

## ОЦІНКА ЩІЛЬНОСТІ ТА СТАНУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ САНІТАРНО-ЗАХИСНИХ ЗОН ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ М. ЗАПОРІЖЖЯ В ДИНАМІЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ СУПУТНИКА LANDSAT

Скляренко А.В., Бессонова В.П.

Дніпровський аграрно-економічний університет  
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро  
s-k2015@ukr.net

Промислова діяльність металургійних підприємств пов'язана з негативним впливом на всі системи навколишнього середовища. Зелені насадження санітарно-захисних зон цих підприємств відіграють важливу роль, доочищаючи повітря від техногенних забруднювачів. Тому аналіз стану дендрофлори цих зелених масивів є актуальним, необхідними є також спостереження змін у часі з точки зору моніторингу. У даній роботі висвітлюються питання оперативного виявлення змін густоти захисних зон промислового регіону м. Запоріжжя за допомогою багатоспектральних знімків супутників Landsat а часовому діапазоні. Наведенні результати змін щільності насаджень рослин зелених лісосмуг із використанням нормалізованого відносного індексу рослинності (NDVI). Головною перевагою NDVI є надійність і легкість їх отримання, а також широкий діапазон задач, що вирішуються за їх допомогою. Аналіз щільності деревостану показав подібну динаміку змін у всіх вивчених захисних лісосмугах промислового регіону м. Запоріжжя. З 1990 року по 2000 знижується щільність насаджень та збільшується територія, яка відповідає значенням 0,0 – 0,2 (відкритий ґрунт). З 2000 по 2018 роки відбуваються позитивні зміни в густоті насаджень за рахунок заповнення території самосівом. На всіх досліджуваних зелених насадженнях санітарно-захисних зон підприємств в 2000 та 2010 роках здійснювалась висадка нових порід, але кількісний показник їх незначний, тому вплив на щільність деревостану захисних зон мізерний. Стан лише близько 10% рослинності в зелених зонах санітарно-захисних лісосмуг по шкалі І.Г. Семенової (2014), оцінено як «добрий», окрім насаджень Вогнетрив та Запоріжсталь (ділянка Б). Для цих зелених смуг від 60% до 54% дерев віднесені до цієї категорії. Найгірший стан рослин виявлений в захисних зонах Алюмінієвого комбінату та заводу Укрграфіт. Лише 2,73 та 4,15% відповідно оцінено – «добре». *Ключові слова:* захисні лісосмуги, нормалізований індекс, зелені насадження, космічні знімки, життєвий стан.

### Assessment of fluctuations in density and growing conditions of green plantations in the area of sanitary protection zones of industrial enterprises in the city of Zaporizhzhya by using Landsat satellite imagery. Sklyarenko A., Bessonova V.

The industrial activity of metallurgical enterprises is associated with a negative impact on all environmental systems. Green plantations of sanitary protection zones of these enterprises play a key role as an agent for purifying air from man-made pollutants. Therefore, the analysis of the tree flora status of said green plantations as well as monitoring their temporal fluctuations are of crucial importance. This paper addresses the issues concerning the rapid detection of density fluctuations of sanitary protection zones of the industrial region of Zaporizhzhya using multispectral images obtained from Landsat satellites with accordance to a given time span. We show the results of changes in the density of plantations growing within the area of protective forest belts using the normalized difference vegetation index (NDVI). The main advantage of NDVI is the reliability and ease of obtaining it, as well as the wide range of tasks that can be solved with it. The analysis of the density of the forest stand showed similar fluctuations in all of the protective forest bands studied in the industrial region of Zaporizhzhya. From 1990 to 2000 the density of the plantation decreases and the territory corresponding to the values from 0.0 to 0.2 (open soil) increases in size. From 2000 to 2018, there are positive changes in the density of plantations due to the area being filled with self-sown plant species. Transplanting of new cultivars has been carried out on all investigated green plantations of sanitary protection zones of enterprises from 2000 to 2010, but their quantitative indicator remains insignificant, so the impact on the density of the forest stand of sanitary protection zones is negligible. The condition of roughly 10% of the vegetation growing within the area of green plantations of sanitary protection forest bands has been rated as "good" on the scale by I.G. Semenova (2014), except in the case of "Vohnetryv" and "Zaporizhstal" enterprises (section B). In their cases, 60% to 54% of all trees are placed within this category. The worst conditions for the plants can be found in the sanitary protection zones of the ZAIC and "Ukrgrafit" enterprises. Only 2.73% and 4.15% of plants respectively have been rated as "good" in such cases. *Key words:* protective forest belts, normalized index, green plantations, satellite images, vital status.

**Постановка проблеми і актуальність дослідження.** Місто Запоріжжя є одним із провідних індустриальних комплексів нашої країни [1]. Наявність потужного промислового потенціалу неминуче призводить до значних обсягів викидів в атмосферу важких металів [2], оксидів сірки, азоту, фенолів, формальдегідів, сірководня, сполук хлору, речовин у вигляді суспендованих твердих частинок та лет-

кими органічними сполуками тощо [1; 3]. Внаслідок в атмосферне повітря щорічно надходить 2,0 млн. т / рік забруднюючих речовин, які негативно впливають на живі системи, і в першу чергу, на здоров'я людини [4]. В зв'язку з цим, дуже важливо обмежувати їх попадання в селитебні території міста. Значну роль у доочищенні атмосферного повітря від цих шкочинних речовин належать рослинам.

Вони виконують роль зелених фільтрів поглинаючи сірку, феноли, сполуки хлору, метали та ін., затримують пил [5–9].

В першу чергу ця функція припадає на зелені насадження санітарно-захисних зон промислових підприємств. Від їх структури і стану залежить успішність виконання ними середоочищувальної ролі. Тому моніторинг стану зелених масивів санітарно-захисних зон, особливо у часі з використанням дистанційних методів є актуальним.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Розроблена у статі тема є частиною стратегічного курсу на оздоровлення навколишнього середовища з використанням захисних насаджень та тісно пов'язана з природоохоронною тематикою, моніторингом життєвого стану цих насаджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує ряд публікацій, які присвячені обстеженню зелених лісосмуг санітарно-захисних зон ряду підприємств [10–14]. Слід вказати що ці дослідження не численні. Крім того необхідно проводити аналіз життєвості деревостану захисних насаджень в конкретних кліматичних та екологічних умовах.

Надзвичайної актуальності набуває створення моніторингових систем, що дозволять констатувати, аналізувати та прогнозувати явища в природних системах. Їх ефективну роботу може забезпечити впровадження сучасних інформаційних технологій збору та аналізу інформації, зокрема, методів дистанційного зондування [15–18]. Дані дистанційного зондування Землі з успіхом використовують для: оцінки збитків від лісових пожеж і їхніх наслідків, антропогенного впливу на штучні та природні рослинні угруповання [16; 19–21], дослідження біорізноманіття та біомаси рослинних об'єктів [22–25], відстеження динаміки і стану вирубки лісу, прогнозу врожайності сільськогосподарських культур [26–29] та визначення їх сортів [30], відновлення топографічних карт, що відображають реальний стан територій [31]. Для оцінки кількості та стану рослинності за багатоспектральними космічними знімками зазвичай використовуються різноманітні вегетаційні індекси: NDVI, GCI, ARVI та інші [32–36]. Найчастіше застосовують індекс вегетації NDVI, який несе інформацію про щільність рослинного покриву [31, 37–39]. На його значення впливає видовий склад рослинності, її стан, експозиція, кут нахилу поверхні, колір ґрунту під розрідженою рослинністю, а діапазон змін становить від – 1 до 1 [40]. Згідно М.І. Грехневу зі спів. (2015), індекс вегетації надає інформацію про ступінь забруднення ґрунту токсичними речовинами. Головною перевагою вегетаційних індексів є надійність і легкість їх отримання, а також широкий діапазон задач, що вирішуються за їх допомогою. Недоліками використання NDVI індексу є: неможливість застосування даних, які не пройшли етап радіометричної корекції (калі-

брування); наявність похибок, що вносяться погодними умовами, сильною хмарністю; обмеження щодо використання знімків тільки часом сезонної вегетації для досліджуваного регіону.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Не досліджуваними залишаються питання аналізу змін щільності та життєвого стану деревних рослин сзз підприємств м. Запоріжжя в порівнянні з попередніми роками, а також, що особливо важливо, невідомою є картина їх сучасного стану.

Об'єктом нашого дослідження є санітарно-захисні лісосмуги промислових підприємств м. Запоріжжя.

**Метою** даної роботи є визначення динаміки стану рослинного покриву санітарно-захисних зон підприємств промислового регіону м. Запоріжжя на основі супутникових знімків із застосуванням індексу NDVI.

**Новизна даної роботи полягає** в вивченні з використанням супутникових знімків щільності та стану зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Отримані дані дають можливість прослідкувати зміни, що відбулися протягом досліджуваних років, зрозуміти основний тренд, що допоможе прийняти відповідні міри з поліпшення структури, щільності, життєвого стану насаджень та з їх реконструкції. Результати досліджень можуть стати основою бази даних для подальшого моніторингу зелених масивів санітарно-захисних зон промислових підприємств.

#### **Методика досліджень**

Досліджували зелені насадження санітарно-захисних зон таких підприємств: Запорізький Титаномагнієвий комбінат (Титаномагнієвий), ПАТ «Електрометалургійний завод Дніпроспецсталь» (Дніпроспецсталь), ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (Алюмінієвий), ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь»» (Запоріжсталь), «Закрите акціонерне товариство Вогнетрив-СОЮЗ» (Вогнетрив) ПАТ «Український графіт» (Укрграфіт), ПАТ «Запоріжтрансформатор» (Трансформаторний).

Для оцінки динаміки стану рослинності санітарно-захисних зон промислового центру була зібрана серія супутникових знімків Landsat у часовому діапазоні, а саме: 31.08.2018; 24.08.2018; 17.08.2017; 10.08.2017; 12.08.2017; 31.08.2015; 23.08.2015; 25.08.2010; 20.08.2005; 21.08.2000; 22.08.2000; 01.09.1995; 11.08.1990. Відбір знімків проводився за критеріями мінімальної хмарності, відсутності диму. Всі сцени, що були взяті для аналізу, характеризували стан рослинності в кінці серпня кожного з досліджуваних років. Для виявлення зв'язку між показниками вегетаційного індексу і продуктивністю різних захисних зон порівнювали дані

маршрутних досліджень з отриманими значеннями індексів за допомогою космічних знімків.

Оскільки ми використовували знімки середнього просторового розрізнення, територія однієї сцени значно перевищує область інтересу, тобто площу санітарно-захисних зон. Відповідно, для подальшої роботи всі досліджувані знімки «обрізалися» до потрібної території за полігоном.

Індекс NDVI вегетації насаджень санітарно-захисних зон різних підприємств м. Запоріжжя розраховували за наступною формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

де NIR – відбиття в ближній інфрачервоній області спектру, RED – відбиття в червоній області спектру. Завдяки особливостям відображення в NIR-RED областях спектра, природні об'єкти мають фіксовані значення NDVI, що дозволяє використовувати цей параметр для їх ідентифікації та оцінки стану.

Для ідентифікації земного покриву Лялько В.І. зі спів. (2008) [41] запропонував шкалу значень: 0,2–0,3 відповідають трав'яній рослинності, а значення 0,4–0,6 листяним деревостаном. Основні критерії розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI, запропоновані в роботі І.Г. Семенової (2014):

Таблиця 1

**Критерії розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI [42]**

| 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      |

Композиційне зображення, яке було створене на підставі вегетаційних індексів, дає можливість ефективніше розрізнити структуру насаджень санітарно-захисних зон промислового регіону м. Запоріжжя, дослідити стан, вплив на них промислових емісій та визначити їх вікові зміни в часі.

Таким чином, була отримана серія тематичних карт (часова) з 1990, 2000, 2010, 2018 роки, за значеннями нормалізованого відносного індексу рослинності. Для кожної з них на основі частотних гістограм розподілу значень NDVI було проведено визначення площ зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств, а також відсоток площ ділянок що різняться за щільністю рослин на кожній досліджуваній території.

**Викладення основного матеріалу.** У ході дослідження шляхом супутникового моніторингу були виявлені зміни щільності рослин санітарної зони Алюмінієвого комбінату та оцінено їх розмір. Першим логічним етапом проведення аналізу стало

встановлення змін стану рослинності за досліджуванний період (1990, 2000, 2010, 2018 роки). На основі комп'ютерних розрахунків створено порівняльну таблицю результатів з використанням стандартизованої шкали нормалізованого відносного індексу для уніфікації отриманих значень. На зображеннях добре видно, як змінювалась структура насадження з 1990 по 2018 рік. Необхідно відмітити, за всі роки досліджень деревні рослини санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату характеризувалися розрідженою та помірною рослинністю, слабо розвиненою зеленою фітомасою. З 1990 по 2000 року отримані регресійні залежності, простежується відмирання та зрідження рослинності. На 11% збільшилась площа території лісосмуги, яка була без рослинності, а територія, яку займали помірна та розріджена рослинність знизилась на 9,73%.

В 2010 році стосовно 2000 помітна позитивна динаміка. Щільність насадження зростала за рахунок висадження дерев – липи серцелистої, ялини колючої, дуба звичайного та в'язу гладенького [43].

З 2010 року по 2018 рік відбуваються два паралельних процеси: певна рослинність втрачала життєві ознаки, а деякі ділянки заповнюються самосівом. Відносна площа території без рослинності в 2018 в порівнні з 1990 роком знизилась на 11,88%, та збільшилась територія, яка відображає розріджені насадження (на 11,12%).

Слід зазначити, що за останнє восьмиріччя майже в половину скоротилась площа, яка відповідає значенням індексу NDVI – 0,4–0,5. Сумарний відсоток площі з помірною щільністю рослинності знизився на 5,96%. Зменшився відсоток площі з показниками вегетаційного індексу 0,1–0,2. На 17,17% збільшилась площа, яка віднесена до категорії під розріджену рослинність.

Таким чином, з 1990 року до 2000 року помітна негативна тенденція в насадженнях санітарної зони Алюмінієвого комбінату. З 2000 року по 2010 почалися відновлювальні процеси та висадженні нові рослини. Порівняння стан рослинності в 1990 році та сьогодні показує, що зміни відбулися приблизно на 22% території. Але відносна площа, з помірною рослинністю, порівнюючи 1990 рік та 2018 – приблизно однакова.

Стосовно критеріїв розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI, запропонованими в роботі Семенової І.Г. (2014) аналіз космічних знімків показує, що протягом дослідження з 1990 по 2018 рік спостерігається негативна динаміка, окрім 2010 року. Це можна пов'язати з тим, що в цей період дерева, що були висадженні в 2000 році вже зробили певний внесок в основну складову фітомаси. Однак за останні 8 років майже вдвічі знизилась площа рослин, що відповідає «доброму» класу, натомість на 10% зросла частка рослин віднесених до «задовільного» стану та на 7,17% – «поганого» стану. В цілому, можемо констатувати, що з 1990 року

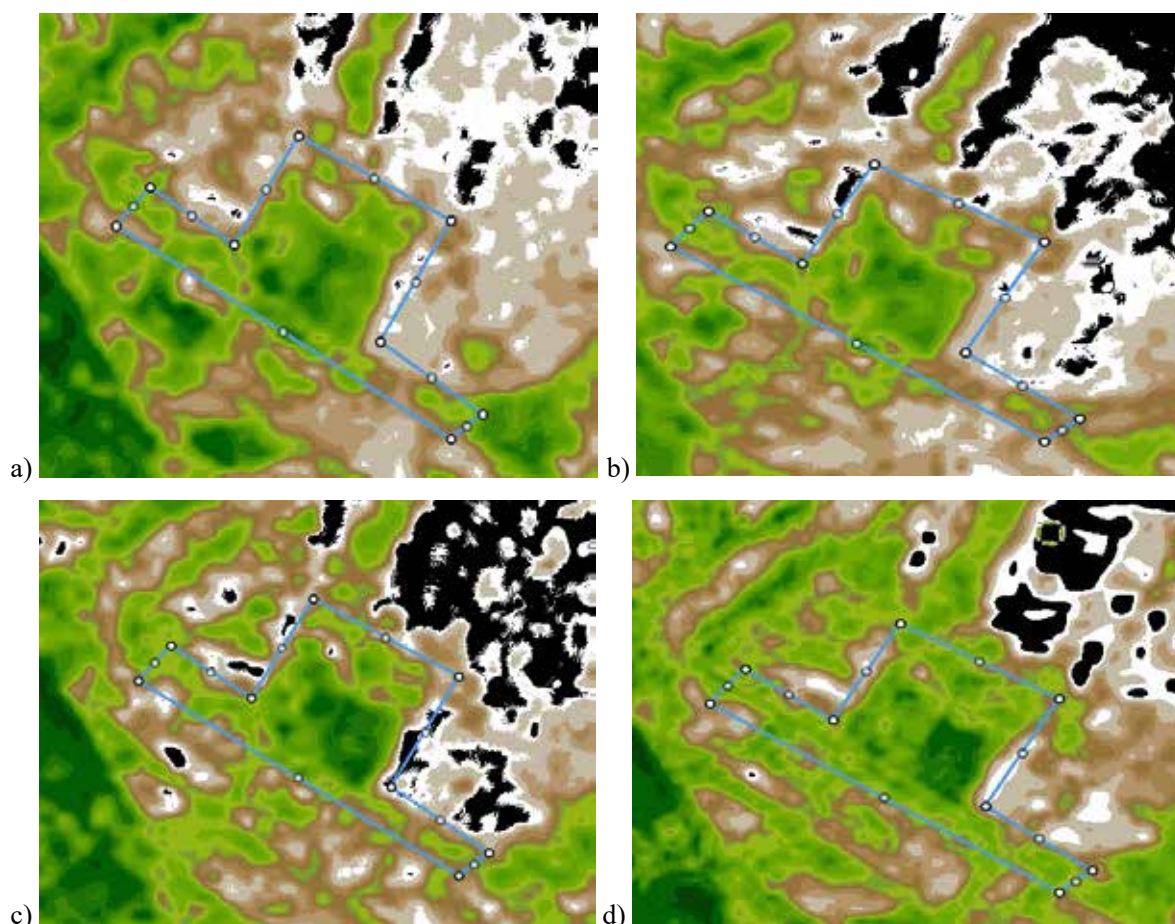


Рис. 1. Щільність рослин в захисному насадженні Алюмінієвого комбінату що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018

Таблиця 2

### Значення NDVI санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату в досліджуванні роки

| 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          | 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  |

по 2018 збільшується відсоток площі рослинності «поганого» та «задовільного» стану. Лише 2,73 % деревостану оцінено як «добрий», 6,83 % як «задовільний». 53,75 % площі зелених насаджень захисної смуги віднесено до категорії стану рослинності «поганий» та «пригнічений».

Отже, за допомогою космічних знімків виявили, що щільність рослинного покриву захисних наса-

джень Алюмінієвого комбінату та його стан значно змінився з роками. Відбулося поновлення складу рослинності, але воно мізерне. Отже, санітарно-захисна зона даного заводу потребує реконструкції.

За довготривалими часовими серіями багатоспектральних космічних знімків Landsat TM/ETM+ були досліджені просторово-часові тенденції зміни рослинного покриву санітарно-захисної зони

підприємства Укрграфіт. Результати розрахунку NDVI за допомогою супутникових знімків подано на рис. 2. Визначили відносну площу території яка відповідає певним діапазнам значень. Космічні знімки, що отримані з 1990 по 2018 рік чітко показують зміни в щільності захисного насадження підприємства.

На зображеннях (рис. 2) добре видно, як змінювалась структура санітарно-захисного зеленого насадження «Укрграфіт» з 1990 по 2018 рік.

У 1990 року територія з відкритим ґрунтом займала 41,94%, а в 2000 році були зафіксовані найбільші кількісні показники в цьому діапазоні значень

(від 0,0 до 0,2). З 2000 р. по 2018 спостерігається позитивна динаміка зі зменшення площі території, на якій відсутня рослинність. Згідно нашим даним [44], з інвентаризації насадження санітарно-захисної зони цього заводу, це відбувається за рахунок сформованих квітників. У 1990 р. рослинність займала 57,26% території захисної смуги. У 2018 р. частка рослинності зросла до 75,61%. Найгірше становище було відмічене в 2000 році. У захисному насадженні площа території, що зайнята помірно рослинністю, становила 4,47%, розрідженою – 24,56%. З цього року до 2018 прослідковується позитивні

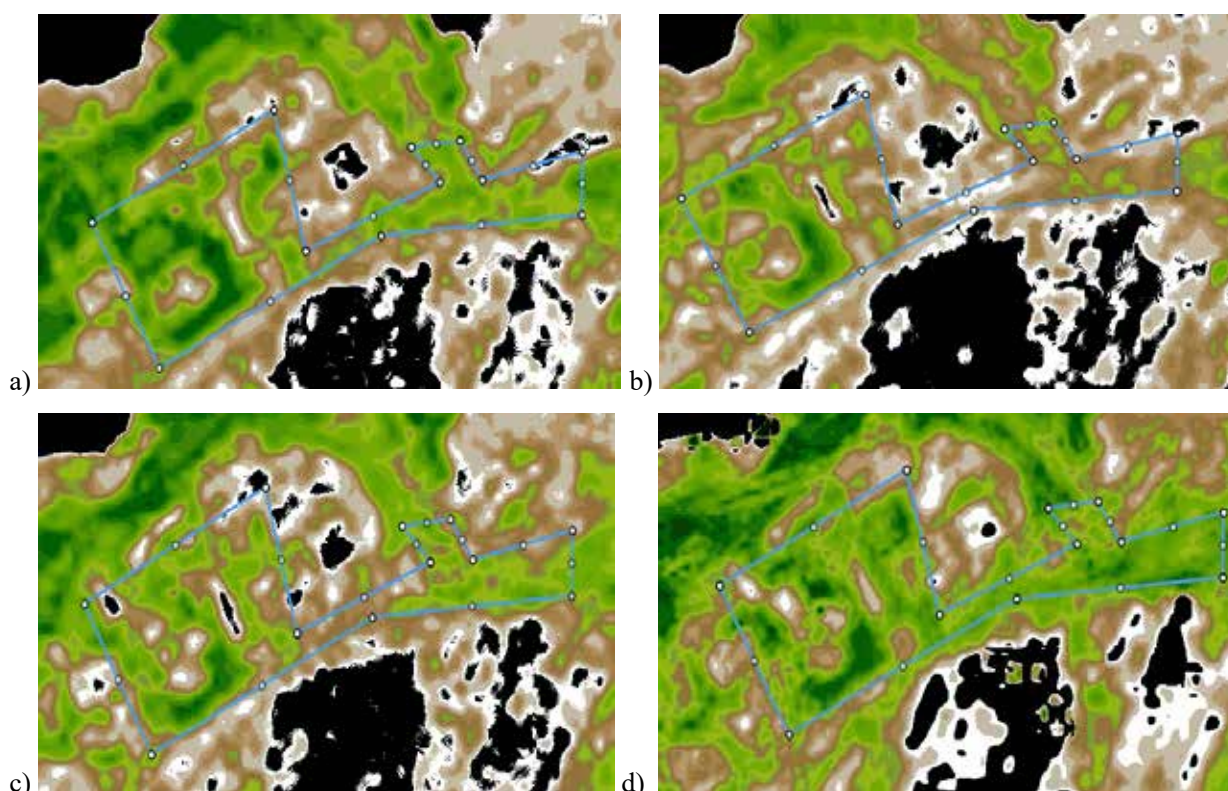


Рис. 2. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Укрграфіт, що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; г) 2018.

Таблиця 3

**Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Укрграфіт в досліджуванні роки**

| 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          | 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  | 12,6  |
| 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 | 37,8  | 17,22 |
| 10   | Відкритий ґрунт        | 0,0–0,1          | 11,48             | 25,36 | 16,27 | 7,02  |
| 11   | Штучні матеріали       | -1–0,0           | 0,8               | 1,28  | 1,44  | 0,16  |

зміни, але щільність насадження зростала з двох причин: по-перше – за рахунок висадження нових порід дерев – клен гостролистий, яблуня лісова, липа серцелиста та туя східна. Проте, частка висаджених дерев незначна. Щільність зеленої санітарної смуги також збільшувалась за рахунок самосіву, який утворює хащі (айлант найвищий та в'яз граблистий).

За шкалою І.Г. Семенової (2014) стан 12,6% деревних рослин в 2018 році, характеризується як «задовільний», та 58,86% як «поганий». І лише 4,15% віднесено до категорії «добрий». Слід зазначити, що пригнічений стан рослин пояснюється

не тільки негативною дією на них промислових викидів, але й внаслідок значного віку насаджень (близько 50 років).

За допомогою проведеної калькуляції нормалізованого індексу визначили щільність насадження санітарно-захисної зони підприємства Дніпроспецсталь за 1990, 2000, 2010, 2018. Аналізуючи дані таблиці 4, можемо сказати що з 2000 по 2018 рік зменшується відсоток площі без рослинності. В 1990 році 43,92% території займав відкритий ґрунт, в 2000 – 55,42%, в 2010 – 36,07, в 2018 році цей показник становив 26,18%. В 2000 році у зеленій зоні були висаджені

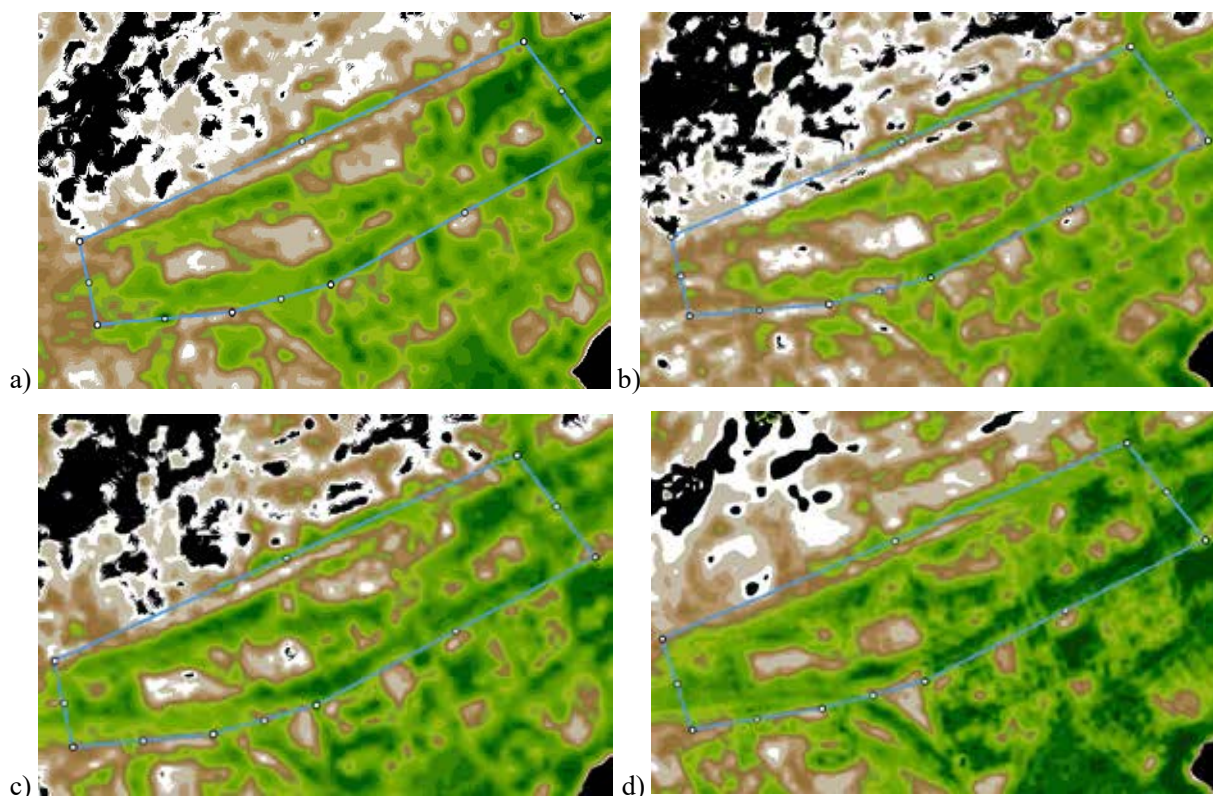


Рис. 3. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Дніпроспецсталь, що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

Таблиця 4

**Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Дніпроспецсталь в досліджуванні роки**

| 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          | 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          | 8,6               | 4,58  | 16,54 | 14,86 |
| 7    | Розріджена рослинність | 0,3–0,4          | 16,92             | 15,79 | 20,19 | 24,7  |
| 8    | Розріджена рослинність | 0,2–0,3          | 26,73             | 23,46 | 24,67 | 23,4  |
| 9    | Відкритий ґрунт        | 0,1–0,2          | 25,7              | 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     |

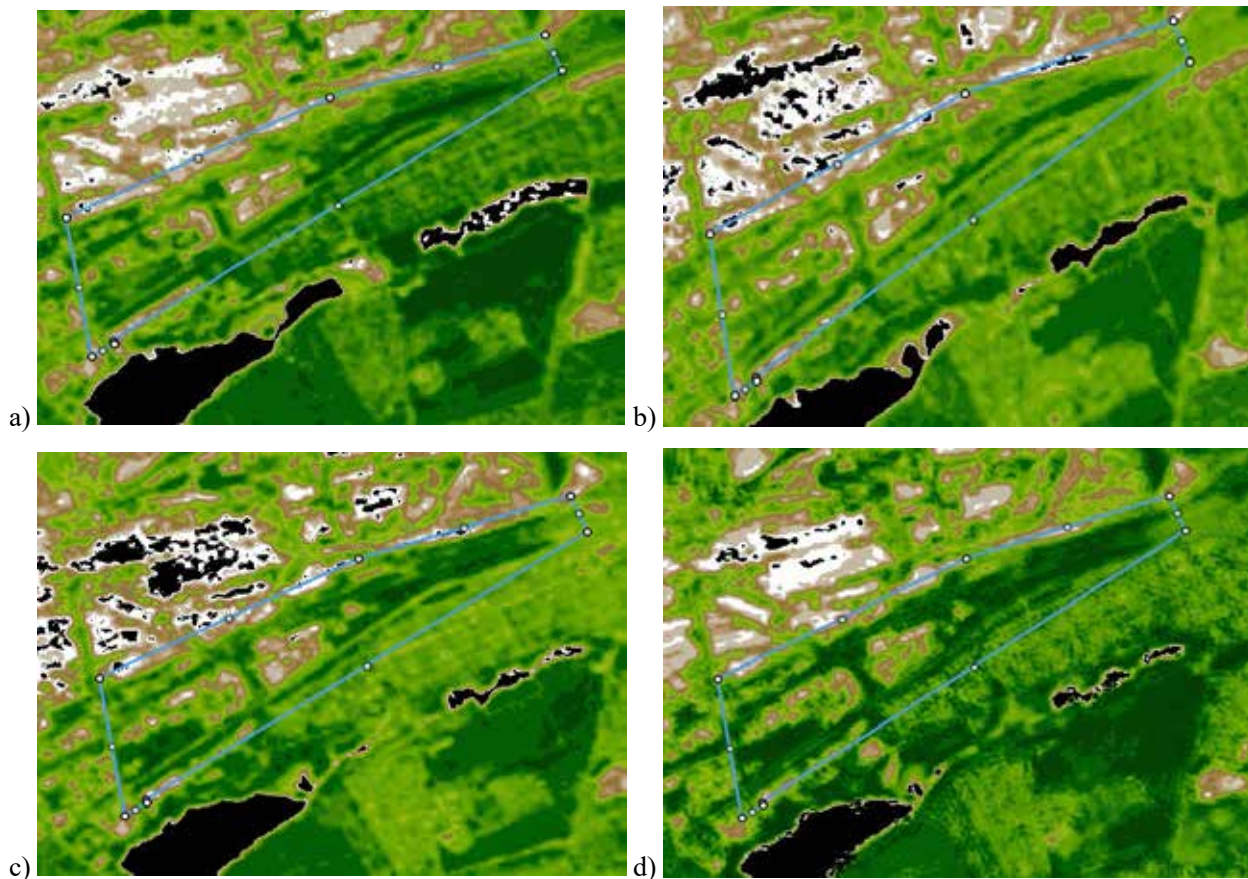


Рис. 4. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Запоріжсталь (Ділянка А) що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

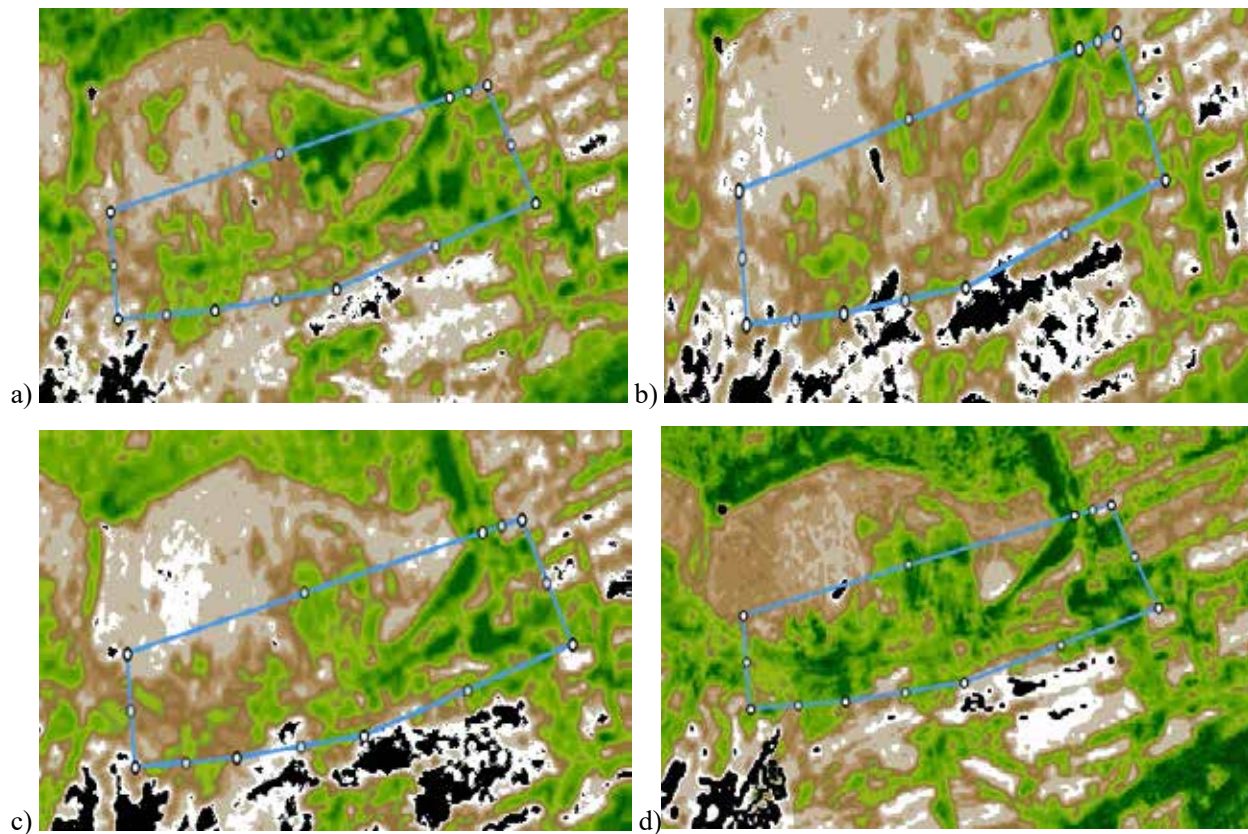


Рис. 5. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Запоріжсталь (Ділянка Б), що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

такі рослини як липа серцелиста, береза повисла, туя західна, ялина колюча, ялина звичайна, в 2010 горіх грецький. Внаслідок їх росту збільшилась частка щільності насадження. Слід відзначити, що на окремих територіях зростає самосів суцільними групами, утворюють непродувні хащі. На зображеннях добре прослідковується, як ділянки зі щільною рослинністю з роками стають розрідженими, за рахунок відмирання дерев, а на тих, які були з розрідженою рослинністю, відбуваються протилежні процеси, вони заповнюються самосівом.

Отже, відбулися позитивні зміни в щільності захисного насадження, але це в більшій мірі за рахунок самосіву, оскільки частка дерев, що була висаджена мізерна.

Аналіз стану рослин за останній рік дослідження (2018) показав, що 48,1 % за шкалою І.Г. Семенової (2014) оцінено як «поганий», 14,86 – як «задовільний», і лише 10,86 % оцінено до категорії «добре».

Таким чином, порівнюючи зміни в щільності санітарно-захисного насадження Дніпроспецсталь з 1990 року по 2018, можна констатувати: прослідковується підвищення значень нормалізованого відносного індексу рослинності за рахунок заповнення території самосівом та висаджених дерев в 2000 та 2010 роках рослин.

На зображеннях (рис. 4, 5) добре видно, як змінювалась структура захисних насаджень заводу Запоріжсталь з 1990 по 2018 рік. Санітарно-захисна зона даного заводу умовно поділена на дві частини «А» – територія яка розташована перед центральною будовою, та «Б» – з задньої частини заводу, де розташовані Мартенівські печі.

Цифрова інформація зміни густоти насаджень ділянки «А» свідчить, що з 1990 по 2000 рік збільшилась на 5,20 % територія, яку займає відкритий ґрунт. Значно зріс відсоток (на 18,15 %) ділянки яка відповідає значенням NDVI 0,2–0,4, на 20,67 % зменшилась площа з помірною рослинністю. З 2000 року по 2018 спостерігається позитивна динаміка, на території розташованій перед адміністративним приміщенням заводу. За певною частиною насаджень

здійснюється нагляд. Висадженні в 2000 та 2010 році нові рослини клена псевдоплатанового, катальпи біглонієвидної, берези повислої, туї західної та з'явилися нові квітники. Але є частина території, що розташована північніше, на якій занедбані та ослаблені рослини, з великою кількістю сухого гілля, на цій ділянці зростає велика кількість порослі айланта найвищого та в'язу граболистого.

З 2000 року по 2018 майже в двічі скоротилась площа з розрідженою рослинністю, а збільшилась з помірною рослинністю на 18,44 %. Необхідно відмітити що з 2000 року в роки дослідження (2010, 2018) поступово зменшився відсоток площі з відкритим ґрунтом, за рахунок створення квітників та заповнення окремих ділянок самосівом.

Оцінки стану рослинності за шкалою І.Г. Семенової (2014) свідчить що в 2018 році 20 % має «задовільний» стан, 15,23 % та 10,42 % – «поганий» та «пригнічений» відповідно. 40,46 % – рослин, віднесено до категорії «добре», і лише «0,59» – «дуже добре». Отже, 45,65 % мають ослаблений стан.

Ділянка «Б» ніколи не знаходилась під наглядом. Тут зростає велика кількість представників родини Кленові і територія заповнена самосівом клена ясенелистого, в'язу граболистого та айланта найвищого. В 1990 році територія з відкритим ґрунтом становила 52,67 %, самий великий відсоток з цим діапазоном значень спостерігається в 2000 році – 72,78 %. Далі територія поступово заростає самосівом. У 2010 відсоток території без вегетації становить 60,80 %, в 2018 – 33,57 %. Відсоток площі з розрідженою рослинністю в 2018 році, в порівнянні з 1990 роком дослідження майже не змінився.

Площа території, яка відповідає значенням NDVI як помірна та густа рослинність, збільшилась майже вдвічі. Але щільність рослин зростає за рахунок самосіву. За шкалою І.Г. Семенової (2014) на 2018 рік 11,15 % рослинного покриву оцінено категорією «добрий», решта – «ослаблені».

На табл. 7 представлено зміни щільності та стану захисних насаджень заводу Вогнетрив (з 1990 по 2018).

Таблиця 5

## Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Запоріжсталь в досліджуванні роки (ділянка А)

| 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     | 0,59  |
| 4    | Густа рослинність      | 0,6–0,7          | 3,25              | 0     | 3     | 19,11 |
| 5    | Помірна рослинність    | 0,5–0,6          | 14,3              | 4,77  | 15,86 | 21,35 |
| 6    | Помірна рослинність    | 0,4–0,5          | 29,28             | 18,14 | 22,57 | 20    |
| 7    | Розріджена рослинність | 0,3–0,4          | 19,07             | 30,3  | 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             | 14,3  | 12,66 | 8,65  |
| 10   | Відкритий ґрунт        | 0,0–0,1          | 9,2               | 11,39 | 9,28  | 4,64  |
| 11   | Штучні матеріали       | -1–0,0           | 0,08              | 1,05  | 0,46  | 0     |



Таблиця 6

## Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Запоріжсталь в досліджуванні роки (ділянка Б)

| 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          | 11,8              | 7,47  | 10,79 | 17,85 |
| 8    | Розріджена рослинність | 0,2–0,3          | 22,6              | 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  | 0,3   |

Таблиця 7

## Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Вогнетрив в досліджуванні роки

| 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          | 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             | 3,6   | 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             | 27,8  | 22,14 | 9,14  |
| 9    | Відкритий ґрунт        | 0,1–0,2          | 5,66              | 12,1  | 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     |

З 1990 року по 2000 рік зросла площа з відкритим ґрунтом на 6,7%. З 2000 року по 2018 прослідковуються позитивні зміни в діапазоні значень індексу від 0,0–0,2 (зменшення відсотку з відкритим ґрунтом). Якщо порівняти 2000 та 2018 роки, то в останньому році дослідження зменшилась площа з відкритим ґрунтом на 9,91%. У 1990 році 29,98% займаної площі – це розріджена рослинність, а в 2000 – 62,81%. Прослідковується поступове зменшення відсотку, який відповідає значенням NDVI 0,2–0,4, (розріджена рослинність). У 2018 році територія з розрідженою рослинністю становила 24,46%. Площа ділянок, на яких зростає густа рослинність, в останньому році дослідження зросла вдвічі в порівнянні з 1990 року.

Внаслідок проведеної нами інвентаризації дендрофлори цієї санітарно-захисної зони можемо сказати що щільність рослин збільшується не за рахунок підсадження нових дерев, а за рахунок самосіву клена ясенелистого, айланта найвищого.

Відсоток площі з помірною рослинністю при порівнянні двох років – 1990 та 2018, зменшився на 7,6% в останньому. В 2000 році стосовно 1990 року

збільшувалась площа з розрідженою рослинністю, а зменшувалась з помірною, за рахунок відмирання деревостану та збільшення сухого гілля. Потім почалися процеси відновлення за рахунок розповсюдження та швидкого росту самосіву.

Згідно шкали І.Г. Семенової (2014) стан рослин 47,49% оцінено як «добрий» 2,57 – дуже «добрий». 9,41% території зайнято пригніченою рослинністю та 15,32% віднесено до категорії «задовільна». Отже, 40,29% насаджень мають ослаблений стан.

За допомогою NDVI дослідили часові зміни в структурі насаджень санітарно-захисної лісосмуги Титаномагнієвого комбінату. На зображеннях (рис. 7) помітні зміни в їх щільності за роки дослідження. У 1990 році площа з відкритим ґрунтом займала 10,63% території, а в 2018 – 4,67%. Прогресивні зміни були помітні в 2010 році – 9,46%. Аналогічні зміни відбувались з величиною території, яка зайнята розрідженою рослинністю. З 1990 по 2000 рік відбувалось збільшення яке відповідає індексу NDVI 0,2–0,4. У 2018 році лише 24,77% площі зеленої зони займає розріджена рослинність, що в 1,6 менше в порівнянні з 1990 роком. В 2000 році відсоток

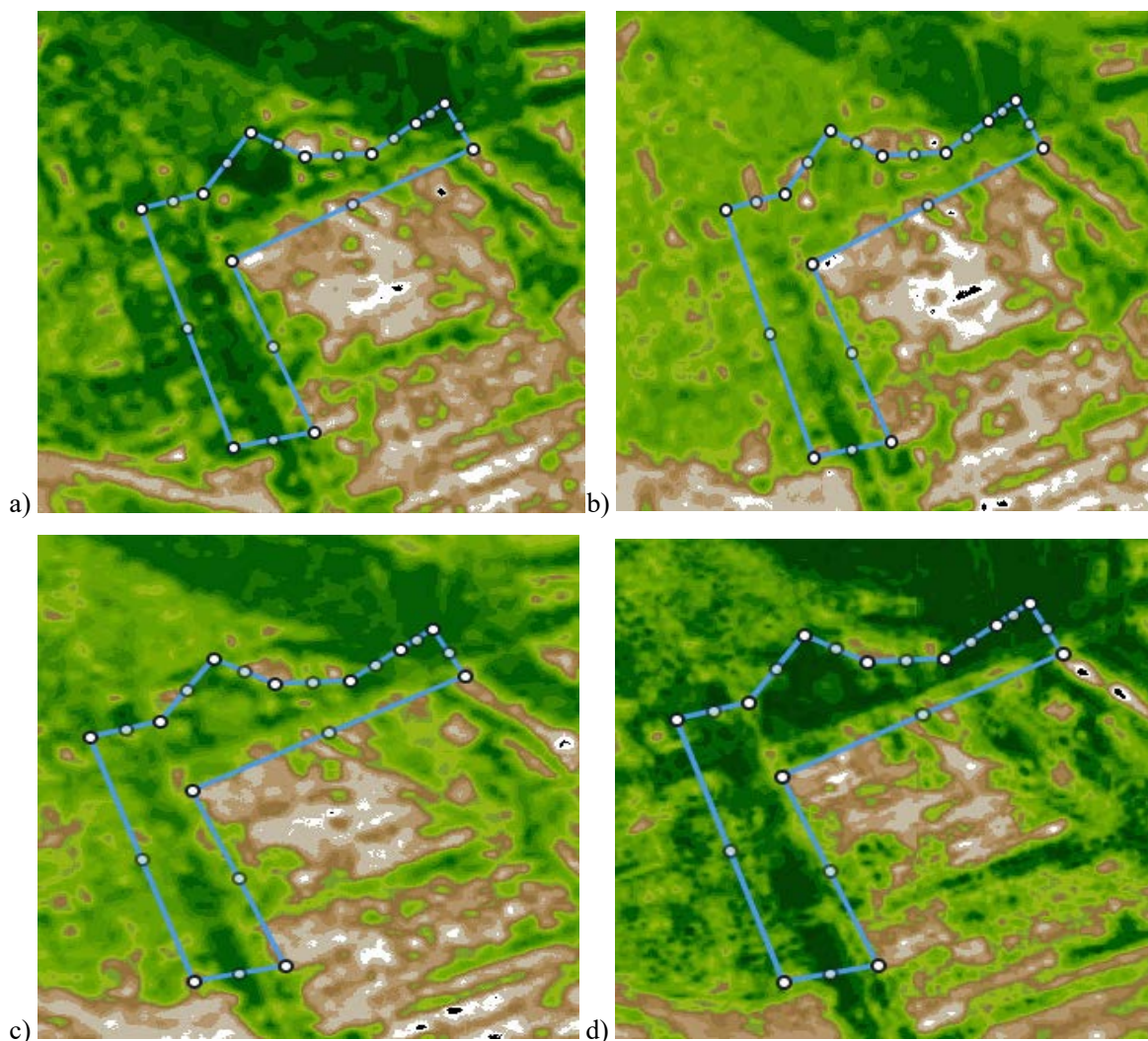


Рис. 6. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Вогнетрив що визначали за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

площі з помірною щільністю рослин зменшився на 6%, та становить 36,22%, в 2010 році відбулися позитивні зміни і територія з такою компактністю рослин становила вже 49,18%. У 2018 в порівнянні з 1990 р. розміри ділянки, на якій зростає рослинність з помірною щільністю залишилися без змін. Однак за інформативною складовою космічних знімків з 1990 року по 2018 збільшилася зростаюча площа зі щільною рослинністю (на 20,91%). На основі проведеної нами інвентаризації можемо стверджувати, що зростання щільності насадження відбулося за рахунок самосіву. Промислові емісії негативно впливають на деревні рослини, призводять до їх відмирання, тому щільність з 1990 до 2000 р. знизилась за рахунок ослаблення дерев та відмирання. З 2010 року по 2018 територія значно заповнилась самосівом.

Оцінка стану рослинності в 2018 році за шкалою І.Г. Семенової (2014): свідчить, що на території санітарно-захисної зони Титаномagneйового комбаніту до пригніченого стану відноситься 9,7% рослинності, 15,07% її оцінена як «погана»,

50% території лісонасадження віднесено до категорії «добре», менше 1% рослин – «дуже добре». Ми вважаємо, що це відбувається за рахунок нових висаджених у 2000 та 2010 роках хвойних дерев. Отримані значення за шкалою стану рослинності запропонованою І.Г. Семенової (2014) та наші дані, що одержані внаслідок інвентаризації деревостану санітарно-захисної зони різняться. До категорії без ознак ушкодження в 2018 році відноситься 8,78%. До помірно ослаблених та середньоослаблених віднесено 70,53 та 18,59% відповідно. 2,1% насадження – поганого та сухостою.

Отже, за останні 28 років відбулися значні зміни в насадженні. Ті рослини, які були висаджені в санітарно-захисних зонах рядами ще в 60–70 роках вже втрачають свій життєвий потенціал, відбувається зрідження крон, щільності, обліщення, значна частина рослин загинула внаслідок чого насадження стали більш розрідженими. Мають багато сухого гілля, пригнічений приріст, а позитивні зміни в щільності насадження відбувається за рахунок самосіву айланта найвищого та в'яза граболистого.

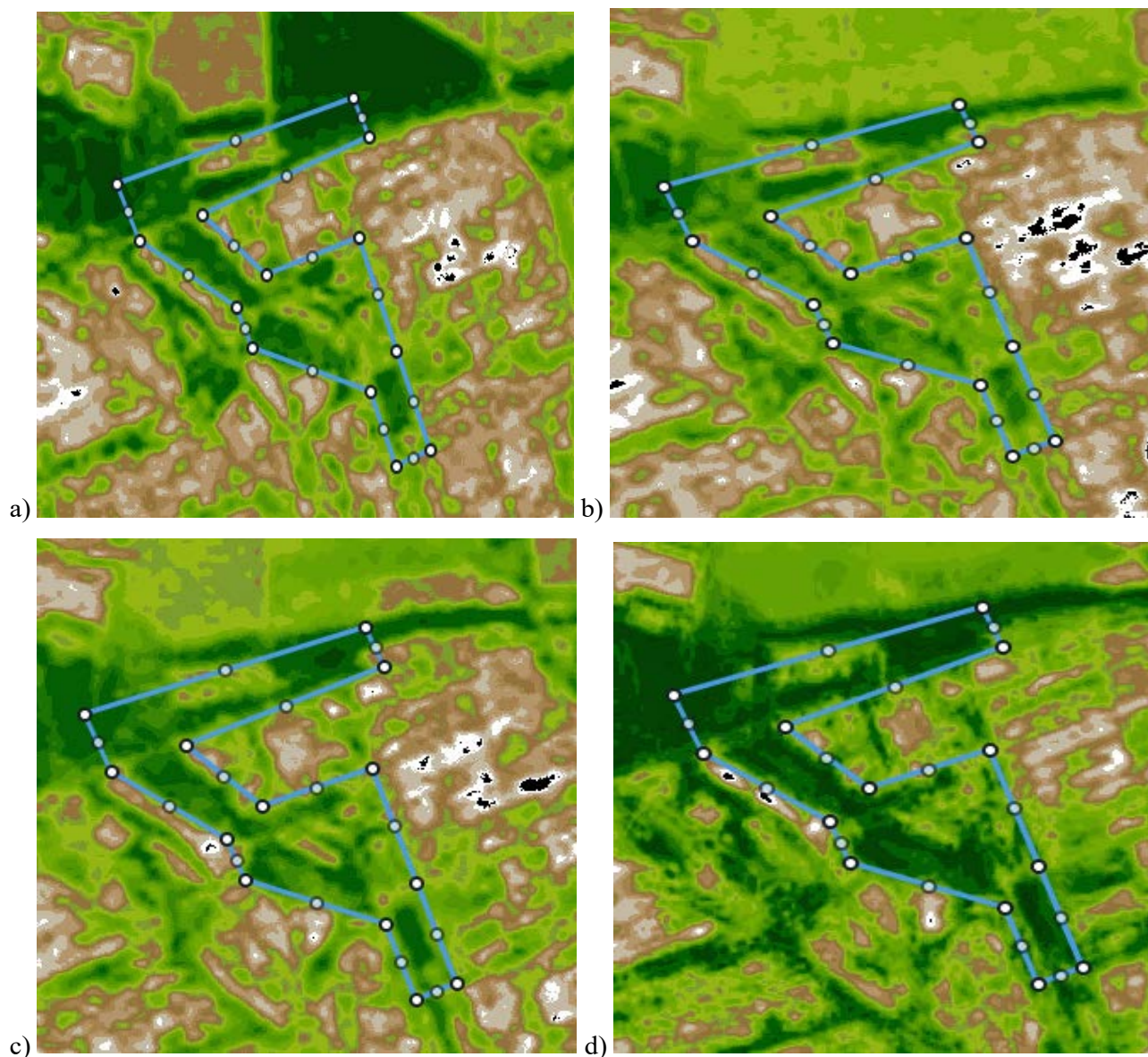


Рис. 7. Щільність рослин в захисному насадженні Титаномagneїєвого заводу що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

Таблиця 8

**Значення NDVI санітарно-захисної зони Титаномagneїєвого заводу в досліджуванні роки**

| 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          |                   |       |       |       |
| 3    | Густа рослинність      | 0,7–0,8          |                   |       |       | 0,7   |
| 4    | Густа рослинність      | 0,6–0,7          | 7,24              |       | 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 | 9,7   |
| 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  | 0,7   | 0,58  |
| 11   | Штучні матеріали       | -1–0,0           | 0                 | 0     | 0     | 0     |

Вони утворюють не продувні хащі. Це має негативне значення для очисних функцій насадження, оскільки порушується повітряний обмін фільтруючої конструкції. Слід відмітити, що за останні 10 років були висаджені клен гостролистий та хвойні: туя західна та східна, ялина, але їх частка в збільшенні численності деревостану незначна. Отже, на знімках спостерігається позитивна динаміка в змінах щільності, але це переважно за рахунок самосіву.

Проведені дослідження зелених масивів санітарно-захисної зони Трансформаторного заводу показали, що відносна площа з відкритим ґрунтом у 2018 у порівнянні з 2010 значно зменшилася. Прослідковуються позитивні зміни в динаміці з 2000 року. В порівнянні з 1990 року та 2018 займана площа зменшилась на 10,81%, хоча 1990, 2000, та 2010 ці величини відносно площі з відкритим ґрунтом майже однакові. Подібні зміни відбувались і у величині площі розрі-

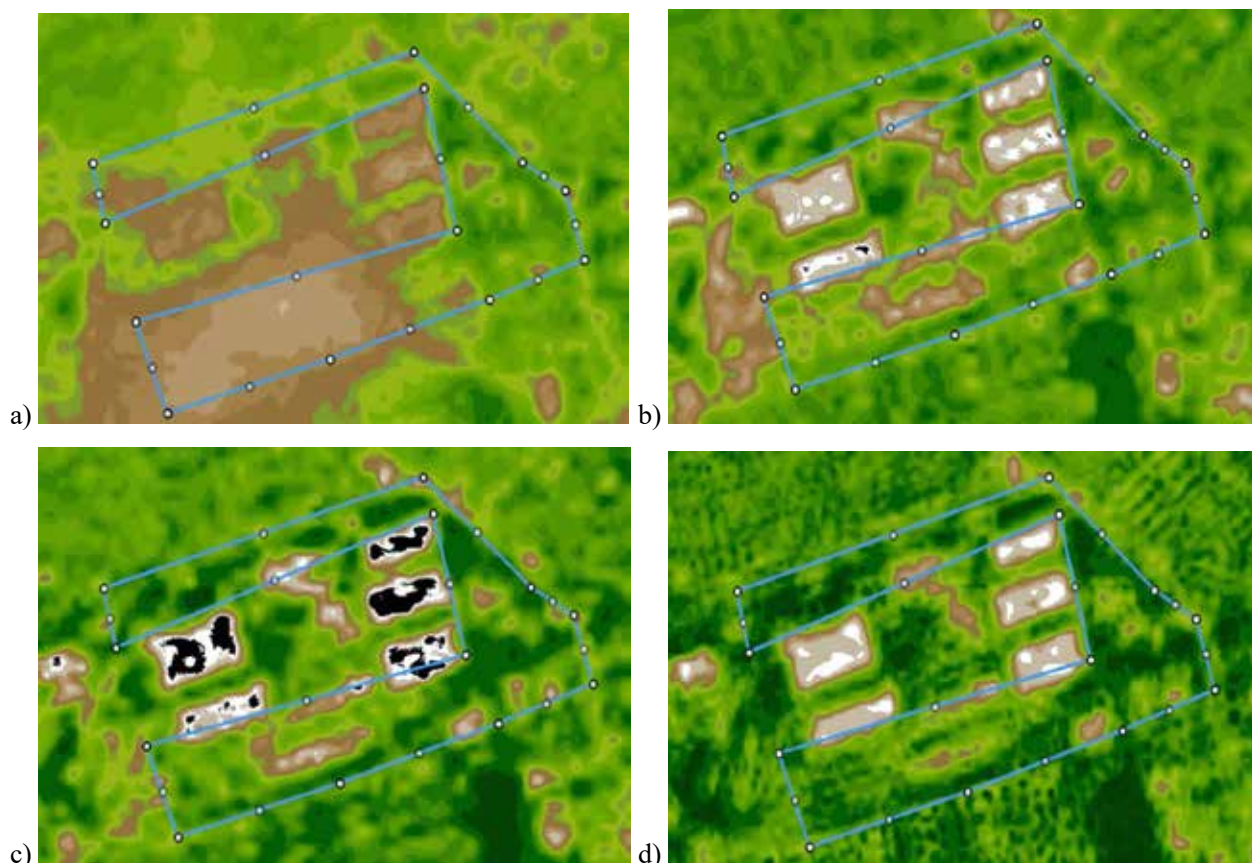


Рис. 8. Щільність рослин для захисного насадження Трансформаторного заводу що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

Таблиця 9

**Значення NDVI санітарно-захисної зони Трансформаторного заводу в досліджуванні роки**

| Клас | Назва класу            | Діапазон значень | Відносна площа, % |       |       |       |
|------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------|-------|
|      |                        |                  | 1990              | 2000  | 2010  | 2018  |
| 1    | Густа рослинність      | 0,9–1            |                   |       |       |       |
| 2    | Густа рослинність      | 0,8–0,9          |                   |       |       |       |
| 3    | Густа рослинність      | 0,7–0,8          |                   |       |       | 0,13  |
| 4    | Густа рослинність      | 0,6–0,7          | 0,54              |       | 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     |

дженної рослинності. З 1990 року по 2000 рослин, які були висаджені ще в 60 роках досягали значного віку і втрачали життєві ознаки. З 2000 року були висаджені дерева липи серцелистої, горіху грецького і клену сріблястого. Внаслідок цього збільшувалась щільність насадження, що підтверджується космічними знімками. З 2000 року зменшується відсоток з розрідженою рослинністю та збільшується територія з помірною та густою рослинністю.

Слід зазначити, у виробничому процесі Трансформаторного заводу викидається значно менше шкідливих поллютантів ніж в процесі діяльності інших підприємств на яких проводилися дослідження, не мають сильного впливу на рослинність і дирекція заводу піклується про зелені насадження оновлюючи їх, здійснюють нагляд та значно збагачують новими видами.

**Головні висновки:** аналіз щільності деревостану показав подібні процеси у всіх вивчених захисних лісосмугах промислових підприємств м. Запоріжжя. З 1990 року по 2000 знижується щільність насадження та збільшується територія, яка відповідає значенням 0,0–0,2 (відкритий ґрунт). З 2000 по 2018 роки

відбуваються позитивні зміни в густоті насадження за рахунок заповнення території самосівом. На всіх досліджуваних зелених насадженнях санітарно-захисних зон підприємств в 2000 та 2010 роках здійснювалась висадка нових порід, але кількісний показник їх незначний, тому вплив на щільність деревостану захисних зон невеликий.

Стан лише близько 10% рослинності в зелених зонах санітарно-захисних зон по шкалі І.Г. Семенової (2014), оцінено як «добрий», окрім насадження Вогнетрив та Запоріжсталь (ділянка Б). Для цих лісосмуг від 60% до 54% дерев віднесені до цієї категорії. Найгірший стан рослин характерний для захисних зон Алюмінієвого комбінату та заводу Укрграфіт. Лише 2,73 та 4,15% відповідно оцінено – «добре».

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані дані можуть бути покладені в основу бази даних про стан зелених масивів санітарно-захисних зон ряду промислових підприємств м. Запоріжжя для подальших моніторингових спостережень, а також для прийняття рішень з реконструкції цих насаджень.

### Література

1. Фещенко О.Л., Каменева Н.В. Оцінка впливу діяльності металургійних підприємств на навколишнє природне середовище України. *Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 2. С. 28–32.
2. Aksu A. Sources of metal pollution in the urban atmosphere (A case study: Tuzla, Istanbul). *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2015. Vol. 13. No 79. PP. 1–9. doi: 10.1186/s40201-015-0224-9
3. Boichenko V.M., Molchanov L.S., Synegin I.V. Technological Methods to Protect the Environment in the Ukrainian BOF Shops. *Ironmaking and Steelmaking Processes*. 2016. PP. 285–299. doi: 10.1007/978-3-319-39529-6\_17
4. Горохова В.А., Тубольцев Л.Г., Корченко В.П., Падун Н.И. Проблемы модернизации производства и экологическая ситуация в черной металлургии Украины. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сборник научных трудов*. 2009. Вып. 20. С. 358–368.
5. Бессонова В.П. Эффективность осаждения пылевых частиц листьями древесных и кустарниковых растений. *Вопросы защиты природной среды и охраны труда в промышленности: Сборник научных трудов*. 1993. С. 34–37.
6. Бессонова В.П., Зайцева І.А. Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. *Питання біоіндикації та екології*. 2008. С. 62–67.
7. Денисова Е.С. Использование ивы белой в озеленении санитарно-защитных зон Западной Сибири. *Омский научный вестник*. 2014. № 2 (134). С. 199–203.
8. Ганаба Д.В. Пилове навантаження на деревні насадження міста Хмельницького. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. 2015. № 19. С. 55–60.
9. Sklyarenko A.V., Bessonova V.P. Accumulation of sulfur and glutathione in leaves of woody plants growing under the conditions of outdoor air pollution by sulfur dioxide. *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26 (4). PP. 334–338.
10. Санаев И.В. Роль зеленых насаждений в создании оптимальной городской среды. *Вестник МГУЛ*. 2006. № 6. 71–76.
11. Подколзин М.М. Современное состояние и функционирование объектов озеленения в условиях техногенной нагрузки. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2011. № 66. С. 1–10.
12. Семенютина А.В., Кретинин В.М., Таран С.С. Принципы формирования и размещения культурценозов в санитарно-защитных зонах на техногенных землях. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2013. № 2 (30). С. 1–7.
13. Семенютина А.В., Ноянова Н.Г., Курманов Н.В. Scientific justification of selection of plants for sanitary protection zones in arid region. *Наука. Мысль: электронный периодический журнал*. 2018. № 1. С. 52–67.
14. Нестерова А.Э., Иванова Ю.П. Разработка проекта озеленение на территории санитарно-защитной зоны предприятия, как природоохранного мероприятия. *Инженерный вестник дона*. 2019. № 1 (52). С. 1–13.
15. Пашков Д.П. Аналіз можливостей застосування космічних систем дистанційного зондування Землі для вирішення екологічних завдань. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. № 2 (15). С. 184–188.
16. Байцим А.І., Талах М.В., Стратій В.І. Використання нормального вегетаційного індексу для моніторингу стану рослинного покриву НПП «Вишницький» на основі даних супутникової зйомки. *Молодий вчений*. 2016. № 5 (32). С. 208–213.
17. Киселевская К.Е. Применения метода дистанционного зондирования Земли для экологического мониторинга. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009. № 1. С. 188–190.

18. Ustin S.L., Gamon J.A. Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*. 2010. Vol. 186 (4). PP. 795–816. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x.
19. Грехнев Н.И., Липина Л.Н., Усиков В.И. К вопросу оценки экологического риска с использованием метода дистанционного зондирования земли. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015. № 12. С. 302–307.
20. Царев Ю.В., Царева С.А., Буймова С.А., Кувыкин Н.А. Беляева О.В. Экологический мониторинг линейного промышленного объекта методом дистанционного зондирования Земли. *Экология и промышленность России*. 2014. № 5. С. 56–61.
21. Mallegowda P., Rengaian G., Krishnan J., Niphadkar M. Assessing Habitat Quality of Forest-Corridors through NDVI Analysis in Dry Tropical Forests of South India: Implications for Conservation. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. PP. 1619–1639. doi:10.3390/rs70201619
22. Гопп Н.В., Смирнов В.В. Использование вегетационного индекса (NDVI) для оценки запасов надземной фитомассы тундровых сообществ растений. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2009. № 1. С. 1–6.
23. Adam E., Mutanga O., Rugege D. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*. 2010. Vol. 18. Issue 3. PP. 281–296. doi:10.1007/s11273-009-9169-z
24. Pettorelli N., Laurance W.F., O'Brien T.G., Wegmann M., Nagendra H., Turner W. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*. 2014. Vol. 51. PP. 839–848. doi:10.1111/1365-2664.12261
25. Pérez-Hoyos A., Martínez B., García-Haro F.J., Moreno A., Gilbert M.A. Identification of Ecosystem Functional Types from Coarse Resolution Imagery Using a Self-Organizing Map Approach: A Case Study for Spain. *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6. PP. 11391–11419. doi:10.3390/rs6111391
26. Кохан С.С. Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур. *Космічна наука і технологія*. 2011. Т. 17. № 5. С. 58–63.
27. Кохан С.С. Застосування вегетаційних індексів нормалізованої різниці та зваженої різниці при визначенні стану сільськогосподарських культур. *Доповіді Національної академії наук України*. 2012. № 2. С. 135–140.
28. Слободяник М.П. Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за матеріалами ДЗЗ та вегетаційними індексами. *Вісник геодезії та картографії*. 2014. № 6 (93). С. 16–20.
29. Fortes R., Prieto M. del H., García-Martín A., Córdoba A., Martínez L., Campillo C. Using NDVI and guided sampling to develop yield prediction maps of processing tomato crop. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 13. No 1 (2015). PP. 1–9. doi: 10.5424/sjar/2015131-6532
30. Price K., Egbert S., Lee R., Boyce R., Nellis M.D. 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 (1–2). PP. 21–33. doi:10.2307/3628436
31. Братков В.В., Кравченко И.В., Туаев Г.А., Атаев З.В., Абдулжалимов А.А. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа. *Известия ДГПУ. Серия: Естественные и точные науки*. 2016. Т. 10. № 4. С. 97–111.
32. Лиджиева Л.Ц., Уланова С.С., Федорова Н.Л. Опыт применения индекса вегетации (NDVI) для определения биологической продуктивности фитоценозов аридной зоны на примере региона черные земли. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2012. С. 94–96.
33. Pettorelli N., Vik J., Mysterud A., Gaillard J., Tucker C., Stenseth N. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 2005. Vol. 20. PP. 503–510. doi:10.1016/j.tree.2005.05.011
34. Morawitz D.F., Blewett T.M., Cohen A., Alberti M. Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006. Vol. 114(1-3) PP. 85–106. doi:10.1007/s10661-006-1679-z
35. Мячина К.В., Малахов Д.В. Опыт применения данных дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения для выделения объектов нефтепромыслов в условиях техногенно модифицированного ландшафта (на примере Оренбургской области). *Известия Самарского научного центра РАН*. 2013. №3–7. С. 2341–2345.
36. Евдокимов С.И., Михалоп С.Г. Определение физического смысла комбинации каналов снимков Landsat для мониторинга состояния наземных и водных экосистем. *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки*. 2015. № 7. С. 21–32.
37. Xue J., Su B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*. 2017. Vol. 2017. PP. 1–17. doi:10.1155/2017/1353691
38. Bhandari A.K., Kumar A., Singh G.K. Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. *Procedia Technology*. 2012. Vol. 6. PP. 612–621. doi:10.1016/j.protcy.2012.10.074
39. Nath B., Acharjee Sh. Forest Cover Change Detection using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Study of Reingkhoyongkine Lake's Adjoining Areas, Rangamati, Bangladesh. *Indian Cartographer*. 2013. Vol. XXXIII. PP. 348–353.
40. Кочубей С.Н., Кобец Н.И., Шадчина Т.М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики. Киев: Наукова думка, 1990. 136 с.
41. Лялько В.І., Шпортюк З.М., Сахацький О.І., Сибірцева О.М. Використання індексів червоного краю та водних індексів за гіперспектральними даними EO-1 «Hyperion» для класифікації земного покриття. *Космічна наука і технологія*. 2008. Т. 14. № 3. С. 55–68.
42. Семенова І.Г. Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 43–52.
43. Скляренко А.В. Характеристика дендрофлори захисного насадження ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат». *Питання біоіндикації та екології*. 2018. Вип. 23. № 2. С. 66–80. doi:10.26661/2312-2056/2018-23/2-05
44. Скляренко А.В., Бессонова В.П. Таксаційні характеристики та життєвий стан деревних рослин санітарно-захисної зони Пат «Український графіт». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. № 1. С. 83–87.