73	8/18,18	16/36,36		1/2,27	
<i>Armeniaca vulgaris vulgaris</i>					1/25	1/25	2/50	
<i>Betula pendula</i> +1	3/6,67	21/46,67	10/22,22	5/11,11	2/4,44	2/4,44	1/2,22	1/2,22
<i>Catalpa bignonioides</i>	2/8	5/20	7/28	3/12	7/28		1/4	
<i>Juglans regia</i>	21/95,45			1/4,55				
<i>Morus alba</i>	2/10	5/25	7/35	1/5			2/10	1/5
<i>Picea abies</i>	5/83,33			1/16,67				
<i>Picea pungens</i>	2/12,50	8/50,0	5/31,25		1/6,25			
<i>Platanus acerifolia</i>							2/50	
<i>Populus alba</i>		1/5,88	1/5,88	2/11,76		1/5,88	3/17,65	4/23,53
<i>Populus nigra</i>								
<i>Populus Simonii</i>	1/0,49	6/2,93	13/6,34	21/10,24	36/17,56	39/19,02	37/18,05	18/8,78
<i>Pyrus communis</i>				1/100				
<i>Robinia pseudoacacia</i>	29/3,72	68/8,73	94/12,07	164/21,05	168/21,57	71/9,11	55/7,06	53/6,80
<i>Salix alba</i>				1/50			1/50	
<i>Thuja occidentalis</i>	60/100							
<i>Tilia cordata</i>		3/10,34	5/17,24	10/34,48	9/31,03	2/6,90		
<i>Ulmus pumila</i>	3/0,48	19/3,02	27/4,29	32/5,09	86/13,67	113/17,97	102/16,22	121/19,24
<i>Ulmus laevis</i>					1/33,33	1/33,33	1/33,33	
Всього, шт	133/6,83	153/7,86	184/9,45	252/12,94	333/17,10	231/11,86	212/10,89	199/10,22

Назва рослин	Діаметр, см								
	36,1–40	40,1–44	44,1–48	48,1–52	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72
<i>Acer negundo</i>		2/15,38				1/7,69			1/7,69
<i>Acer platanoides</i>									
<i>Acer saccharinum</i>				1/25					
<i>Aesculus hippocastanum</i>									
<i>Ailanthus altissima</i>									
<i>Armeniaca vulgaris vulgaris</i>									
<i>Betula pendula</i>									
<i>Catalpa bignonioides</i>									
<i>Juglans regia</i>									
<i>Morus alba</i>	2/10								
<i>Picea abies</i>									
<i>Picea pungens</i>									
<i>Platanus acerifolia</i>	1/25	1/25							
<i>Populus alba</i>	1/5,88	2/11,76			1/5,88				1/5,88
<i>Populus nigra</i>			1/100						
<i>Populus Simonii</i>	13/6,31	10/4,88	7/3,41	2/0,98					
<i>Pyrus communis</i>									
<i>Robinia pseudoacacia</i>	36/4,62	22/2,82	12/1,54	3/0,39	2/0,26				2/0,26
<i>Salix alba</i>									
<i>Thuja occidentalis</i>									
<i>Tilia cordata</i>									
<i>Ulmus pumila</i>	57/9,06	43/6,84	8/1,27	4/0,64	8/1,27	2/0,32	2/0,32		2/0,32
<i>Ulmus laevis</i>									
Всього, шт	110/5,65	80/4,11	28/1,44	10/0,51	11/0,56	3/0,15	2/0,10		6/0,31

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця Б.9

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях Абразивного заводу

Назва рослин	Діаметр, см										
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36	36,1–40	40,1–44	44,1–48
<i>Acer negundo</i>		1/25		1/25			2/50				
<i>Acer platanoides</i>	10/52,63	1/5,26	3/15,79	2/10,53	1/5,26	2/10,53					
<i>Acer saccharinum</i>							1/100				
<i>Aesculus hippocastanum</i>	32/62,75	16/31,37	3/5,88								
<i>Armeniaca vulgaris</i>								1/100			
<i>Catalpa bignonioides</i>	62/59,05	18/17,14	7/6,67	6/5,71	4/3,81	4/3,81	4/3,81				
<i>Elaeagnus angustifolia</i>				1/50			1/50				
<i>Juglans regia</i>			1/14,29	1/14,29	3/42,86	1/14,29	1/14,29				
<i>Morus nigra</i>				2/66,67			1/33,33				
<i>Picea abies</i>			1/50		1/50						
<i>Picea pungens</i>		4/44,44	3/33,33	1/11,11	1/11,11						
<i>Populus alba</i>	15/4,73	1/0,32	9/2,84	15/4,73	12/3,79	13/4,10	24/7,57	18/5,68	41/12,93	31/9,78	21/6,62
<i>Populus nigra</i>		3/6,12	8/16,33	6/12,24	6/12,24						
<i>Pyrus communis</i>						1/100					
<i>Robinia pseudoacacia+1</i>	1/018	19/3,46	36/6,56	108/19,57	140/25,50	98/17,85	88/16,03	19/3,46	11/2,00	6/1,09	6/1,09
<i>Ulmus carpinifolia +2</i>	4/2,45	1/0,61	3/1,84	24/14,72	30/18,40	29/17,79	35/21,47	9/5,52	10/6,13	6/3,68	9/5,52
Всього, шт	124/9,66	64/4,99	74/5,77	167/13,02	198/15,43	148/11,54	157/12,24	47/3,66	62/4,83	43/3,35	36/2,81
Вид	Діаметр, см										
	48,1–52	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72	72,1–76	76,1–80	84,1–88		
<i>Populus alba</i>	22/6,94	14/4,42	20/6,31	22/6,94	6/1,89	17/5,36	9/2,84	5/1,58	2/0,63		
<i>Populus nigra</i>	7/14,29	3/6,12	5/10,20	3/6,12	3/6,12	2/4,08	1/2,04	1/2,04	1/2,04		
<i>Robinia pseudoacacia</i>	5/0,91	4/0,73	3/0,55	1/0,18		3/0,55	1/0,18				
<i>Ulmus pumila</i>	2/1,23	1/0,61									
Всього, шт	36/2,81	22/1,71	28/2,18	26/2,03	9/0,70	22/1,71	11/0,86	6/0,47	3/0,23		

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

Таблиця Б.10

Представленість деревних рослин за класами діаметрів стовбурів у захисних насадженнях підприємства «Запоріжсталь»

Назва рослин	Діаметр, см										
	4–8	8,1–12	12,1–16	16,1–20	20,1–24	24,1–28	28,1–32	32,1–36	36,1–40	40,1–44	44,1–48
<i>Acer negundo</i> +1 (17.24)	1065/61,45	3/0,17	8/0,46	915,25	215/12,41	121/6,98	88/5,08	101/5,83	23/1,33	10/0,58	6/0,35
<i>Acer pseudoplatanus</i>	10/90,91	1/9,09									
<i>Aesculus hippocastanum</i>	2/4,44	5/11,11	3/6,67	11/24,44	18/40	3/6,67	2/4,44	1/2,22			
<i>Ailanthus altissima</i>	41/35,34	23/19,83	17/14,66	9/7,76	15/12,93	7/6,03	4/3,45				
<i>Armeniaca vulgaris</i>					1/50		1/50				
<i>Betula pendula</i>		8/47,06	3/17,65	2/11,76	1/5,88			3/17,65			
<i>Catalpa bignonioides</i>	1/33,33	2/66,67									
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	8/80			1/10	1/10						
<i>Fraxinus lanceolata</i>					2/50	2/50					
<i>Malus silvestris</i>					1/16,67	2/33,33	3/50,00				
<i>Morus alba</i>											
<i>Picea abies</i>			1/50	1/50							
<i>Picea pungens</i>					1/100						
<i>Populus alba</i>								2/3,51	4/7,02	13/22,81	10/17,54
<i>Populus balsamifera</i>											
<i>Populus nigra</i>							1/20	1/20		1/20	
<i>Populus Simonii</i>				7/6,48	26/24,07	25/23,15	19/17,59	26/24,07	3/2,78	2/1,85	
<i>Pyrus communis</i>					1/50		1/50				
<i>Robinia pseudoacacia</i>	16/1,17	9/1,00	25/2,77	90/9,97	213/23,59	148/16,39	132/14,62	137/15,17	54/5,98	42/4,65	23/2,55
<i>Thuja occidentalis</i>	15/100										
<i>Thuja orientalis</i>				1/11,11	6/66,67	2/22,22					
<i>Tilia cordata</i>			1/20	1/20	3/60						
<i>Ulmus pumila</i>	123/9,38	12/0,92	14/1,07	179/13,65	317/24,18	195/14,87	148/11,29	138/10,53	50/3,81	53/4,04	44/3,36
<i>Ulmus glabra</i>				1/7,69	2/15,38	1/7,69	1/7,69	1/7,69	2/15,38	3/23,08	
Всього, шт	1281/29,24	63/1,44	72/1,64	394/8,99	823/18,79	506/11,55	400/9,13	410/9,36	136/3,10	124/2,83	83/1,89

Продовження табл. Б.10.

Назва рослин	Діаметр, см									
	48,1–52	52,1–56	56,1–60	60,1–64	64,1–68	68,1–72	72,1–76	76,1–80	84,1–88	88,1–92
<i>Acer negundo</i>	1/0,06	1/0,06								
<i>Acer pseudoplatanus</i>										
<i>Aesculus hippocastanum</i>										
<i>Ailanthus altissima</i>										
<i>Armeniaca vulgaris</i>										
<i>Betula pendula</i>										
<i>Catalpa bignonioides</i>										
<i>Elaeagnus angustifolia</i>										
<i>Fraxinus lanceolata</i>										
<i>Malus silvestris</i>										
<i>Morus alba</i>		1/50							1/50	
<i>Picea abies</i>										
<i>Picea pungens</i>										
<i>Populus alba</i>	1/1,75	4/7,02		1/1,75	3/5,26	6/10,53	6/10,53	4/7,02	2/3,51	1/1,75
<i>Populus balsamifera</i>				1/100						
<i>Populus nigra</i>		1/20			1/20					
<i>Populus Simonii</i>										
<i>Pyrus communis</i>										
<i>Robinia pseudoacacia</i>	9/1,00	2/0,22	3/0,33							
<i>Thuja occidentalis</i>										
<i>Thuja orientalis</i>										
<i>Tilia cordata</i>										
<i>Ulmus pumila</i>	15/1,14	9/0,69	6/0,46	1/0,08	3/0,23	2/0,15	2/0,15			
<i>Ulmus glabra</i>		2/15,38								
Всього, шт	26/0,59	20/0,46	9/0,21	3/0,07	7/0,16	8/0,18	8/0,18	4/0,09	3/0,07	1/0,02

Примітка: чисельник – кількість дерев, шт.; знаменник – % від числа рослин даного виду

## Додаток В

Таблиця В.1

Вхідні показники захисного зеленого насадження заводу «Укрграфіт»

№	Назва рослини	Кількість дерев	$a_i$ , г/кг	$b_i$ г/кг	$c_i$ , г/кг	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відмираючі
1	<i>Acer negundo</i>	2	0,06762	0,4344	3,8	2	0		
2	<i>Acer platanoides</i>	13	0,08137	0,2412	4	7	5		1
3	<i>Ailanthus altissima</i>	53	0,09928	0,4395	3	5	48		
4	<i>Catalpa bignonioides</i>	1	0,08549	0,3962	4,1		1		
5	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1	0,14971	0,4938	2,8		1		
6	<i>Fraxinus lanceolata</i>	37	0,09928	0,2706	4	21	16		
7	<i>Juglans regia</i>	9	0,08562	0,4395	4,1	6	3		
8	<i>Malus domestica</i>	4	0,09928	0,4395	4,1		4		
9	<i>Morus alba</i>	116	0,09774	0,2388	2,7		115		1
10	<i>Populus alba</i>	70	0,12475	0,7422	6,1		60	10	
11	<i>Populus nigra</i>	3	0,12781	1,0333	4,9			3	
12	<i>Populus pyramidalis</i>	1	0,11596	0,5664	4,1			1	
13	<i>Populus simonii</i>	4	0,13232	0,8172	4,5		4		
14	<i>Pyrus communis</i>	1	0,09928	0,4395	4,1		1		
15	<i>Robinia pseudoacacia</i>	365	0,06136	0,3030	5,1	14	285	61	5
16	<i>Salix alba</i>	2	0,11074	0,2922	4,2		2		
17	<i>Thuja orientalis</i>	4	0,09928	0,4395	4,1	3	1		
18	<i>Tilia cordata</i>	7	0,0628	0,2172	5	4	3		
19	<i>Ulmus laevis</i>	61	0,10534	0,2418	4,1	2	35	24	
20	<i>Ulmus carpiniifolia</i>	183	0,09956	0,3054	2,9	3	134	42	4

Таблиця В.2

Вхідні показники захисного зеленого насадження заводу «Феросплавний»

№	Назва рослини	Кількість дерев	$a_i$ , г/кг	$b_i$ г/кг	$c_i$ , г/кг	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відмираючі
1	<i>Ailanthus altissima</i>	10	0,2057	1,7832	3,9	2	8		
2	<i>Betula pendula</i>	2	0,1034	1,0974	8,0		2		
3	<i>Catalpa bignonioides</i>	11	0,2351	0,7884	5,5		11		
4	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	2	0,2404	1,2216	4,5		2		
5	<i>Fraxinus lanceolata</i>	2	0,1953	0,5418	6,1	1	1		
6	<i>Malus domestica</i>	1	0,2072	0,9192	6		1		
7	<i>Morus alba</i>	5	0,23356	0,3048	3,3		5		
8	<i>Populus alba</i>	8	0,29524	1,9002	8,9			8	
9	<i>Salix alba</i>	1	0,2872	0,5430	7,3			1	
10	<i>Robinia pseudoacacia</i>	438	0,1291	0,4890	8,5	38	47	3	6
11	<i>Ulmus carpiniifolia</i>	27	0,14763	0,5226	4,0	1	24	2	
12	<i>Ulmus parvifolia</i>	631	0,2072	0,9192	6	8	545	66	12

Таблиця В.3

Вхідні показники захисного зеленого насадження заводу «Запоріжсталь»

№	Назва рослини	Кількість дерев	$a_i$ , г/кг	$b_i$ г/кг	$c_i$ , г/кг	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відми-раючі
1	<i>Acer negundo</i>	667	0,12051	0,8586	5,6		667		
2	<i>Acer pseudoplatanus</i>	11	0,15232	0,9219	6,9	10	1		
3	<i>Aesculus hippocastanum</i>	45	0,23243	0,4392	5,6	2	43		
4	<i>Armeniaca vulgaris</i>	2	0,1267	0,3402	6,6		2		
5	<i>Ailanthus altissima</i>	75	0,16637	1,9308	4,8		75		
6	<i>Betula pendula</i>	17	0,11114	1,2108	9,7		16		1
7	<i>Catalpa bignonioides</i>	3	0,1334	0,7692	6,7	1	2		
8	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	10	0,19842	1,1622	4,7	8	0		2
9	<i>Fraxinus lanceolata</i>	4	0,16053	0,4584	6,2		4		
10	<i>Malus silvestris</i>	6	0,16568	0,9219	6,6		6		
11	<i>Morus alba</i>	2	0,20111	0,3450	4,4		1	1	
12	<i>Picea abies</i>	2	0,16568	0,9219	6,6		2		
13	<i>Picea pungens</i>	1	0,16568	0,9219	6,6		1		
14	<i>Populus alba</i>	57	0,2461	1,6416	9,6		34	23	
15	<i>Populus balsamifera</i>	1	0,16568	0,9219	6,6		0	1	
16	<i>Populus nigra</i>	5	0,25452	1,8258	10,5		4	1	
17	<i>Populus Simonii</i>	108	0,22016	1,4520	9,3		104		4
18	<i>Pyrus communis</i>	2	0,16568	0,9219	6,6		2		
19	<i>Robinia pseudoacacia</i>	887	0,10614	0,4590	9,0		872		15
20	<i>Thuja occidentalis</i>	15	0,16568	0,9219	6,6	15	0		
21	<i>Thuja orientalis</i>	9	0,16568	0,9219	6,6		9		
22	<i>Tilia cordata</i>	5	0,16568	0,4482	1,02		5		
23	<i>Ulmus carpinifolia</i>	1189	0,11842	0,4878	4,7	1	1157	8	23
24	<i>Ulmus glabra</i>	13	0,10270	0,9219	6,6		13		

Таблиця В.4

Вхідні показники захисного зеленого насадження Абразивного заводу

№	Назва рослини	Кількість дерев	$a_i$ , г/кг	$b_i$ г/кг	$c_i$ , г/кг	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відми-раючі
1	<i>Acer negundo</i>	4	0,05932	0,2437	3,3		4		
2	<i>Acer platanoides</i>	19	0,0715	0,1926	3,4	10	9		
3	<i>Acer saccharinum</i>	1	0,0745	0,2437	3,8		1		
4	<i>Armeniaca vulgaris</i>	1	0,07057	0,2550	3,8		1		
5	<i>Aesculus hippocastanum</i>	51	0,09971	0,1146	4,4	32	19		
6	<i>Catalpa bignonioides</i>	105	0,0703	0,2930	4,8	62	41		2
7	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	2	0,12039	0,3744	2,5		2		
8	<i>Juglans regia</i>	7	0,05641	0,4566	3,0		7		
9	<i>Morus alba</i>	3	0,0745	0,1368	2,3		3		
10	<i>Picea abies</i>	2	0,0745	0,2437	3,8		2		
11	<i>Picea pungens</i>	9	0,0745	0,2437	3,8		9		
12	<i>Populus alba</i>	317	0,0745	0,2437	5,5	15	254	31	17
13	<i>Populus nigra</i>	49	0,0745	0,2437	4,7		37	11	1
14	<i>Pyrus communis</i>	1	0,0745	0,2437	3,8		1		
15	<i>Robinia pseudoacacia</i>	548	0,04761	0,1866	5,8	1	531	5	11
16	<i>Ulmus carpinifolia</i>	162	0,07493	0,1842	2,7	4	156		2

Таблиця В.5

Вхідні показники захисного зеленого насадження Титаномагнієвого комбінату

Назва рослини	Кількість дерев	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відми- раючі
<i>Acer negundo</i>	50	0,03062	0,2286	3,0		48	1	1
<i>Acer platanoides</i>	8	0,0379	0,2424	3,5	1	7		
<i>Aesculus hippocastanum</i>	10	0,0548	0,2999	3,2	1	9		
<i>Ailanthus altissima</i>	30	0,02579	0,2999	2,5	2	28		
<i>Betula pendula</i>	24	0,02714	0,3156	4,5	14	8		2
<i>Fraxinus lanceolata</i>	13	0,0297	0,1650	3,0		13		
<i>Juglans regia</i>	10	0,0324	0,6186	2,5	10			
<i>Morus alba</i>	12	0,03927	0,1296	2,1		12		
<i>Picea abies</i>	11	0,03844	0,2999	3,3	1	10		
<i>Picea pungens</i>	10	0,03844	0,2999	3,3	1	9		
<i>Populus alba</i>	34	0,0486	0,6120	4,6		22	11	1
<i>Populus nigra</i>	20	0,05132	0,4944	4,0		20		
<i>Populus Simonii</i>	75	0,05042	0,4302	3,7		72	2	1
<i>Robinia pseudoacacia</i>	528	0,02532	0,1878	4,1		507	11	10
<i>Salix alba</i>	1	0,04327	0,3192	3,3			1	
<i>Thuja orientalis</i>	1	0,03844	0,2999	3,3		1		
<i>Tilia cordata</i>	3	0,02411	0,1620	4,1		3		
<i>Ulmus laevis</i>	24	0,04254	0,1632	3,3		15	9	
<i>Ulmus carpiniifolia</i>	962	0,04031	0,1296	2,3		925	21	16

Таблиця В.6

Вхідні показники захисного зеленого насадження Алюмінієвого заводу

№	Назва рослини	Кількість дерев	$a_i$ , г/кг	$b_i$ г/кг	$c_i$ , г/кг	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відми- раючі
1	<i>Acer pseudoplatanus</i>	2	0,44308	0,3456	3,5	1	1		
2	<i>Aesculus hippocastanum</i>	11	0,60026	0,1284	3,6		11		
3	<i>Ailanthus altissima</i>	27	0,43326	0,6192	2,7	2	25		
4	<i>Betula pendula</i>	2	0,28071	0,3718	5		2		
5	<i>Catalpa bignonioides</i>	16	0,49721	0,3012	3,9	6	10		
6	<i>Fraxinus lanceolata</i>	57	0,42083	0,2184	3,4	9	42		6
7	<i>Morus alba</i>	9	0,5226	0,1692	1,9	3	6		
8	<i>Picea pungens</i>	13	0,44308	0,3718	3,5	4	9		
9	<i>Platanus acerifolia</i>	1	0,2891	0,3718	3,5		1		
10	<i>Populus alba</i>	29	0,64267	0,6870	4,5		24	5	
11	<i>Populus nigra</i>	5	0,67011	0,9264	3,7		4	1	
12	<i>Populus Simonii</i>	1	0,57936	0,6798	3,7		1		
13	<i>Quercus robur</i>	3	0,44308	0,3718	3,5	3	0		
14	<i>Robinia pseudoacacia</i>	348	0,2756	0,2610	4,2	14	325	5	4
15	<i>Salix alba</i>	15	0,6029	0,2304	3,2		9	6	
16	<i>Sorbus aucuparia</i>	2	0,44308	0,3718	3,5		2		
17	<i>Thuja orientalis</i>	6	0,44308	0,3718	3,5	1	5		
18	<i>Tilia cordata</i>	14	0,26031	0,1830	4	6	6		2
19	<i>Ulmus laevis</i>	32	0,27071	0,2568	3,5	2	25	4	1
20	<i>Ulmus carpiniifolia</i>	361	0,31054	0,1992	2,1	6	329	21	5

## Вхідні показники захисного зеленого насадження заводу «Вогнетрив»

№	Назва рослини	Кількість дерев	$a_i$ , г/кг	$b_i$ г/кг	$c_i$ , г/кг	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відми- раючі
1	<i>Acer negundo</i>	166	0,0847 6	0,660 6	3,0		15 2		14
2	<i>Acer platanoides</i>	46	0,1068	0,776 4	3,6		45		1
3	<i>Aesculus hippocastanum</i>	16	0,1603 6	0,663 6	3,4	15	1		
4	<i>Ailanthus altissima</i>	68	0,1155 2	1,510 8	2,6	44	23		1
5	<i>Betula pendula</i>	11	0,0783 7	0,943 2	4,7		11		
6	<i>Catalpa bignonioides</i>	5	0,1414 4	0,863 4	3,0		5		
7	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	6	0,1371 8	0,978 6	2,5	6	0		
8	<i>Fraxinus lanceolata</i>	6	0,1109 3	0,382 2	3,2		6		
9	<i>Juglans regia</i>	2	0,1298 4	1,104 6	3,0		2		
10	<i>Morus alba</i>	18	0,1336 1	0,304 8	2,3		18		
11	<i>Picea abies</i>	3	0,1259 4	0,807 9	3,2	1	2		
12	<i>Picea pungens</i>	10	0,1259 4	0,807 9	3,2	1	9		
13	<i>Platanus acerifolia</i>	1	0,1259 4	0,807 9	3,2		1		
14	<i>Populus alba</i>	293	0,1662 7	1,224 6	4,1		27 4	19	
15	<i>Populus nigra</i>	48	0,1812 9	1,671 0	4,2		35	11	2
16	<i>Populus Simonii</i>	40	0,1424 2	1,119 6	3,5		39		1
17	<i>Robinia pseudoacacia</i>	639	0,0907 6	0,373 8	3,9	42	59 1	2	4
18	<i>Salix alba</i>	1	0,1988 1	0,472 8	2,1		1		
19	<i>Tilia cordata</i>	2	0,0795 4	0,367 8	3,8		2		
20	<i>Ulmus carpinifolia</i>	568	0,0831 8	0,316 2	2,0		54 0	24	4

Таблиця В.8

Вхідні параметри захисного насадження Трансформаторного комбінату

№	Вид дерева	Кільк.	$a_i$ , г/кг	$b_i$ г/кг	$c_i$ , г/кг	$y_i^1$	$y_i^2$	$y_i^3$	Відм
1	<i>Acer negundo</i>	156	0,02867	0,1488	2,00		150		6
2	<i>Acer platanoides</i>	187	0,03032	0,1380	2,50		168	19	
3	<i>Acer saccharinum</i>	80	0,02867	0,1488	2,50		75	5	
4	<i>Aesculus hippocastanum</i>	63	0,04176	0,1146	2,80		63		
5	<i>Ailanthus altissima</i>	15	0,01916	0,3240	1,90	1	11	3	
6	<i>Armeniaca vulgaris</i>	5	0,02711	0,1206	2,50	2	3		
7	<i>Betula pendula</i>	66	0,02032	0,1704	3,00		65		1
8	<i>Catalpa bignonioides</i>	2	0,02531	0,1254	2,20		2		
9	<i>Cotinus coggygria</i>	172	0,02867	0,1488	2,50		172		1
10	<i>Fraxinus lanceolata</i>	14	0,02248	0,1158	2,50		14		
11	<i>Juglans regia</i>	10	0,02506	0,1308	2,40	1	9		
12	<i>Malus silvestris</i>	8	0,02867	0,1488	2,50		8		
13	<i>Picea abies</i>	33	0,02867	0,1488	2,50		33		
14	<i>Pinus sylvestris</i>	13	0,02867	0,1488	2,50		13		
15	<i>Platanus acerifolia</i>	10	0,01936	0,1488	2,50		10		
16	<i>Populus nigra</i>	30	0,02867	0,1488	3,30		23	6	1
17	<i>Populus pyramidalis</i>	134	0,04312	0,1470	2,50		110	19	5
18	<i>Quercus robur</i>	112	0,02867	0,1488	2,50		109	3	
19	<i>Robinia pseudoacacia</i>	86	0,01721	0,1302	3,10		78	4	4
20	<i>Sophora japonica</i>	10	0,02867	0,1488	2,50		8	2	
21	<i>Sorbus aucuparia</i>	18	0,02867	0,1488	2,50	5	13		
22	<i>Thuja orientalis</i>	23	0,02867	0,1488	2,50	8	15		
23	<i>Tilia cordata</i>	264	0,01760	0,1068	2,50		263		1
24	<i>Ulmus parvifolia</i>	128	0,02867	0,1620	2,50		121	3	4

**Бессонова Валентина Петрівна**  
**Денисенко Анастасія Вікторівна**

**ЗАХИСНІ ЗЕЛЕНІ НАСАДЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ  
ПІДПРИЄМСТВ ЗАПОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ.  
ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ**

**Бессонова В.П., Денисенко А.В. Захисні зелені насадження промислових  
Б-53 підприємств Запорізького регіону. Еколого-біологічний аспект: Монографія.  
ДДАЕУ Дніпро: 2026. 235 с. 476 літ. дж.**

У монографії узагальнені результати оригінальних досліджень з аналізу екобіологічних характеристик, таксономічного складу, таксаційних показників, життєвого стану та оцінки атмосфероочисної ролі деревних насаджень СЗЗ Запорізького промислового регіону. У межах дослідження розроблено компромісні плани щодо додаткового введення деревних порід до складу захисних зелених насаджень. Запропоновані практичні рекомендації з їх модернізації та подальшої реконструкції.

Монографія буде корисна для фахівців із садово паркового господарства, екології, ботаніки, фізіології рослин, студентам та аспірантам вищих навчальних закладів, спеціалістам державних управлінь зі садово-паркового господарства, а також з екології та природних ресурсів.

**Bessonova V.P., Denysenko A.V. Protective Green Plantations of Industrial Enterprises of the Zaporizhzhia Region. An Ecological and Biological Aspect. Dnipro: , 2026. 235 p.**

The monograph summarizes the results of original research on the analysis of ecological and biological characteristics, taxonomic composition, mensurational indicators, vitality status, and the assessment of the atmospheric purification role of woody plantations within the sanitary protection zones of the Zaporizhzhia industrial region. Within the scope of the study, compromise plans for the additional introduction of tree species into the composition of protective green plantations were developed. Practical recommendations for their modernization and further reconstruction are proposed.

The monograph will be useful for specialists in landscape gardening, ecology, botany, plant physiology, undergraduate and postgraduate students of higher education institutions, specialists of public authorities in landscape gardening, as well as in ecology and natural resources.

УДК: 502.172:631.961:332.12 (477.64)(02)

@ Бессонова В.П., Денисенко А.В.

**ISBN**

