

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та  
аспірантської  
підготовки  
Кафедра метеорології та  
кліматології

**Магістерська кваліфікаційна робота**

на тему: «Вплив змін клімату на роботу транспортної системи  
України  
за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5»

Виконав студент 2 курсу групи  
МНЗ- 61м  
спеціальності 103 - “Науки по  
Землю”

Козел Марина Юріївна

Керівник к.геогр., доц.  
Хоменко Інна Анатоліївна

Рецензент к.геогр.н., доц.  
Вольвач Оксана

Василіївна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки

Кафедра метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 “Науки про Землю”  
(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач

кафедри Івус Г.П.

“ 23 ”березня 2018

року \_\_\_\_\_

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Козел Марині Юріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Вплив змін клімату на роботу транспортної системи України за

сценаріями RCP4.5 та RCP8.5»

керівник роботи к.геогр., доц. Хоменко І.А

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий

ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від 02 листопада 2017 року № 321-С

2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2018 р.

3. Вихідні дані до роботи ряди середньодобових значень температури, значення добової максимальної та мінімальної температури, кількості змішаних або рідких опадів, кількості опадів твердої фази, відносної вологості та швидкості вітру, отриманих за період 2011–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для 9 станцій України, а саме Одеса,

Вознесенськ, Дніпро, Харків, Вінниця, Хмельницький, Тернопіль, Стрий, Ужгород.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) визначення кліматичних характеристик, необхідних для забезпечення безперебійної роботи транспортної системи, оцінка соціально-економічних ризиків для автошляхів "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків" та "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород"

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графіки змін багаторічної середньої, багаторічної середньої максимальної і середньої мінімальної температури за періоди 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. порівняно з періодом 1961–1990 рр., графіки зміни кількості днів з максимальними і мінімальними температурами, вищими та нижчими за певні межі, кількістю опадів, максимальною швидкістю вітру, вищими за певні межі за період 2021-2050 рр. порівняно з періодом 1961–1990 рр. Графіки зміни кількості днів з атмосферними явищами небезпечними для транспортної системи, і зміни кількості днів з опадами в різному фазовому стані за період 2021-2050 рр. порівняно з періодом 1961–1990 рр..

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 23.03.2018 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Вивчення літературних джерел за темою дипломного проекту.	23 березня-квітень 2018р.		
2.	Підготовка даних метеорологічних спостережень до обробки.	квітень 2018 р.		
3.	Обробка даних метеорологічних спостережень за допомогою графічно-	квітень 2018 р.		

	розрахункового пакету «EXCEL»			
4.	Отримання статистичних параметрів для рядів середньої добової, мінімальної і максимальної температур, кількості опадів, швидкості вітру.	квітень 2018 р.		
5.	Визначення рядів атмосферних явищ, небезпечних для транспортної системи, з врахуванням умов їх утворення.	квітень травень 2018 р.		
6.	Визначення соціально-економічних ризиків для автошляхів "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків" та "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород".	травень 2018р.		
<b>Рубіжна атестація</b>		30 квітня – 06 травня 2018		
7.	Аналіз отриманих результатів.	травень 2018р.		
8.	Оформлення магістерської роботи.	червень 2018р.		
9.	Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.	червень 2018р.		
10	Попередній захист дипломної роботи.	червень 2018р.		
<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>				

**Студент**

\_\_\_\_\_ Козел М.Ю.

та ініціали)

( підпис )

(прізвище

**Керівник роботи**

І.А.

та ініціали)

( підпис )

(прізвище

\_\_\_\_\_ Хоменко

## Анотація

**Тема:** „Вплив змін клімату на роботу транспортної системи України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5”

**Автор:** Козел М.Ю.

**Актуальність.** Зміни клімату впливають на транспортну систему перш за все через зростання повторюваності екстремальних погодних умов, таких як: спекотні дні, інтенсивні опади, сильний вітер тощо. Вплив змін клімату може бути різним в залежності від режиму роботи транспортної системи та регіону країни, але зміни клімату обов’язково впливають на соціальну та економічну сфери, які тісно пов’язані з роботою транспорту, та потребує значних змін в плануванні, будівництві, функціонуванні та підтримці транспортної системи.

**Метою даної роботи** є дослідження впливу майбутніх змін клімату на інфраструктуру транспортної системи та транспортні засоби на основі сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5.

Відповідно до поставленої мети було розв’язано такі **задачі:**

- отримання статистичних параметрів для рядів середньої добової, мінімальної і максимальної температур, середньої добової кількості опадів, швидкості вітру.;
- визначення рядів атмосферних явищ, небезпечних для транспортної системи, з врахуванням умов їх утворення.;
- визначення соціально-економічних ризиків для автошляхів "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків" та "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород".

**Об’єкт дослідження** – середні добові температури, максимальні та мінімальні температури, атмосферні явища, атмосферні опади, характеристики вітру.

**Предмет дослідження** – кліматичні характеристики, які необхідних для забезпечення безперебійної роботи транспортної системи.

**Методи дослідження** – фізико-статистичний та кліматичний аналіз.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

В даній роботі *вперше* для території України:

- отримано кліматичні характеристики, які суттєво впливають на роботу транспортної системи, на основі сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 для періоду 2011-2050 рр.;
- визначено соціально-економічні ризики для транспортної інфраструктури для певних автотрас України на основі сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані кліматичні характеристики можуть бути використані при плануванні транспортної системи та її складових з врахуванням майбутніх змін клімату.

Магістерська робота в обсязі 64 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 19 джерел, одного додатка, містить 19 рисунків та 10 таблиць.

**Ключові слова:** транспортна система, сценарії RCP4.5 та RCP8.5, небезпечні метеорологічні явища, соціально-економічні ризики.

## Summary

**Theme:** „Impact of climate change on transportation industry of Ukraine under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios”

**Author:** Kozel M.Yu.

**Urgency of the issue.** Climate change will affect transportation primarily through increases in several types of weather and climate extremes, such as very hot days; intense precipitation events, intense hurricanes etc. The impacts will vary by mode of transportation and region of the country, but they will be widespread and costly in both human and economic terms and will require significant changes in the planning, design, construction, operation, and maintenance of transportation systems.

**Aim of this study** is an investigation of the impact of future climate change on the infrastructure of the transport system and vehicles under scenarios RCP4.5 and RCP8.5.

According to aim assigned **such tasks** are solved:

- obtaining statistical characteristics for series series of daily mean, maximum and minimum temperature, daily mean precipitation sum and daily mean and maximum wind speed;
- determining the series of atmospheric phenomena that are dangerous to the transport system, taking into account the conditions of their formation;
- determining risks for the roads " Odesa–Voznesensk–Dnipropetrovsk–Kharkiv " and " Vinnytsia–Khmelnyskyi–Ternopil–Stryi–Uzhhorod ".

**Object of scientific research** is daily mean temperatures, maximum and minimum temperatures, atmospheric phenomena, precipitation, wind speed and direction.

**Subject of scientific research** is climatic characteristics needed to ensure the smooth operation of the transport system.

**Methods of scientific research** is statistical and climatic analysis.

**Scientific novelty of results obtained.**

In this study for the Ukraine for the first time

- climatic characteristics that significantly affect the operation of the transport system for the period 2011-2050 are obtained on the basis of the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios;
- socio-economic risks for transport infrastructure for two highways of Ukraine have been determined on the basis of the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

**Practical importance of results obtained.** The climatic characteristics obtained can be used in planning the transport system and its components, taking into account future climate change.

The master thesis of 64 pages consists of three chapters, conclusions, bibliography of 19 sources, contains 19 figures and 10 tables.

**Keywords:** transport system, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, dangerous meteorological phenomena, socio-economic risks.

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Транспорт.....	11
1.1 Автодорожній транспорт.....	23
2 База даних та загальна методика проведення дослідження.....	30
3. Вплив кліматичних змін на транспортну систему України.....	36
3.1 Температура повітря.....	36
3.1.1 Середня температура повітря.....	36
3.1.2 Максимальна температура повітря.....	44
3.1.3 Мінімальна температура повітря.....	47
3.2 Атмосферні опади.....	51
3.3 Атмосферні явища.....	57
3.4 Швидкість вітру.....	59
3.5 Соціальні та економічні ризики.....	62
Висновки.....	68
Перелік посилань.....	70
Додаток А.....	72

## ВСТУП

Транспорт – особлива сфера в матеріальному виробництві. Він являє собою самостійну галузь народного господарства. Здійснюючи перевезення, транспорт пов'язує в єдине ціле різні галузі господарства. Його основна функція і головна особливість полягає в тому, що він продовжує виробничий процес в межах процесу обігу, товарообігу. Транспорт пов'язаний з усіма підприємствами і є постачальником сировини, палива, промислової і харчової продукції [14].

Друга виробнича особливість транспорту полягає в тому, що вартість корисного ефекту переноситься на вантаж, збільшуючи його вартість. В цьому і полягає матеріалізація вантажоперевезень, які самі по собі не є матеріальною субстанцією.

Всі види транспорту утворюють єдину транспортну систему незалежно від форми власності та галузевої приналежності. Це природний процес в будь-яких виробничих умовах. За економічною значущістю види транспорту шикуються наступним чином: залізничний, морський, автомобільний, річковий, повітряний, трубопровідний і газопровідний [14].

Робота всіх видів транспорту істотно залежить від природних чинників: географічного середовища і кліматом регіону.

Географічне середовище обумовлює географію транспорту: пункти базування і систему маршрутів. Клімат регіону істотно впливає на пропускну і провізну спроможність наземного, водного і повітряного транспорту, а також здебільшого визначає будову транспортної інфраструктури та її зношувальність.

В залежності від змін клімату у майбутньому та регіону, транспортна система може зазнавати різних негативних впливів з боку кліматичної системи, наприклад, хвилі тепла, екстремальні опади, підвищення рівня моря тощо [4]. Якщо такі наслідки не будуть враховуватись при проектуванні і обслуговуванні майбутньої транспортної інфраструктури, то погодні умови можуть, в деяких регіонах, прискорити зношувальність транспортної інфраструктури, збільшити відшкодування ризиків, викликати переривання трафіку і нещасні випадки, що, в свою чергу, може вплинути на економічну діяльність регіону.

Конструкція і технічне обслуговування транспортних інфраструктур мають важливе значення для підтримки їх цілісності і працездатності. Проте, повне уникнення псування, аварій та ушкоджень, викликаних погодою є



економічно нездійсненним. Тому, як середні, так і екстремальні кліматичні умови в даний час враховуються і витрати на відшкодування збитків являють собою досить значний компонент витрат на транспортну інфраструктуру. Для транспортної інфраструктури витрати на небезпечні метеорологічні явища складають від 30% до 50% від усіх витрат на поточне обслуговування доріг в Європі (від 8 до 13 млрд. євро на рік). Близько 10% від цих витрат (приблизно 09 млрд. євро/рік) відраховуються на відшкодування збитків від екстремальних погодних явищ, серед яких екстремальні сильні дощі і повені становлять найбільший внесок [19].

На тлі змін клімату, які вже відбуваються та очікуються в майбутньому, важливо оцінити наслідки змін клімату для транспортної системи.

В роботі на основі даних, отриманих за сценаріями RCP4.5 ТА RCP8.5, зроблено аналіз кліматичних факторів, які впливають на роботу автодорожнього транспорту, на прикладі двох автошляхів «Одеса – Вознесеньск – Дніпропетровськ – Харків» та «Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород».

Магістерську кваліфікаційну роботу виконано на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом к.геогр.н., доц. Хоменко І.А.

## 1 ТРАНСПОРТ

На безперебійну роботу транспортної системи впливає перш за все клімат.

Дорожні споруди проектуються та зводяться з урахуванням ландшафту, гідрогеологічних особливостей місцевості, принципів землекористування. Вони функціонують не тільки під впливом транспортних навантажень, але і багатьох погодно-кліматичних факторів. На дороги впливають температура повітря, сонячна радіація, атмосферні опади, вітер, туман, ожеледиця та інші природні явища. Тому необхідно з урахуванням цих явищ знаходити інженерні рішення, які б забезпечували спорудам необхідні технічні та експлуатаційні якості, та рекомендувати організаціям, які мають відношення до експлуатації доріг, низку заходів, які забезпечують здоров'я та життєдіяльність з урахуванням особливостей погодно-кліматичних чинників в умовах екстремальних природних явищ. Тобто залізниці, порти, дамби, автотраси, магістралі, мости тощо мають бути оптимізовані для того, щоб витримати очікуваний діапазон погодних умов [9].

Коли погодні умови стають більш екстремальними, то транспортна інфраструктура стає менш надійною та менш безпечною. Наприклад, підвищені температури повітря кривлять залізничні шляхи та дорожнє покриття [18].

Сухопутний транспорт, що включає автотранспорт і залізничний транспорт, перевозить найбільшу кількість вантажів і пасажирів.

Створення сучасної транспортної системи має супроводжуватися відповідним гідрометеорологічним і, зокрема, кліматологічних спеціалізованим забезпеченням. Існуюча система кліматологічного забезпечення транспорту, що використовує лише стандартну інформацію загального призначення, вкрай недосконала і потребує докорінної переробки.

За даними багатьох авторів не менше 20-30% випадків дорожніх пригод пов'язані з небезпечними явищами погоди. Досвід зарубіжних країн підтверджує можливість істотного зменшення таких пригод, підвищення ефективності проектування і експлуатації доріг за рахунок поліпшення і розширення кліматологічного забезпечення. Залучення кліматичної інформації в процесі забезпечення системи ВАДС (водій, автомобіль, дорога, середовище) не тільки істотно збільшує безпеку руху, але і зменшує шкоду від ДТП, а також значно здешевлює будівництво та утримання доріг.

На рис. 1.1 представлена схема ланок сухопутного транспорту і основних видів кліматичної інформації, необхідної для забезпечення кожного

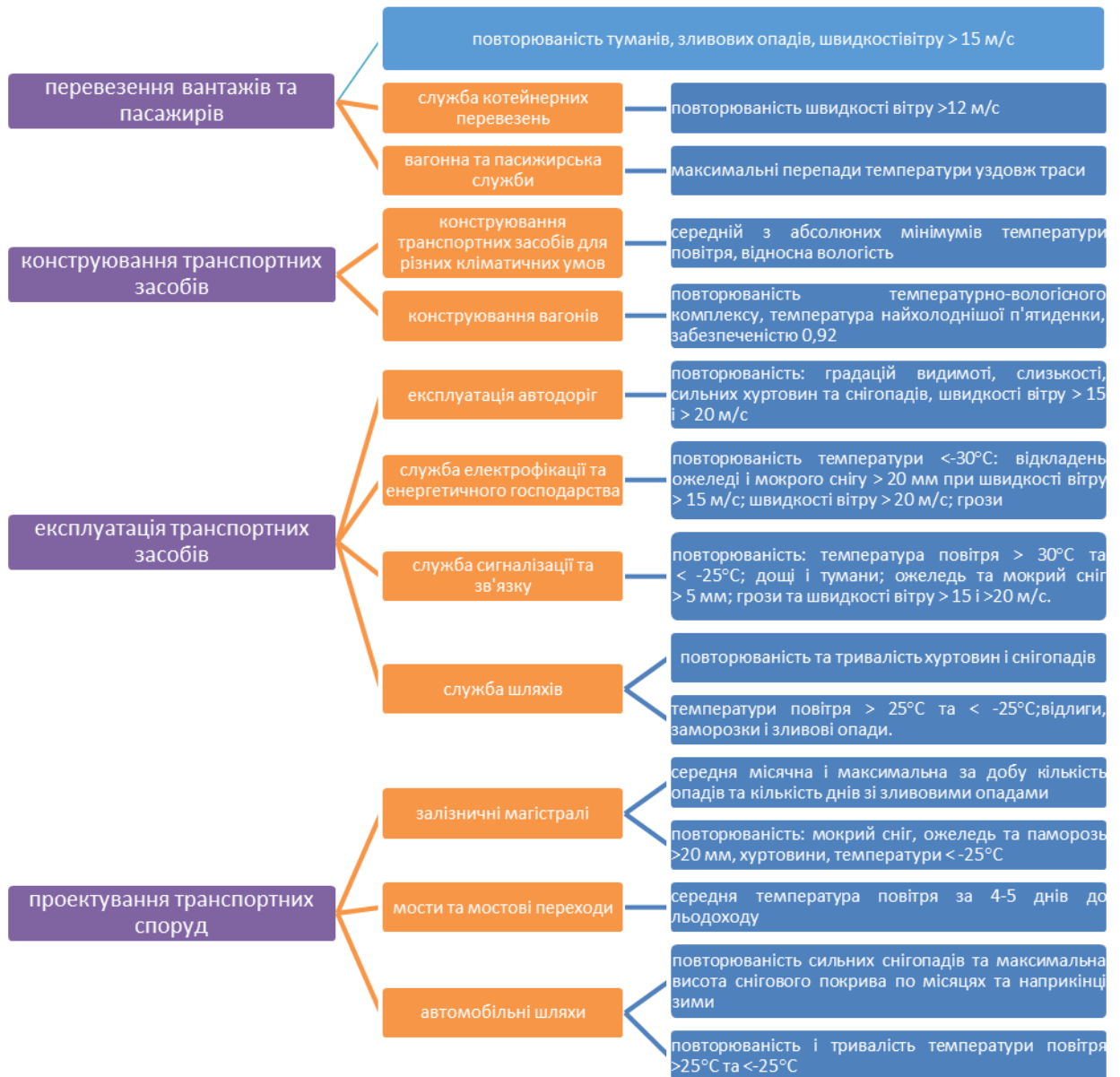


Рисунок 1.1 – Транспортно-кліматичні ресурси (ресурси клімату для сухопутного транспорту) [10]

В табл. 1.1 наведено характеристики погоди, які найбільше впливають на транспортну систему та негативні наслідки, які вони викликають.

Таблиця 1.1. – Характеристики погоди, класифікація погодних інформаційних повідомлень (зведень) на підставі цих характеристик та їх вплив на транспорт [10]

Характеристика погоди	Категорія	Вплив
Елементи опадів	Замерзаючі опади, відкладення снігу, рідкі опади, вміст водяної пари, яка може осаджуватись в якості опадів, вологість ґрунту, повені, глибина водоймищ, пожежонебезпечна погода	Втрата тяги та контролю, затримки, напруження компонентів транспортного засобу, мокре дорожнє покриття, слабке та непевне гальмування, пом'якшення дорожнього покриття, розмивання дорожнього покриття, посухи через дим та порошок спричиняють ризик погіршення видимості
Температура	Температура повітря та температура ґрунту, включаючи максимальні та мінімальні температури, хвили тепла, градусо-дні	Напруження на компоненти транспортних засобів, при високих температурах перевезення вантажів, які швидко псуються, викривлення залізничних шляхів, зменшення швидкості на залізниці
Вітер	Швидкість вітру	Нестійкість транспортного засобу, втрата контролю
Видимість	Посилення через тумани, серпанку, імли тощо, обмеження польотів у верхній тропосфері через вулканічну діяльність	Зниження швидкості, ризик зіткнень та небезпека від швидких змін

Кліматичне забезпечення автодорожньої та залізничної галузей має здійснюватися за кількома напрямками, для кожного з яких використовується система спеціалізованих кліматичних показників, хоча ці системи пов'язані між собою і для забезпечення кліматичної інформацією одного напрямку необхідно брати до уваги кліматологічних забезпеченість всіх інших напрямків. Наприклад, при проектуванні доріг слід врахувати її майбутню пропускну здатність, яка залежить від кількості перевезених вантажів. І, навпаки, плануючи перевезення, необхідно брати до уваги залежність пропускну здатності дороги від клімату.

Сучасні технології отримання і застосування кліматичної інформації в зазначених напрямках дозволять забезпечити безпеку і безперервність руху на дорогах, а також здешевити перевезення.

Глобальне потепління, яке прогнозуються за багатьма сценаріями, викликають повторюваність певних небезпечних для транспортної системи явищ погоди. Перш за все, це підвищення температури, збільшення інтенсивних зливових опадів, підвищення рівня моря (в деяких регіонах це може викликати тривалі затоплення та руйнування дорожнього покриття), збільшення повторюваності тропічних циклонів, гроз, шквалів, збільшення швидкості вітру, особливо максимальної, посух, явищ, які суттєво погіршують видимість тощо. Проте через глобальне потепління можуть спостерігатись деякий позитивний вплив на транспортну систему. Наприклад, через підвищення температури може зменшитись кількість днів з ожеледно-паморозевими явищами, підвищитись кількість безморозних днів тощо.

Розглянемо більш докладно вплив клімату на автодорожню і залізничну галузі та методику його кліматологічного забезпечення.

## 1.1 Автодорожній транспорт

У різних кліматичних умовах і в різні сезони року аварійні ситуації на дорогах (ДТП) створюють різні стихійні метеорологічні явища. На європейській території, особливо в північно-західних районах в осінньо-весняний і зимовий періоди найбільшу небезпеку для автомобільного руху створює слизькість доріг, особливо в поєднанні з поганою видимістю або сильним вітром. На північному заході Європи 70% всіх ДТП пов'язано з ожеледицею. За фінським даними ожеледиця і погана видимість призводить

до найбільшого (до 30% від загального числа) кількості ДТП із загиблими і пораненими [10].

В гірських районах України на перший план виступають рясні опади, що призводять до розмиву дорожнього полотна та збільшення ДТП, і крім того тумани і завірюхи.

У південних регіонах України найбільшу небезпеку створює підвищений рівень інтенсивності сонячної радіації, що веде до утворення нерівностей на дорогах (зрушення асфальту) і засліплення водія, високої температури в салоні і появи міражів на дорозі.

Небезпечні для автомобільного транспорту метеорологічні явища можна умовно поділити на 3 групи [10]:

- ті, що погіршують стан дорожнього покриття, тобто зчеплення коліс з дорогою;
- ті, що погіршують видимість на дорозі;
- решта явищ, які часто призводять до перебоїв в русі (можливість замітання снігом, розмиття насипу), але зрідка є причиною аварії та лише тільки в поєднанні з першими двома чинниками викликають аварію.

Розглянемо більш докладно вплив небезпечних і особливо небезпечних для автотранспорту метеорологічних явищ кожної групи. Небезпечні явища, що погіршують стан дорожнього покриття, можуть виникати при будь-якому стані покриття: зледенілому, засніженому, мокрому і сухому.

Особливо велику небезпеку створює слизькість дорожніх покриттів [10]. Під час ожеледиці швидкість руху знижується в 2-2,5 рази, продуктивність автомобіля – на 30-40%, а собівартість перевезень зростає в 2–5,5 разів. В результаті втрати маневреності відбувається перекидання автомобілів, зіткнення, наїзди на нерухомі перешкоди.

Існує кілька класифікацій ожеледно-паморозевих явищ в метеорології і різних класифікацій видів зимової слизькості штучних покриттів, до яких відносяться і дорожні покриття. В основу кожної класифікації покладені певні поняття: процеси формування, структура відкладень, фізичні властивості, зовнішні ознаки, технології робіт по ліквідації тощо. Всі види зимової слизькості мають свої характерні ознаки – колір, структуру поверхні і фізичні властивості – щільність, міцність, адгезію (силу змерзання) до покриттів.

Найпростіша класифікація використовується в нормативно-технічній літературі [11].

В основу цієї класифікації покладено досить чітке розходження видів зимової слизькості, як за зовнішніми ознаками, так і за фізичними

властивостями. Нормативні документи виділяють три види слизькості: пухкий сніг, ущільнений сніг і склоподібний лід. Ця класифікація дозволяє легко визначати кожен вид слизькості візуально, але вона орієнтована на існуючі технології робіт, в основі яких лежить ліквідація слизькості, що утворилася на дорожньому покритті.

Відкладення пухкого снігу відбувається у вигляді рівного шару при снігопадах в безвітряну погоду. Якщо сніг сухий, то він не ущільнюється колесами проходить транспорту і залишається в рихлому стані. Щільність свіжого снігу, в середньому, становить близько  $1 \text{ кг/м}^3$ . Коефіцієнт зчеплення при цьому може знижуватися до 0,2.

Ущільнений сніг, або сніговий накат, являє собою шар спресованого снігу різної товщини. Це найбільш поширений на дорогах вид зимової слизькості. Він утворюється при ущільненні свіжого снігу колесами автомобілів. Щільність снігу в сніговому накаті підвищується до  $0,6 \text{ кг/м}^3$ , а коефіцієнт зчеплення знижується до 0,1.

Склоподібний лід утворюється на дорожньому покритті у вигляді гладкої склоподібної плівки товщиною від 1 до 3 мм, а іноді і у вигляді шорсткої крижаної кірки завтовшки більше 10 мм. Відкладення мають щільність від  $0,7$  до  $0,9 \text{ кг/м}^3$ , а коефіцієнт зчеплення знижується до 0,08.

Склоподібний лід є найбільш небезпечним видом слизькості. Він утворюється при замерзанні випали рідких опадів на дорожньому покритті з мінусовою температурою.

Ця класифікація орієнтована на ліквідацію слизькості після її утворення. Вибір протижеледних матеріалів проводиться в залежності від температури повітря і товщини відкладень на дорожньому покритті.

При переході на більш досконалі технології організації робіт з технічного забезпечення доріг, в основі яких має бути профілактика утворення слизькості, цією класифікацією користуватися недоцільно, тому що склоподібний лід утворюється на дорожньому покритті при різному поєднанні метеорологічних і дорожніх умов та динаміці їх змін. Профілактика передбачає врахування зміни цих умов для правильного вибору норм розподілу і виду протижеледного матеріалу, а також технології робіт.

При більш детальному врахуванні погодних і дорожніх умов все різноманіття видів зимової слизькості штучних покриттів Т.В. Самодурова [12] ділить на шість груп. Ця класифікація і умови освіти різних видів зимової слизькості наведено в таблиці 1.2.

Як показує аналіз таблиці 1.2, на умови формування зимової слизькості впливають як метеорологічні умови (температура, відносна вологість повітря, опади і їх фазовий стан, кількість і інтенсивність опадів), так і

дорожні умови, які впливають на температуру покриття. Крім того, метеорологічні умови, що передують утворенню кожного виду слизькості і спостерігаються після її утворення, різні. У зв'язку з цим необхідно більш детальний опис усіх, представлених в таблиці, видів слизькості.

Таблиця 1.2 – Класифікація різних видів зимової слизькості дорожнього покриття та умови їх утворення [12]

Види зимової слизькості	Умови утворення				
	Температура повітря, °С	Температура покриття, °С	Опади, їх вид	Стан покриття	Додаткові умови
Ожеледиця	Нижче від 0	Нижче від 0	Будь-які опади, які випадають при температурі повітря вищої від 3°С	Мокре	Час післядії опадів 12 год.
Чорний лід	Нижче від 0	Нижче від 0, нижче від значення точки роси	Немає	Сухе	-
Твердий наліт	Вище за 0	Нижче від 0	Рідкі	-	-
	От 0 до -5	Нижче від 0	Мокрий сніг	-	Кількість опадів Q= 0 мм
Ожеледь	Нижче від 0	Нижче від 0	Переохолоджені рідкі опади (дощ, мряка)	-	-
Сніговий наліт	Від 0 до -6	-	Тверді (сніг, мокрий сніг)	-	Кількість опадів не менше 5 мм
	Від 2 до 0	-	Тверді (сніг, мокрий сніг)	-	Інтенсивність снігопаду не менше 0,6 мм/год
	Від -6 до 10	-	Тверді (сніг, мокрий сніг)	-	Відносна вологість не менша від 90%



Пухкий сніг	От -6 до 10	-	Тверді (сніг, мокрий сніг)	-	Відносна вологість не менша від 60%
	Нижче від -10	-	Тверді (сніг, мокрий сніг)		

Перша група обледеніння автомобільних доріг – це ті види зимової слизькості, до утворення яких призводить замерзання вологи на дорожньому покритті, так звана ожеледиця. Джерелами зволоження на дорогах можуть стати дощ, сніг, що тане, сніг з дощем. Всі ці види опадів випадають при позитивних, але близьких до 0°C температурах повітря. Джерелом зволоження дорожнього покриття може стати волога, що залишилася після його обробки протиожеледними матеріалами. При різкому зниженні температури волога, наявна на покритті, замерзає. Час післядії опадів – це час їх можливого випаровування, тобто просихання покриття.

Процесу утворення ожеледиці передують ряд метеорологічних явищ:

- підвищення атмосферного тиску під час опадів, які випадають;
- встановлення ясної безхмарної погоди після припинення випадіння опадів;
- одночасне зниження відносної вологості і температури повітря від позитивних значень до негативних.

Утворення ожеледиці є найбільш ймовірним при температурах повітря від -2 до -6 °C, відносної вологості повітря від 65 до 85%.

Відмінною особливістю цього виду слизькості є те, що температура повітря може знижуватися до значень, при яких використання протиожеледних солей неефективно. Отже, для вибору норм розподілу необхідний прогноз мінімальної температури повітря.

До другої групи обледеніння відносяться ті види зимової слизькості, які виникають на сухій поверхні дороги за рахунок кристалізації вологи з повітря при температурі покриття нижче точки роси. Такі види слизькості в різних класифікаціях називають іній, паморозь, «чорний лід».

Незалежно від назви вони мають одну причину освіти – зниження температури дорожнього покриття нижче від значення точки роси і одночасно нижче від температури замерзання вологи. Процесу обледеніння передують, а після утворення льоду і супроводжують, такі умови:

- ясна морозна погода (повна відсутність хмарності);
- відсутність вітру;
- висока відносна вологість повітря;

- температура покриття нижча від нуля і нижча за значення точки роси.

В результаті радіаційного охолодження дорожнього покриття нижче точки роси волога з повітря конденсується на ньому і перетворюється на іній або дуже тонкий і прозорий шар льоду (через це і використовується термін "чорний лід"),

Утворення цього виду слизькості можливо в нічний час в широкому діапазоні зміни температури повітря та при його відносній вологості, близької до 100%. У зимовий період таке поєднання метеорологічних умов найбільш ймовірно в прибережних морських районах і в гірській місцевості, де через високу прозорість повітря температура покриття сильно знижується в нічні години при радіаційному вихолодженні. Найчастіше такий вид слизькості виникатиме на автодорожніх мостах, які мають меншу теплоінерційність, ніж дорожній одяг, і мають більш низьку температуру покриття при радіаційному вихолодженні в нічний час.

Третю групу обмерзання становлять ті види слизькості, які утворюються при випаданні рідких опадів на покриття, що має негативну температуру. У неї входять твердий, зернистий і крижаний наліт.

Основною причиною утворення цього виду слизькості є потепління після тривалих морозів, тобто переміщення теплої повітряної маси повітря, яка приносить з собою рідкі опади. Цьому процесу передують такі метеорологічні явища:

- стійке падіння атмосферного тиску протягом доби;
- можливість випадання рідких опадів за даними прогнозу;
- стійке зростання відносної вологості і температури повітря.

У четверту групу об'єднані такі види слизькості, які утворюються при випаданні переохолоджених опадів (дощу або мряки), до них відносять ожеледь і зернисту паморозь.

З точки зору впливу дорожніх умов, всі види зимової слизькості третьої і четвертої групи мають однакові причини утворення. Вони утворюються при випаданні рідких опадів (дощу, мряки або талого снігу) на покриття, що має від'ємну температуру. З точки зору метеорологів, відмінності полягають в стані випадання рідких опадів (переохолоджені, непереохолоджені), що дуже важливо для прогнозу.

У дорожній класифікації всі види слизькості третьої і четвертої груп можуть бути об'єднані в один вид, так як їх утворення відбувається під час підвищення температури повітря після тривалих морозів. При виборі норм розподілу протиожеледних матеріалів необхідно враховувати температуру дорожнього покриття, яка завжди буде нижчою за температуру повітря.

Формування цих видів слизькості найбільш ймовірно при температурах повітря від +2 до  $-5,2^{\circ}\text{C}$ , відносній вологості повітря вище 90%.

П'яту групу складають всі види зимової слизькості, що утворюються при ущільненні і уочуванні снігу на дорожньому покритті. До неї відносять сніговий накат, замерзлий і сніг, що тане.

Сніговий накат утворюється при наявності на дорожньому покритті снігу від снігопадів або хуртовин. Ущільнення снігу відбувається при певних метеорологічних умовах і вологості снігу. Найбільш ймовірно сніговий накат утворюється при наступних погодних умовах:

- при випаданні снігу при температурах повітря від 0 до  $-6^{\circ}\text{C}$  (в цьому діапазоні температур сніг має підвищену вологість і легко ущільнюється);
- при температурах повітря від  $-6$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  утворення снігового накату можливо при відносній вологості повітря вище 90%, коли сніг має достатню вологість для ущільнення;
- якщо сніг випадає при позитивних температурах повітря (не вище  $+2^{\circ}\text{C}$ ), то сніговий накат найбільш ймовірно утворюється при високій інтенсивності снігопаду (більше 0,6 мм / год в перерахунку на воду), при якій сніг не встигає розтанути на покритті і легко ущільнюється транспортними засобами.

Шоста група – пухкий сніг. Якщо сніг випадає при метеорологічних умовах, відмінних від вищевказаних, то на дорожньому покритті він буде перебувати в рихлому стані. Отже, утворення пухкого снігу є можливим при снігопадах, що випадають при знижених температурах повітря (нижче  $10^{\circ}\text{C}$ ), а при температурі повітря від  $-6$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  сніг не буде ущільнюватися при відносній вологості повітря менше 90%.

У цій класифікації чітко представлені метеорологічні умови, які супроводжують утворення кожного з видів зимової слизькості. Прогнозування їх кількісних значень і аналіз динаміки зміни допоможуть передбачити виникнення слизькості на покриттях і вибрати необхідні технології робіт для забезпечення безпеки руху.

Як показує аналіз, утворення зимової слизькості залежить, перш за все, від температури дорожнього покриття, тобто від дорожніх умов. На температуру дорожніх покриттів впливає велика кількість параметрів, як метеорологічних, так і дорожніх, в зв'язку з цим вона буде відрізнятися для різних ділянок дороги. Це призводить до того, що слизькість може утворитися тільки на окремій невеликій ділянці, в той час як на сусідніх ділянках вона не буде відзначена. Це істотно ускладнює як прогнозування формування слизькості в зимовий період, так і розрахунок її кліматичних

характеристик. Разом з тим, існують непрямі зв'язки між характером покриття, температурою повітря і температурою покриття.

Так як швидкість руху залежить від коефіцієнта зчеплення (шин автомобіля з дорожнім покриттям), встановлено зв'язок між коефіцієнтом зчеплення і швидкістю автомобіля. Вона виражається формулою [10]:

$$V = \frac{2g\varphi S_T}{K_g}, \quad (1.1)$$

де  $V$  – швидкість руху автомобіля;  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення;  $S_T$  – гальмівний шлях автомобіля;  $K_g$  – коефіцієнт експлуатаційного стану гальм;  $g$  – прискорення сили тяжіння.

Залежність коефіцієнта зчеплення від стану покриття представлена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт зчеплення на покриття в залежності від стану дорожнього полотна [10]

Стан дорожнього покриття	Коефіцієнт зчеплення для покриття		
	асфальтобетонного, цементно-бетонного	щебеневого	грунтового
сухе	0,7 – 0,8	0,7 – 0,8	0,5 – 0,6
мокре	0,4 – 0,5	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4
вкрите мокрим снігом	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3
вкрите снігольодовою кіркою	0,15 – 0,3	0,15 – 0,3	0,15 – 0,3
зледеніле	0,08 – 0,15	0,08 – 0,15	0,08 – 0,15

Спостереження дорожньо-патрульної служби дозволяють виділити особливо ожеледно-небезпечні ділянки на трасі, куди в першу чергу повинні прямувати технічні бригади.

Засніжене покриття доріг пов'язано з заносимістю доріг і виникає при несвоєчасному прибиранні снігу з трас. При тривалих снігопадах і хуртовинах (12 годин та більше), при слабкому вітрі і прирості снігового покриву 6–10 см, а також при швидкості вітру  $\geq 15$  м/с вводиться снігоприбиральна техніка. При вітрі  $\geq 15$  м/с приріст снігу більше 10 см

прирівнюється до стихійного лиха. При прирості снігового покриву за добу понад 20 см або при інтенсивності снігопаду більше 0,4 мм/хв рух стає аварійно небезпечним, а при прирості більше від 30 см – взагалі неможливим для основного парку машин.

Мокре покриття утворюється в результаті випадання опадів при позитивних температурах і при таненні мокрого снігу при слабких від'ємних температурах (до  $-5^{\circ}\text{C}$ ). При застосуванні протиожеледних засобів мокре покриття може бути і при більш низьких температурах. При мокрому покритті досить часто спостерігається явище аквапланування або глісування, особливо на швидкісних трасах при швидкості руху більш 60 км/год і за певних геометричних параметрах траси (ухили). Аквапланування залежить від інтенсивності дощу і можливо при інтенсивності дощу більше 0,5 мм/хв відповідно до формули (1.2).

$$h = \frac{aLn}{30i}, \quad (1.2)$$

де  $a$  – інтенсивність дощу,  $L$  – довжина ділянки стікання води,  $n$  – гідравлічний показник шорсткості,  $i$  – ухил ділянки стікання води.

До явищ, які погіршують видимість до небезпечних меж, що створюють ДТП, відносяться туман, дощ, сніг, пилові бурі, імла і хуртовина певної інтенсивності і тривалості. Параметри МДВ (метеорологічної дальності видимості) впливають не тільки на ймовірність ДТП, але і на середню швидкість транспортного потоку і пропускну здатність дороги. Зниження швидкості автомобіля при погіршенні видимості залежить від характеру атмосферних явищ і категорії автомобіля. Швидкість легкових автомобілів в тумані знижується з 72 км/год при видимості 1 км до 47 км/год при видимості 100 м, а в снігопад – з 65 до 47 км/год. Аналіз даних залежності швидкості транспортного потоку від МДВ, проведений А.П. Васильевым [1] показав, що пік повторюваності зниження швидкості руху припадає на МДВ в 500 м, тобто критичними значеннями видимості, з яких починається помітне зниження швидкості автомобіля, є вдень 500 м і 1000 м вночі.

Левитин К.М. [8] пропонує оцінювати рівень безпеки руху за формулою:

$$\frac{S_{\text{вид}}}{S_{\text{зуп}}} \geq 1, \quad (1.3)$$

де  $S_{\text{вид}}$  – дальність видимості дорожнього об'єкта в складних погодних умовах, пов'язаних з МДВ виразом:

$$S_{\text{вид}} = \ln \frac{k}{e} \left( \frac{3}{S_m} + \frac{4.35}{\sqrt{Q}} \right), \quad (1.4)$$

де:

$e = 0.05$  – контраст чутливості ока;

$k$  – контраст об'єкта з фоном;

$Q$  – площа об'єкта;

$S_m$  – метеорологічна дальність видимості;

$S_{\text{зуп}}$  – зупинний шлях автомобіля.

$$S_{\text{зуп}} = k_g v^2 (245\varphi) + \frac{T_{\Sigma}}{3.6} + S_0, \quad (1.5)$$

де:

$k_g$  – коефіцієнт ефективності гальмування;

$v$  – швидкість автомобіля;

$\varphi$  – коефіцієнт зчеплення з дорогою;

$T_{\Sigma}$  – сумарний час впізнання об'єкта, реакція водія і спрацьовування механізму приводу гальм;

$S_0$  – відстань між зупинився автомобілем і перешкодою/

При зменшенні МДВ з 500 до 300 м швидкість руху повинна бути знижена на 15%, при зменшенні МДВ з 300 до 100 м – на 45%. При МДВ, що дорівнює 50 м, безпечна швидкість руху становить 20 км/год, тобто знижена в 4 рази.

При видимості меншій від 50 м, яка спостерігається безперервно більше 12 годин, Управління транспортними засобами має право припиняти рух автомобілів. У Правилах дорожнього руху небезпечним є погіршення видимості до 100 м (потрібно знизити швидкість більше, ніж на 45% і тримати безпечну дистанцію між автомобілями). Кліматична інформація про видимість використовується також на рівні конструювання автомобіля (встановлюється протитуманна система), при проектуванні і обслуговуванні траси і при плануванні перевезень.

Кліматичними спеціалізованими параметрами слугують ймовірності значень видимості  $\leq 500\text{м}$ ,  $\leq 1000\text{м}$ ,  $\leq 50\text{м}$ ,  $\leq 100\text{м}$ . За візуальними спостереженнями за видимістю можливе достовірне визначення лише ймовірності видимості  $\leq 1000\text{м}$ . Для визначення повторюваності інших градацій видимості  $\leq 6$  км слід використовувати інструментальні спостереження за видимістю.

Істотний вплив на режим автотранспорту надає вітер, створюючи вітрове навантаження на автомобіль. По-перше, вітер при високих

швидкостях прагне зрушити автомобіль, перевернути, змінити траєкторію руху. По-друге, він сприяє перевитратам палива і зношенню шин в результаті гальмівних зусиль. Вплив вітру залежить від швидкості вітру, швидкості руху і технічних характеристик автомобіля. Критичною можна вважати вітрове навантаження, що дорівнює вазі автомобіля. Вітрова навантаження  $g$  розраховується за формулою:

$$g = k g_0 F, \quad (1.6)$$

де  $F$  – площа проекції автомобіля на площину, перпендикулярно напрямку вітру;

$g_0 = \frac{v_p^2}{16}$  – швидкісний тиск вітру 1 раз в  $n$  років;

$k$  – аеродинамічний коефіцієнт.

Необхідно враховувати також бічну складову швидкості вітру. За даними ряду авторів при швидкості руху 90 км/год критична швидкість вітру – 20 м/с. При швидкості автомобіля 80 км/год, поривах або швидкості вітру 15 м/с при реакції водія 1,5 с відхилення траєкторії становить 0,4 м, а при часі реакції 2 с відхилення сягає 2 м, що вже становить велику небезпеку. На зледенілих покриттях критична швидкість вітру складає 10–15 м/с.

Температура повітря і поверхні дороги також впливає на систему ВАДС. При низьких від'ємних температурах ( $-30^\circ$ ,  $-40^\circ$ ) аварії можуть виникнути через поломки автомобілів, крім того, збільшуються втрати при перевезеннях, а також збільшується час на запуск двигуна машини. Необхідні додаткові заходи щодо забезпечення незамерзання води і масла в системах автомобілів. При занадто високих і дуже низьких температурах спостерігається зростання аварійності через погіршення психофізичного стану водіїв. Комфортні умови в кабіні повинні складати близько  $20^\circ\text{C}$ . Низькі температури позначаються також на якості дорожнього полотна, викликають здимання і розмиви дорожнього одягу. Залежно від середньої температури найхолоднішого місяця використовуються різні будівельні матеріали. Високі температури утворюють напливи на асфальтовому покритті.

Впливу всіх розглянутих факторів посилюються в тих випадках, коли ряд цих факторів діє спільно. Дуже небезпечним є поєднання поганої видимості або сильного вітру з ожеледицею. На ці умови припадає найбільша кількість аварій. Надзвичайно важливо також встановити залежність між швидкістю транспортного потоку і комплексним впливом погодних умов. На рис. 1.2 показана залежність коефіцієнта зчеплення від температури повітря і стану покриття.

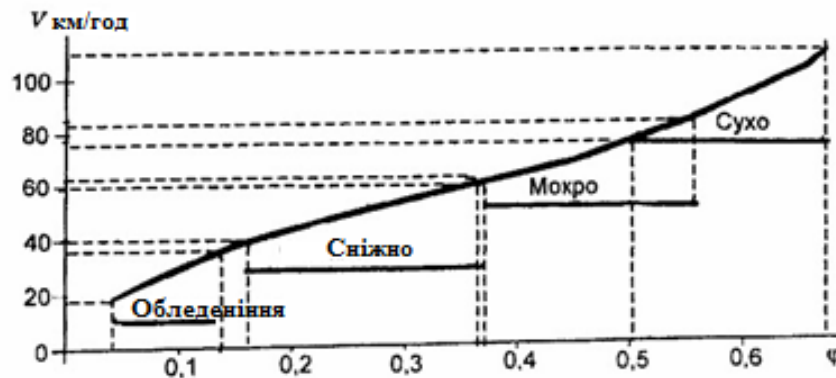


Рисунок 1.2 – Залежність допустимої швидкості руху  $V$  від коефіцієнта зчеплення  $\varphi$  [10]

Рядом фахівців (В.С. Чвак, А.П. Васильєв [1]) розроблено моделі комплексного впливу різних кліматичних факторів на розрахункову швидкість руху автомобілів різної забезпеченості та показники комплексного впливу на умови руху автомобілів.

У висновку сформулюємо повну систему кліматичних показників, які використовуються для спеціалізованого кліматичного забезпечення автотранспортної галузі в різних напрямках.

Для проектування системи автомобільних доріг потрібні такі кліматичні показники:

1. При проектуванні висоти і ширини снігозаносимості насипу:
  - максимальна висота і розподіл висоти снігового покриву заданої забезпеченості 1 раз в 10 років і в 20 років (нормативна характеристика);
  - повторюваність різної кількості опадів, починаючи з градації більше 5 мм на добу (з квітня по жовтень) інтенсивність опадів заданої забезпеченості.
2. Для забезпечення збереження доріг:
  - середня і квантиль 95% забезпеченості глибина промерзання і протавання ґрунту;
  - середня і максимальна інтенсивність опадів за 30 хв;
  - середня і максимальна інтенсивність сніготанення;
  - добовий максимум опадів.
3. При виборі дорожнього покриття:
  - середня температура повітря найбільш холодного і найбільш жаркого місяця і з забезпеченістю 0,94 (нормативна характеристика);
  - повторюваність днів з опадами більше 5 мм на добу;



- повторюваність періодів температури повітря нижче  $-30^{\circ}\text{C}$  і вище  $30^{\circ}\text{C}$  протягом 5 днів;
- середня і 95% квантиль температури поверхні ґрунту і асфальтобетонного та цементно-бетонного покриття найбільш холодного і спекотного місяців;
- середня глибина промерзання і протавання ґрунту;
- середня і максимальна інтенсивність сніготанення;
- повторюваність різного стану дорожнього покриття (сухе, мокре, покрите мокрим снігом, покрите сніжно-льодовою кіркою, обледеніле).

4. При проектуванні мостів і мостових переходів:

- нормативні кліматичні характеристики: повторюваність зимових відлиг, температури повітря в період танення льоду, швидкість вітру 1% забезпеченості при льодоходу.

Для дорожнього будівництва та виробництва дорожніх робіт:

1. Для встановлення розцінок робіт на відкритому повітрі:
  - кількість днів з температурою повітря нижче  $-25^{\circ}\text{C}$ ;
  - кількість днів з переважною швидкістю вітру понад 10 м/с при від'ємних зимових температурах (нормативи ВНДЗ).
2. Для визначення періоду виробництва основних дорожніх робіт (залізобетонних, кам'яних, асфальтових покриттів тощо)
  - середня і максимальна кількість днів з середньою добовою температурою вище  $5^{\circ}\text{C}$  в весняно-осінній період;
  - повторюваність періодів з додатною і від'ємною температурами повітря тривалістю 5, 10 і 15 днів у весняно-осінній період;
  - повторюваність числа днів з опадами  $> 5$  мм/добу за період з квітня по жовтень.

Для безпечної і безперебійної експлуатації залізниць і організації руху на дорогах:

1. При кліматичному прогнозі на найближчі місяць, сезон, рік і кілька років:
  - ймовірність всіх основних стихійних явищ;
  - ймовірність видимості вночі  $<1000$  м, вдень  $<300$  м,  $<100$  м,  $<50$  м;
  - ймовірність випадіння за 12 годин снігу висотою 10 і 15 см, а за 1-2 доби – 20 і 30 см;
  - ймовірність інтенсивності снігопаду  $> 4$  мм/год;
  - ймовірність снігопереносу різної інтенсивності;
  - ймовірність дощу інтенсивністю 0,5 мм / год;
  - ймовірність швидкості вітру  $\geq 15$  м/с,  $\geq 20$  м/с;

- розрахункові швидкості вітру;
  - ймовірність комплексів: швидкість вітру  $> 10$  м/с при ожеледиці; видимість  $< 6$  км,  $< 1$  км (вночі) і  $< 500$  м (вдень) при ожеледиці.
2. При розробці систем сигналізації на дорогах та інструктажі водіїв автомобілів:
- всі вище перераховані характеристики. Особливо важливі характеристики погіршеної видимості, середнє і максимальне число днів з усіма явищами, що погіршують видимість (не тільки з особливо небезпечними); повторюваність мокрого снігу в поєднанні з подальшими різкими ( $> 5^{\circ}\text{C}$ ,  $> 10^{\circ}\text{C}$ ) зниженнями температури повітря;
  - повторюваність різного стану покриття дороги;
  - повторюваність облогових дощів, коли за добу або декілька днів випадає місячна норма опадів.

Для планування перевезень:

При визначенні середньої швидкості транспортного потоку і пропускної здатності дороги використовують всі перераховані в попередньому пункті характеристики, але в першу чергу комплекси стану дороги в поєднанні зі швидкостями вітру, погіршеною видимістю і снігопадами. Розрахунки доцільно вести на основі наведених вище формул, таблиць і графіків. У розрахунках необхідне врахування можливостей сніго-водо боротьби, і обробка дороги піщано-сольовою та іншими сумішами.

Для розробки заходів, що нейтралізують шкідливий вплив навколишнього середовища:

1. При оцінці необхідності і частоти введення снігоприбиральної техніки:
- повторюваність хуртовин тривалістю до 3 годин при швидкості вітру до 10 м/с;
  - повторюваність хуртовин при сніговому покриві, що утворюється за 12 годин вище 10 см;
  - повторюваність загальних хуртовин тривалістю від 4 до 12 годин при швидкості вітру до 10–14 м/с і приріст снігу за 12 годин 6–10 см;
  - повторюваність загальних хуртовин тривалістю від 4 до 12 годин при швидкості вітру  $\geq 15$  м / с і приріст снігу за 12 годин 5 см і більше (при 10 см і більше - стихійне лихо);
  - повторюваність хуртовини і поземки тривалістю більше 12 годин;
  - повторюваність хуртовин (будь-яких) тривалістю більше 1–2 тижнів (вимагає цілодобової роботи техніки).

2. При розрахунку кількості снігоочисників і снігоприбиральних машин (з найменшими витратами за  $n$  років):
  - середнє і середнє квадратичне відхилення максимального приросту снігового покриву за зиму на території дороги довжиною  $L$ , шириною очищається смуги снігу  $d$ ;
  - ймовірність різних значень обсягів снігопереносу за зиму.
3. При визначенні початку і кінця обробки дороги піщано-сольовою сумішшю:
  - схема доріг, розбита на ділянки по місяцях початку і кінця утворення ожеледиці та ожеледі.
4. При розрахунку кількості солі для обробки доріг:
  - повторюваність снігопадів;
  - зимовий індекс стану дороги (кількість днів з ожеледицею і мокрим снігом при погіршеній видимості і сильному вітрі), що включає характер покриття дороги і транспортний парк.

Для конструювання автомобілів:

1. При створенні умов комфортності водіїв:
  - кількість днів з високими і низькими температурами,
  - кількість днів з високою вологістю,
  - кількість днів з великою тривалістю сонячного сяйва.
2. При плануванні будівництві полігону для випробування автомобільних шин:
  - повторюваність сухої погоди при додатних температурах, але не більше  $30^{\circ}\text{C}$  і швидкості вітру  $\leq 3$  м/с;
  - середня річна температура повітря;
  - середня річна температура повітря в денні години;
  - кількість днів з опадами  $>5$  мм; місячна сума опадів.

На закінчення зазначимо необхідні дії для організації спеціалізованого обслуговування автотранспортної системи, які доцільно включити в «Концепцію метеорологічного забезпечення дорожньої галузі»:

- складання рекомендацій по уточненню спостережень за деякими погодними умовами, облік яких необхідними для забезпечення автотранспортної галузі;
- уточнення критеріїв небезпечних явищ стосовно автотранспорту, особливо комплексних характеристик;

- розробка повної системи спеціалізованих кліматичних показників для автодорожнього транспорту, технологія їх розрахунку і методики кліматичного опису автодороги з урахуванням її профілю;
- складання кліматичного районування території України для автотранспорту, а також складання кліматичного атлас автомобільних доріг України;
- розробка довідково-інформаційної системи спеціалізованих даних для автотранспорту (спеціалізований кліматичний довідник), включивши в неї: програми розрахунку коефіцієнтів зниження пропускнуої здатності доріг в залежності від кліматичних факторів, кількості і часу введення снігоприбиральної техніки, кількості різних сумішей для обробки дороги, а також часу початку і кінця обробки доріг цими сумішами та інші розрахунки.

## 2 БАЗА ДАНИХ ТА ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

База даних містила ряди середньодобових значень температури, значення добової максимальної та мінімальної температури, кількості змішаних або рідких опадів, кількості опадів твердої фази, відносної вологості та швидкості вітру, отриманих за період 2011–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для 9 пунктів України, розташованих уздовж різних автотрас України.

Характерні траєкторії змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 є двома з чотирьох сценаріїв, запропонованих IPCC в [17], з яких в RCP4.5 прогнозують стале зростання радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значенням у 2100 р. близько і подальшу стабілізацію цього значення після 2100 р. Сценарій RCP8.5 представляє собою найекстремальнішу траєкторію, в якій передбачається безперервне зростання радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значенням майже у 2100 р. [13].

В роботі було розглянуто два автошляхи: "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків", "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород".

Автошлях "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків" складається з декількох шляхів різного державного та місцевого значення. Його загальна довжина складає 673 км (рис. 2.1).

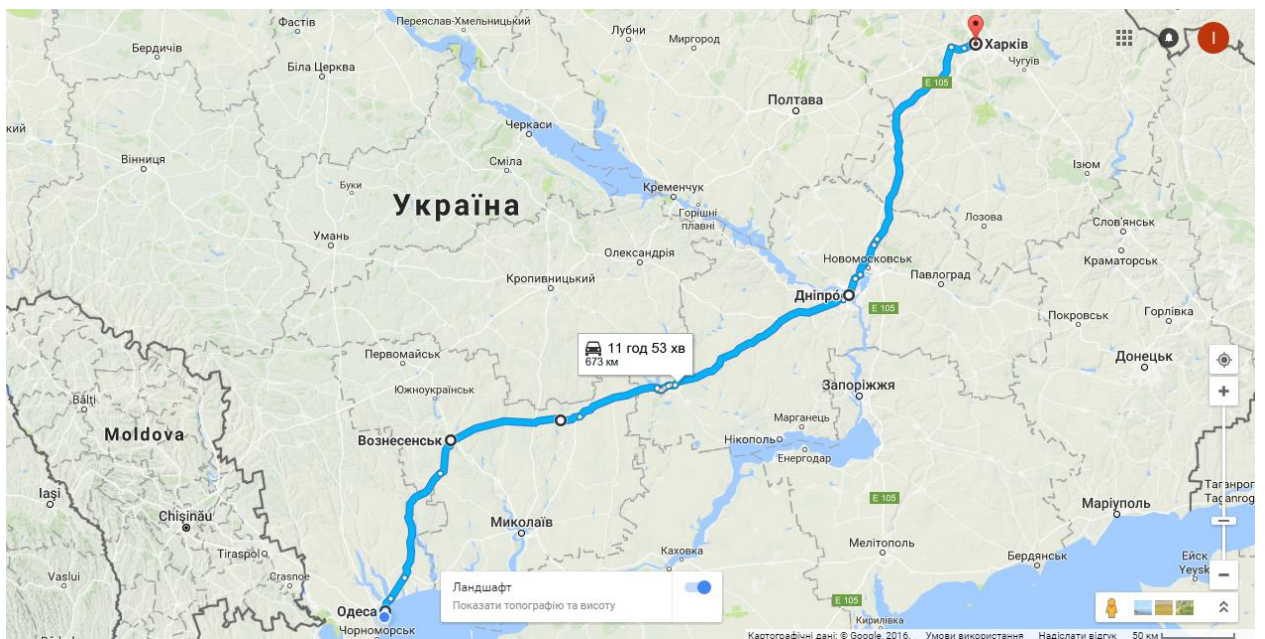


Рисунок 2.1 – Схема автошляху "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків"

Від м. Одеса до м. Вознесенськ шлях є частиною територіальної дороги, тобто дороги місцевого значення, Р55. Загальна довжина цієї частини шляху складає 142 км. Шлях Р55 проходить територією Комінтернівського, Березівського, Веселинівського, Вознесенського, Єланецького та Новобузького районів через Комінтернівське – Веселинове – Вознесенськ – Єланець – Новий Буг. Автомобільний шлях, що пролягає від м. Вознесенськ до м. Дніпро, складається з двох частин: дорога «Вознесенськ – Новий Буг» є продовженням територіальної дороги Р55, траса «Новий Буг – Дніпро» є частиною шляху національного значення Н11 «Дніпро – Кривий Ріг – Миколаїв». Шлях від м. Вознесенськ до м. Дніпро має довжину 313 км. Дорога між м. Дніпропетровськ та м. Харків є частиною магістралі, тобто автошляху європейського значення Е105 «Кіркенес (Норвегія) – СанктПетербург (Росія) – Москва (Росія) – Харків (Україна) – Ялта (Україна)». Протяжність цієї ділянки складає 218 км.

Увесь автошлях, що розглядається, проходить рівнинною територією, на якій висота рельєфу не перевищує 200 м. Автотраса пролягає в основному в степовій зоні, і лише невелика частина траси «Харків – Красноград» пролягає в лісостеповій зоні.

Клімат степової та лісостепової зон помірно континентальний. Середні температури січня змінюються від  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  на заході до  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  на сході, липня – відповідно від  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кількість опадів зменшується з півночі на південь від 600 до 500 мм за рік [5]. Континентальність клімату зростає як у північному, так і східному напрямках. Тобто континентальність клімату зростатиме, якщо просуватись уздовж автошляху в напрямку від Одеси до Харкова. Це означає, що виникає ризик зростання температури влітку та зниження температури взимку до екстремальних значень.

Для континентального клімату є характерними сильні вітри, що може також погано вплинути на безперебійну роботу автошляху.

Автошлях, який розглядається, розпочинається в м. Одеса, що знаходиться на відміну від решти пунктів під впливом не континентального, а морського клімату. В цьому випадку спостерігатимуться менші контрасти температур, проте зростає ризик випадіння сильних та частих опадів внаслідок підвищеної вологості та також можуть мати високу повторюваність небезпечні швидкості вітру.

Автошлях "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород" є складовою частиною Європейської мережі автомобільних шляхів та складається з двох автострад Е471 та Е50. Його загальна довжина складає 815 км (рис. 2.2).



Від м. Вінниця до м. Тернопіль шлях є частиною автостради E50, яка починається у Бресті (Франція) та походить через Париж, Ужгород, Донецьк, Ростов та закінчується у Махачкалі. Між м. Тернопіль та м. Стрий автострада E50 збігається з міжнародним шляхом M12, а між м. Стрий та м. Ужгород з двома автошляхами міжнародного значення E471 та M06, яка з'єднує пункти Київ та Чоп.

Автошлях, що розглядається, проходить гористою місцевістю, яка має досить складний рельєф. Висота рельєфу коливається від 200 до 1010 м (у найвищій точці).

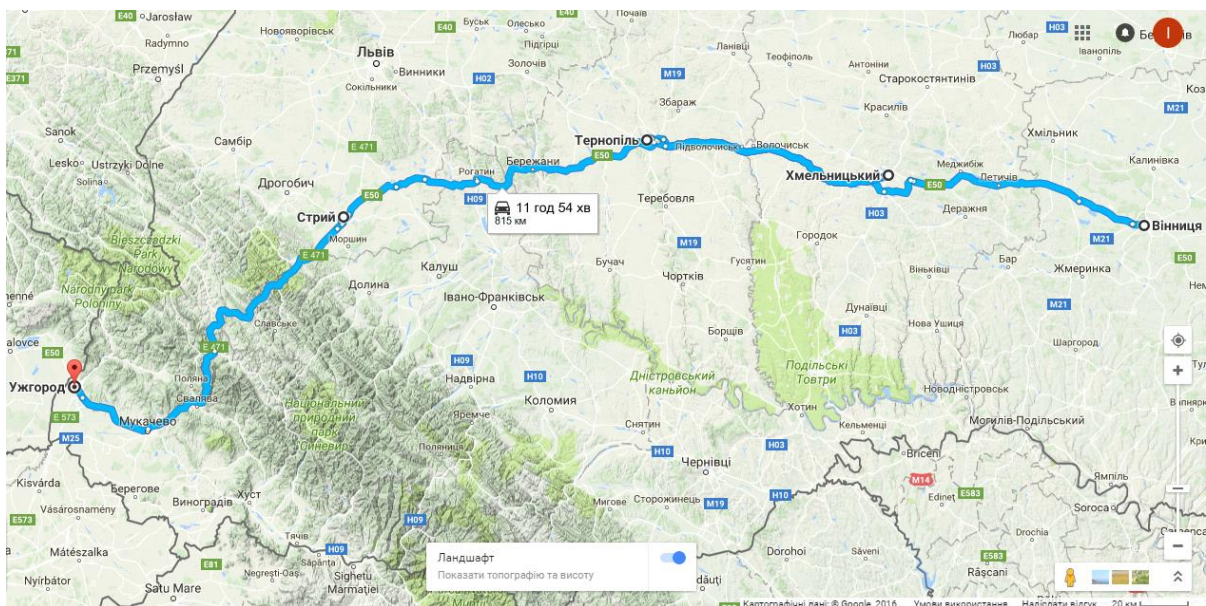


Рисунок 2.2 – Схема автошляху "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород"

Автотраса пролягає через лісостепову (Подільська височина) зону, зону широколистяних лісів та Карпатські гори. Кожна з цих зон має свої кліматичні умови. Клімат у лісостеповій та широколистяній зонах є помірно континентальний. Його континентальність збільшується у східному напрямку. У зоні широколистяних лісів опадів випадає найбільше серед рівнинних територій України (600 – 700 мм за рік). Клімат Карпатських гір істотно відрізняється від клімату прилеглих рівнинних територій і формується в умовах вертикальної поясності. Він характеризується великою кількістю опадів і високою вологістю повітря, значною тривалістю морозного періоду, порівняно низькими температурами повітря і ґрунту [5]. Тому впродовж усього шляху погодні умови, особливо в зимовий час та перехідні сезони року, можуть бути досить несприятливими для транспорту.

Задля оцінки впливу змін клімату на роботу автошляхів використовувались розраховані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за періоди 2011–2050 рр. та 2021–2050 рр. такі характеристики, як

- найвища і найнижча середньодобові температури повітря в різні місяці року;
- багаторічна середня місячна температура повітря на протязі року;
- температура з забезпеченістю 0,94 найбільш холодного та найбільш спекотного місяця;
- кількість днів з екстремальними середньодобовими температурами нижче за -30, -35 та -40С та вище за 25, 30, 35С.
- кількість днів з від'ємними температурами нижче від 0, -5, -10 та -15°С;
- повторюваність метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, а саме: ожеледиця, сніговий накат, льодова суга, ожеледь, мокре покриття та швидкість вітру  $\geq 10$  м/с під час ожеледиці, в різні місяці року;
- кількість днів з метеорологічними явищами, що погіршують стан дорожнього покриття, в кожен рік періоду 2011-2050 рр.;
- повторюваність середньодобової швидкості вітру, яка дорівнює або вища за 10м/с, 15м/с та 20 м/с, в різні місяці року;
- кількість днів з середньодобовою швидкістю вітру, яка дорівнює або вища за 10м/с, 15м/с та 20 м/с, в кожен рік періоду, що розглядається.

На базі даних, які були доступними, визначення метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, виконувалось за методиками, запропонованими в [10]:

- ожеледиця утворюється, в основному,
  - при температурах повітря від -2 до 6°С, відносної вологості повітря від 65 до 85%;
- сніговий накат, заледенілий сніг та сніг, який тане, утворюється зазвичай
  - при випаданні снігу при температурах повітря від 0 до -6°С (в цьому діапазоні температур сніг має підвищену вологість і легко ущільнюється);
  - при температурах повітря від -6 до -10°С утворення сніжного накату можливо при відносній вологості повітря вище 90%, коли сніг має достатню вологість для ущільнення;
- тверда, зерниста та льодова суга, ожеледь утворюються найчастіше
  - при температурах повітря від +2 до -5,2°С, відносній вологості повітря вище 90%;



- мокре покриття утворюється внаслідок
  - випадіння опадів при додатних температурах та при таненні мокрого снігу при невеликих від'ємних температурах (до  $-5^{\circ}\text{C}$ );
- швидкість вітру  $\geq 10$  м/с при ожеледиці спостерігається у випадку поєднання
  - температур повітря від  $-2$  до  $6^{\circ}\text{C}$ , відносній вологості повітря від 65 до 85% та швидкості вітру  $\geq 10$  м/с.

Для зручності автошляхи, що розглядаються, було пронумеровано, таким чином:

- шлях № 1 – "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків",
- шлях № 2 – "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород",

Для всіх міст України та автошляхів, які розглядаються в роботі, було розраховано соціальні та економічні ризики за методикою, запропонованою в [2, 7]. За цими методиками соціальний ризик розраховується за формулою

$$P_{\text{соц}} = p \cdot \frac{s}{S} \cdot t \cdot m \cdot K,$$

де  $p$  – ймовірність природного явища,  $s$  – середня площа території, яка охоплюється небезпечним явищем,  $S$  – площа території,  $m$  – кількість населення,  $t$  – середня тривалість небезпечного явища,  $K$  – коефіцієнт агресивності.

Економічний ризик розраховується за формулою:

$$R_{\text{екоп}} = A \cdot P_{\text{соц}} = A \cdot p \cdot \frac{s}{S} \cdot t \cdot m \cdot K,$$

де  $A$  – ціна ризика, грн. (доля ВРП на одну людину).

Середня тривалість небезпечного явища,  $t$ , та середня площа території,  $s$ , яка охоплена явищем, визначались за таблицею:

Вид небезпечного явища	Тривалість, год	Площа, кв. км
Сильний вітер	4,8	8500
Сильний дощ	9,7	25500
Сильний мороз	24	Площа області
Сильна спека	24	Площа області

Коефіцієнт агресивності небезпечних явищ було прийнято відповідно до робіт [7] та [2] наступними:

Вид небезпечного явища	Коефіцієнт агресивності
Сильний вітер	1,0
Сильний дощ	0,03
Сильний мороз	0,1
Сильна спека	0,1

Інформація про ВРП станом на 2012 р., кількість населення станом на 2016 р. та площу областей України було взято з сайтів державних установ [3,15,16].

## 3 ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ТРАНСПОРТНУ СИСТЕМУ УКРАЇНИ

### 3.1 Температура повітря

#### 3.1.1 Середня температура повітря

За обома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 було розраховано середню місячні та річну температуру повітря. На рис. 3.1а та 3.2б представлено середні річні температури повітря, розраховані для обох автошляхів за періоди 1961–1990 рр., 2011–2050 рр. та 2021–2050 рр.

Загальна тенденція для всіх пунктів полягає в тому, що середня річна температура, розрахована за сценарієм RCP8.5, є більшою, ніж за сценарієм RCP4.5, приблизно на  $0,5^{\circ}\text{C}$  для обох періодів 2011–2040 рр. та 2021–2050 рр. Можна бачити, що для всіх пунктів найвагомий внесок у підвищення температури повітря є з боку тридцятирічного періоду 2021–2050 рр., оскільки за період 2011–2050 рр. температури є нижчими.

Слід зауважити, що зазвичай порівняно з кліматичною нормою 1961–1990 рр. температура збільшується у період 2011–2050 рр., виключаючи ст. Вознесенськ (Миколаївська область), Ужгород (Закарпатська область) де, навпаки, температура за сценаріями в подальші періоди підвищується, проте, все ж таки опиняється нижчою за кліматичну норму 1961–1990 рр. Тобто на цих станціях не відбувається очікуваного підвищення температури.

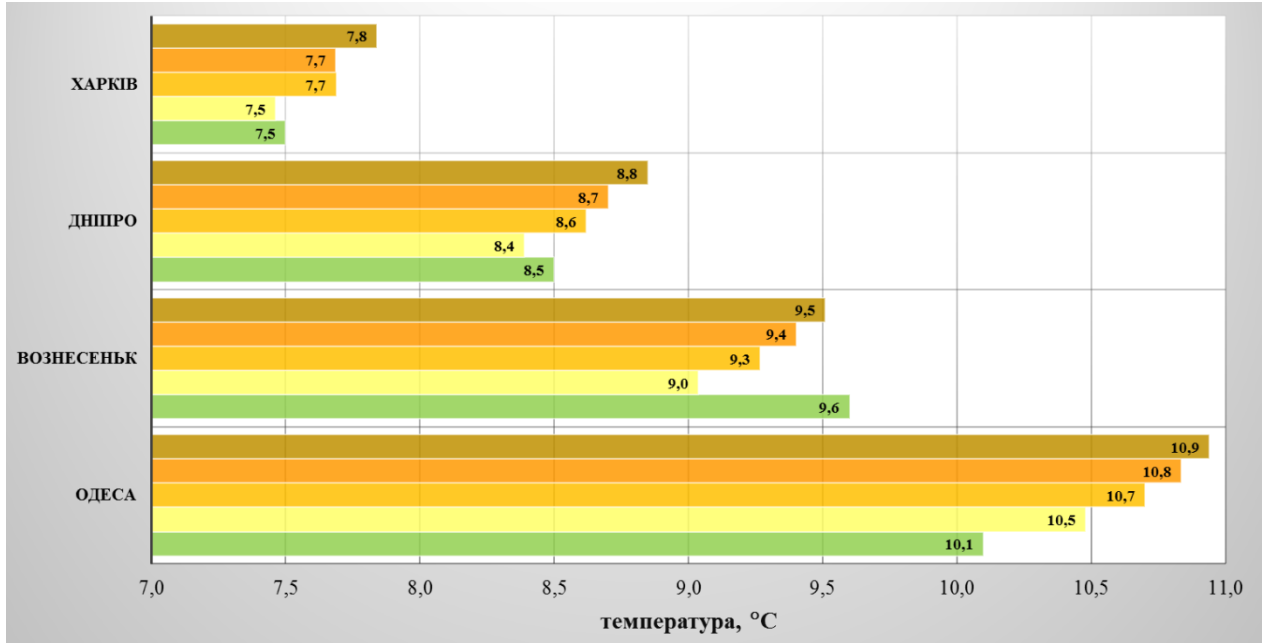
На деяких інших станціях річна температура за сценарієм RCP4.5 за період 2011–2050 рр. є нижчою від кліматичної норми 1961–1990 рр.: м. Харків, м. Дніпро, м. Вінниця, м. Хмельницький, проте, на всіх цих станціях спостерігається підвищення температури у період 2021–2050 рр. за обома сценаріями.

На автошляху № 1 різниця у річних температурах уздовж траси сягає  $35^{\circ}\text{C}$  та лишається однаковою для всіх періодів 2011–2050 рр., 2021–2050 рр. та 1961–1990 рр.

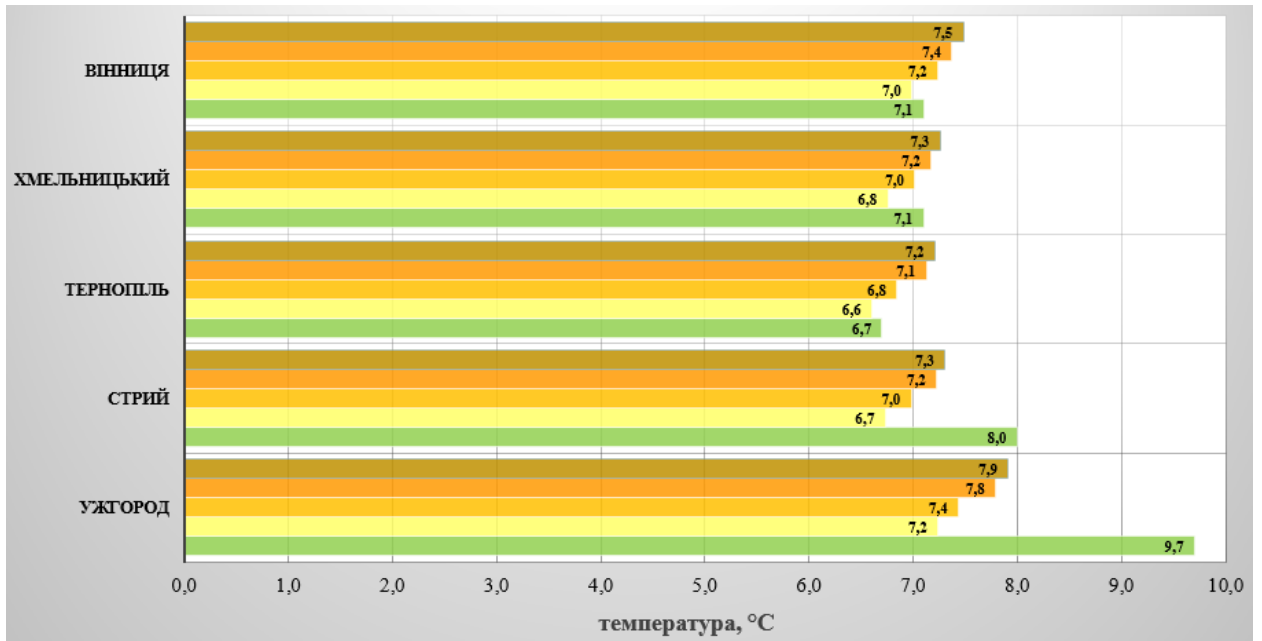
На автошляху № 2, різниця у річних температурах уздовж шляхів є невеликою, що вказує на більш комфортні умови. Це пояснюється тим, що цей автошлях є зонально орієнтованим.

Отримані результати дають змогу зробити висновок про загальне підвищення багаторічних середніх температур, проте, незважаючи на підвищення температури, континентальність не зменшується, а в деяких випадках, навпаки, збільшується.

(а)



(б)



■ 1961-1990  
 ■ 2011-2050 RCP4.5  
 ■ 2021-2050 RCP4.5  
 ■ 2011-2050 RCP8.5  
 ■ 2021-2050 RCP8.5

Рисунок 3.1. – Середня температура за періоди 1961–1990, 2011–2050 та 2021–2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів №1 (а), №2 (б)

За даними сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 було розраховано температури з різною забезпеченістю уздовж всіх автошляхів для січня та липня за період 2021–2050 рр. та порівняні з кліматичною нормою [6]. Ці характеристики дають добре уявлення про амплітуду зміни температури та у яких межах можна її очікувати.

На рис. 3.2а та 3.2б представлено середньодобову температуру з забезпеченістю 1 та 99 % у січні за періоди 2021–2050 рр. та 1961–1990 рр.

Можна бачити, що уздовж всіх трас за обома сценаріями порівняно з кліматичною нормою 1961–1990 рр. амплітуда середньої добової температури збільшується та відбувається зсув середньої добової температури у бік більш екстремальних значень. Наприклад, якщо в Ужгороді в січні у 1961-1990 рр. з забезпеченістю 1 % можна було очікувати температуру  $-11,5^{\circ}\text{C}$ , а з забезпеченістю 99 % –  $+2,7^{\circ}\text{C}$ , то за сценарієм RCP4.5 температури з такими забезпеченостями вже будуть іншими (більш екстремальними)  $-14,8$  та  $+3,6^{\circ}\text{C}$ , відповідно, а за сценарієм RCP8.5 становитимуть  $-15,8$  та  $+4,5^{\circ}\text{C}$ , відповідно. Це означає збільшення ймовірності екстремальних температур та небезпечних погодних умов. Окрім того, незважаючи на загальне підвищення температури, такі результати вказують на збільшення ймовірності як екстремально високих так і екстремально низьких температур, тобто на розбалансування кліматичної системи.

Для інших міст України спостерігається за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 спостерігається збереження амплітуди середньої добової температури, проте, для сценарію RCP4.5 збільшення температури є більшим, ніж за сценарієм RCP8.5.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що взимку за сценарієм RCP8.5 несприятливі погодні умови для транспорту будуть спостерігатись в південних та південно-західних областях, а за сценарієм RCP4.5 в інших областях України.

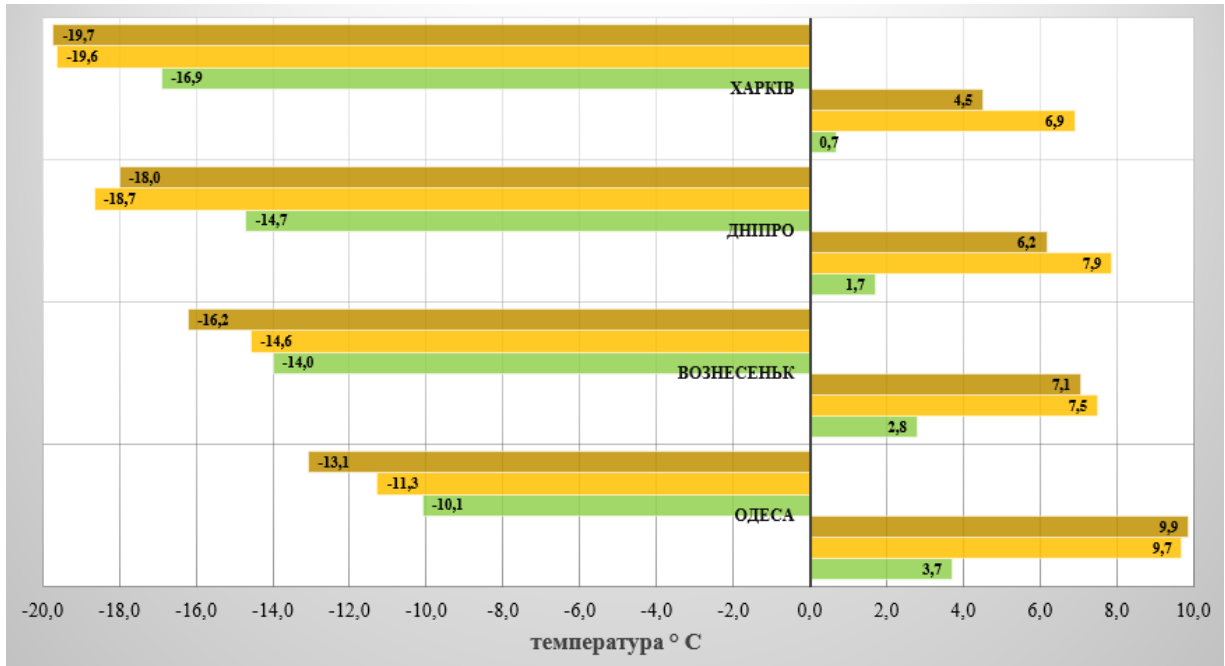
На рис. 3.3а та 3.3б представлено середньодобову температуру з забезпеченістю 1 та 99 % у липні за періоди 2021–2050 рр. та 1961–1990 рр. [6].

Порівняно зі змінами середньої добової температури в січні зміни середньої добової температури в липні мають дещо інший характер.

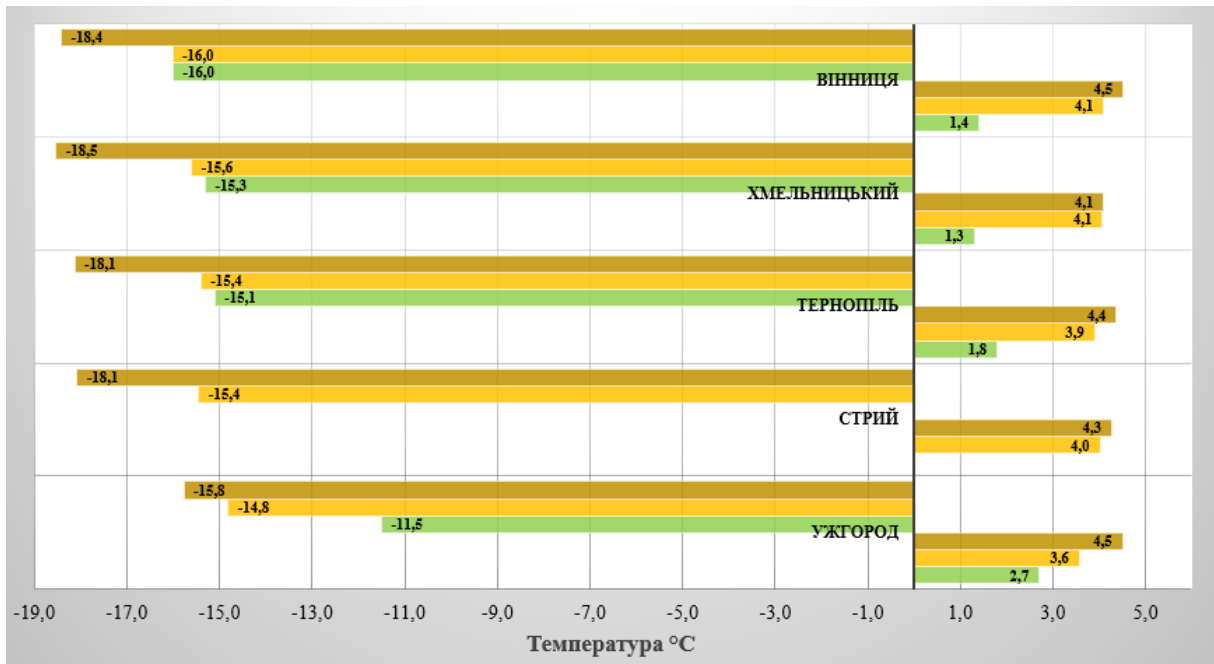
Немає яскраво вираженої тенденції як для сценарію RCP4.5 так і для сценарію RCP8.5 відповідно до географічних ознак. Для всіх пунктів спостерігається єдина загальна риса у характері змін температури в обох сценаріях – збільшення амплітуди змін температури та зсув температури як в

область низьких так і в область високих значень порівняно з періодом 1961–1990 рр. [6].

(а)



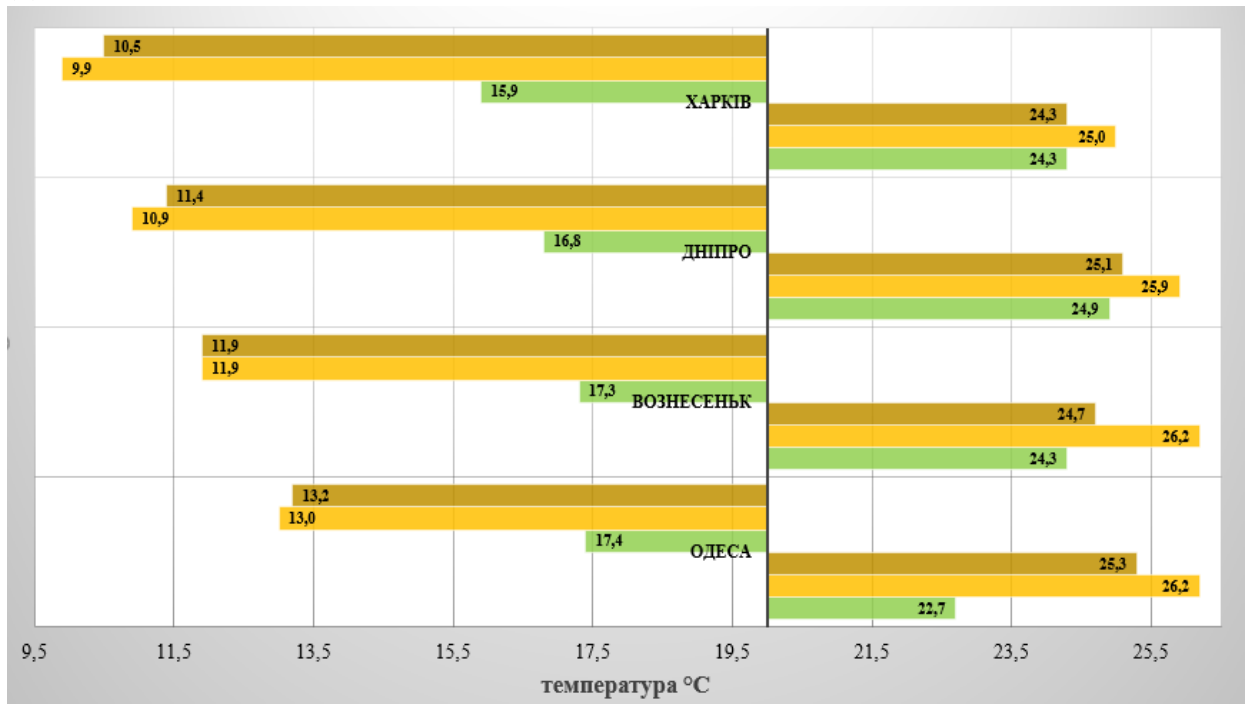
(б)



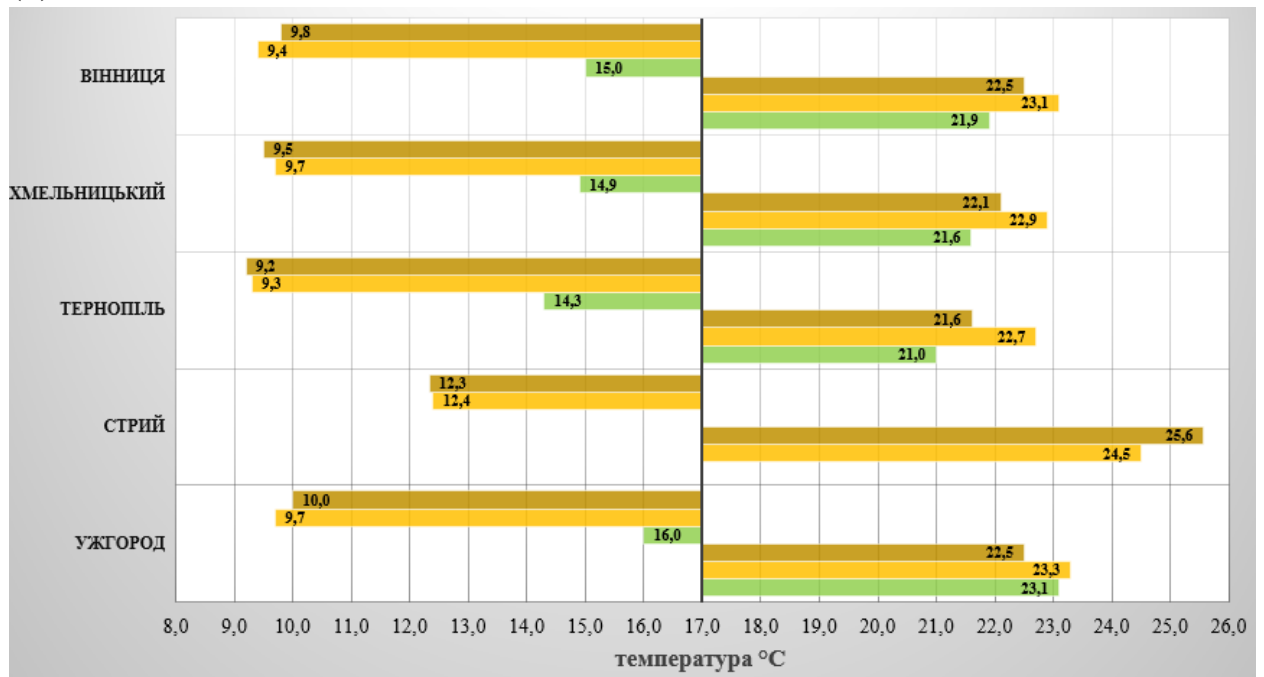
■ 1961-1990 ■ 2021-2050 RCP4.5 ■ 2021-2050 RCP8.5

Рисунок 3.2 – Перцентилі «99» та «1» середньої добової температури в січні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б)

(a)



(б)



■ 1961-1990   
 ■ 2021-2050 RCP4.5   
 ■ 2021-2050 RCP8.5

Рисунок 3.3 – Процентилі «99» та «1» середньої добової температури в липні за періоди 1961–1990 і 2021–2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляху №1 (а) та автошляху №2 (б)

Порівняно з січнем амплітуда змін температури збільшується в кілька разів за обома сценаріями, тому влітку вплив погодних умов на транспортну систему є більш інтенсивним. Причому, слід зазначити, що і в січні, і в липні амплітуда змін температури не залежить ні від широтної, ні від меридіональної орієнтації шляхів.

Для автошляху №1 спостерігається загальна тенденція в зміні температури: найбільша амплітуда середньої добової температури та найбільший зсув у бік екстремальних значень відбувається для сценарію RCP4.5, в сценарії RCP8.5 мають місце такі саме зміни проте амплітуда змін є меншою.

Для траси № 2 для ст. Стрий (передгір'я Карпат) амплітуда температур є найбільшою за сценарієм RCP8.5, для інших станцій (центральні райони Західної України), навпаки, для сценарію RCP4.5.

Оскільки влітку найбільш небезпечними є високі температури, то в незалежності від різниці в змінах температур уздовж різних трас, більш небезпечним для всіх трас є сценарій RCP4.5.

На рис. 3.4а та 3.4б представлено середньодобову температуру з забезпеченістю 50 % у січні, а на рис. 3.5а і 3.5б у липні за періоди 2021–2050 рр. та 1961–1990 рр. [6] уздовж автотрас, які розглядаються.

Для всієї території України мають місце яскраво виражені тенденції.

Для всіх автошляхів в січні (рис. 3.4а та 3.4б) спостерігається збільшення 50-тої перцентилі середньої добової температури за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Оскільки можна вважати, що температура підкорюється нормальному закону розподілу, то це означає, що підвищується і середнє значення, і модальне значення середньої добової температури в січні.

Слід звернути увагу, що для всіх станцій відбувається найбільше зростання значень 50-тої перцентилі середньої добової температури за сценарієм RCP4.5. Порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. це зростання складає приблизно 3-4<sup>0</sup>С.

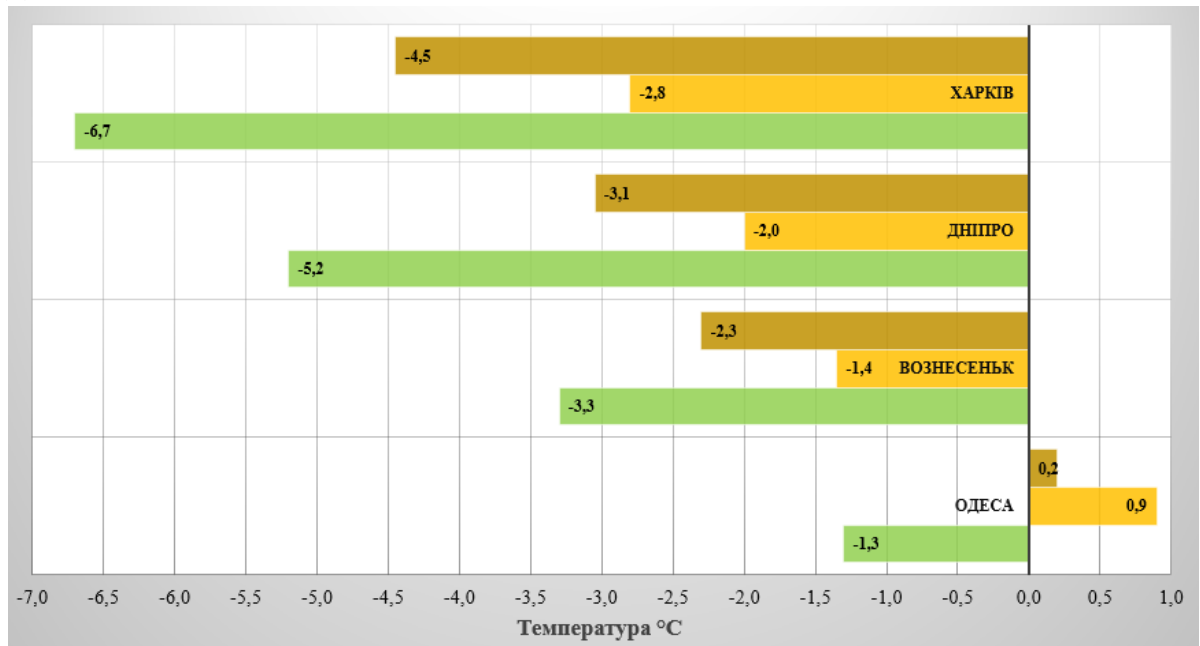
За сценарієм RCP8.5 зростання є не таким помітним та складає в більшості випадків 1-2<sup>0</sup>С.

Слід зауважити, що для деяких південних станцій, розташованих в Криму та на морському узбережжі, значення 50-тої перцентилі змінюється на додатне: м. Одеса (за обома сценаріями).

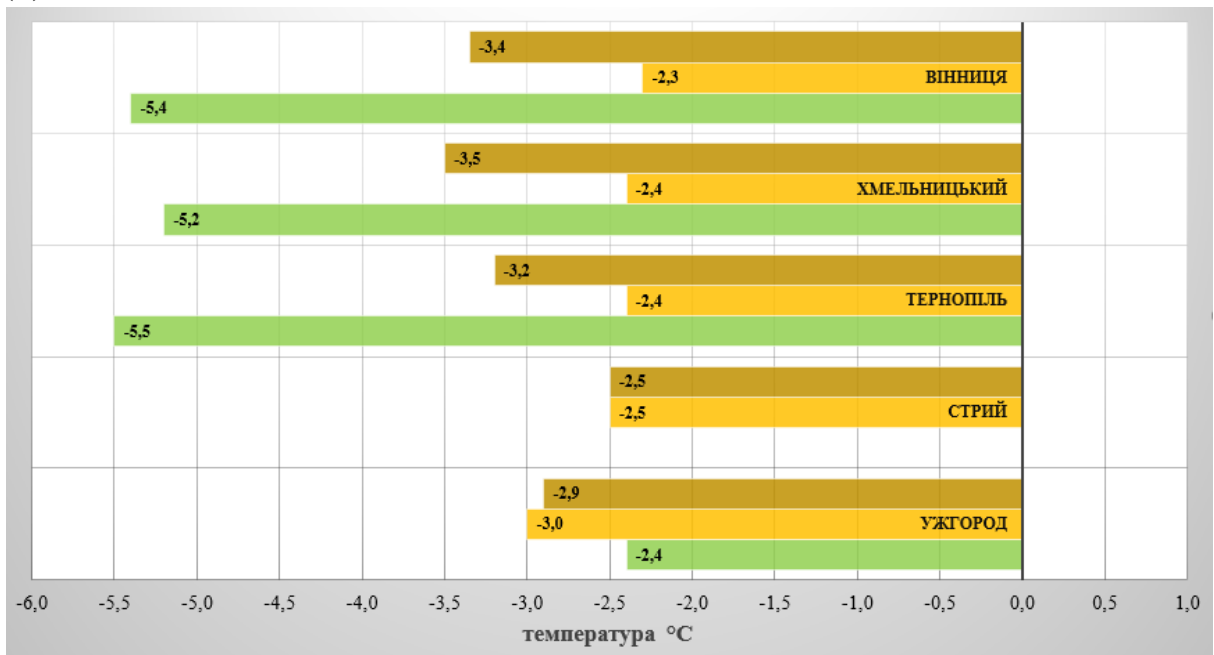
В липні (рис. 3.5а і 3.5б) спостерігаються дещо інші тенденції. Для всієї території України значення 50-тої перцентилі середньої добової температури зменшується. Найбільше зменшується за сценарієм RCP8.5, виключаючи ст. Дніпро (станції східно-південної України). Для цих станцій, навпаки більше зменшення значення 50-тої перцентилі відбувається за сценарієм RCP4.5.



(a)



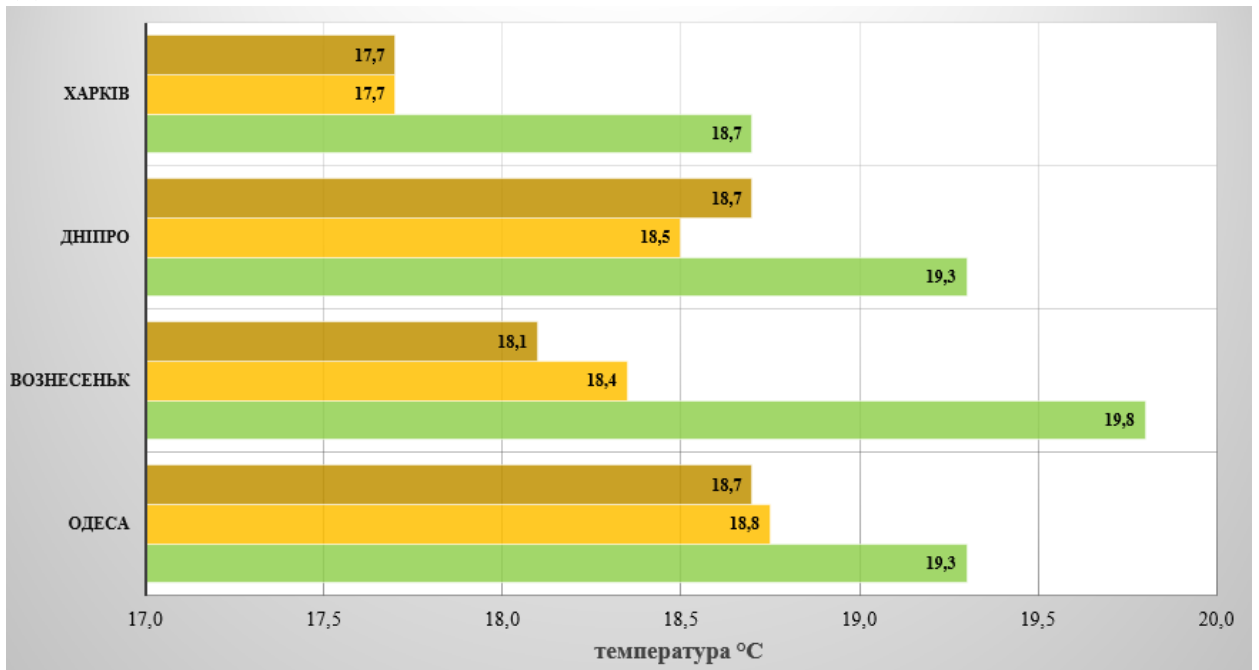
(б)



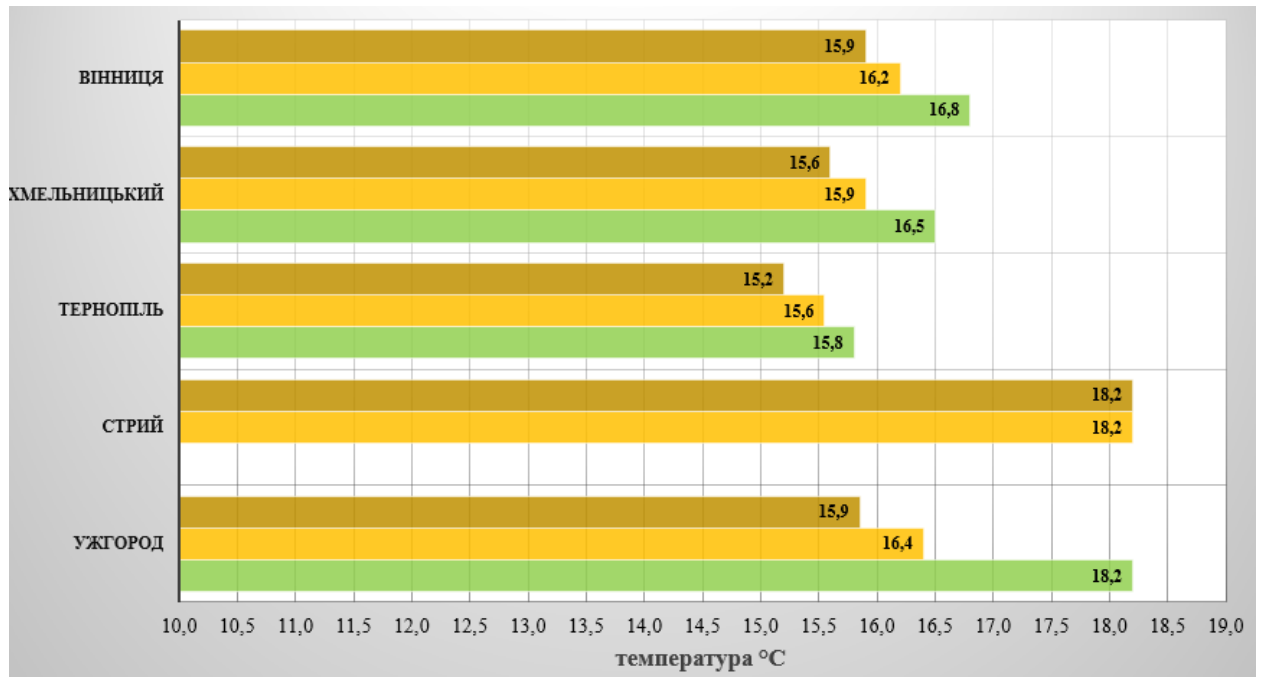
■ 1961-1990   
 ■ 2021-2050 RCP4.5   
 ■ 2021-2050 RCP8.5

Рисунок 3.4 – Процентиль «50» середньої добової температури в січні за періоди 1961–1990 і 2021–2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляху № 1 (а) та автошляху № 2 (б).

(a)



(б)



■ 1961-1990   
 ■ 2021-2050 RCP4.5   
 ■ 2021-2050 RCP8.5

Рисунок 3.5 – Процентиль «50» середньої добової температури в липні за періоди 1961–1990 і 2021–2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляху № 1 (а) та автошляху № 2 (б)

Для деяких станцій за обома сценаріями отримано однакові значення 50-тої перцентилі, а саме м. Стрий, м. Харків. До цієї ж групи можна віднести м. Одеса. Більша частина цих станцій також належить до південно-східних областей України.

Зменшення значення 50-тої перцентилі порівняно з кліматичною нормою складає приблизно 0,5–1,0°C.

Таким чином, з отриманих результатів можна бачити, що спостерігається суттєве пом'якшення клімату, оскільки спостерігається за обома сценаріями відбувається підвищення температури взимку та зменшення влітку, проте, внесок екстремальних значень стає більшим, оскільки повторюваність більш низьких та більш високих температур стає більшою. Для транспортної системи це має досить негативні наслідки.

### 3.1.2 Максимальна температура повітря

Велику роль у забезпеченні безпеки транспортної системи відіграють екстремальні температури, оскільки від повторюваності екстремальних температур залежить тип покриття, який треба використовувати для автотраси.

На рис. 3.6а та 3.6б представлено зміну багаторічної середньої максимальної температури повітря уздовж обох автотрас України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за періоди 1961–1990 рр., 2011–2050 рр. та 2021–2050 рр.

Для середньодобових багаторічних середніх максимальних температур мають місце такі саме тенденції як і для багаторічних середніх температур.

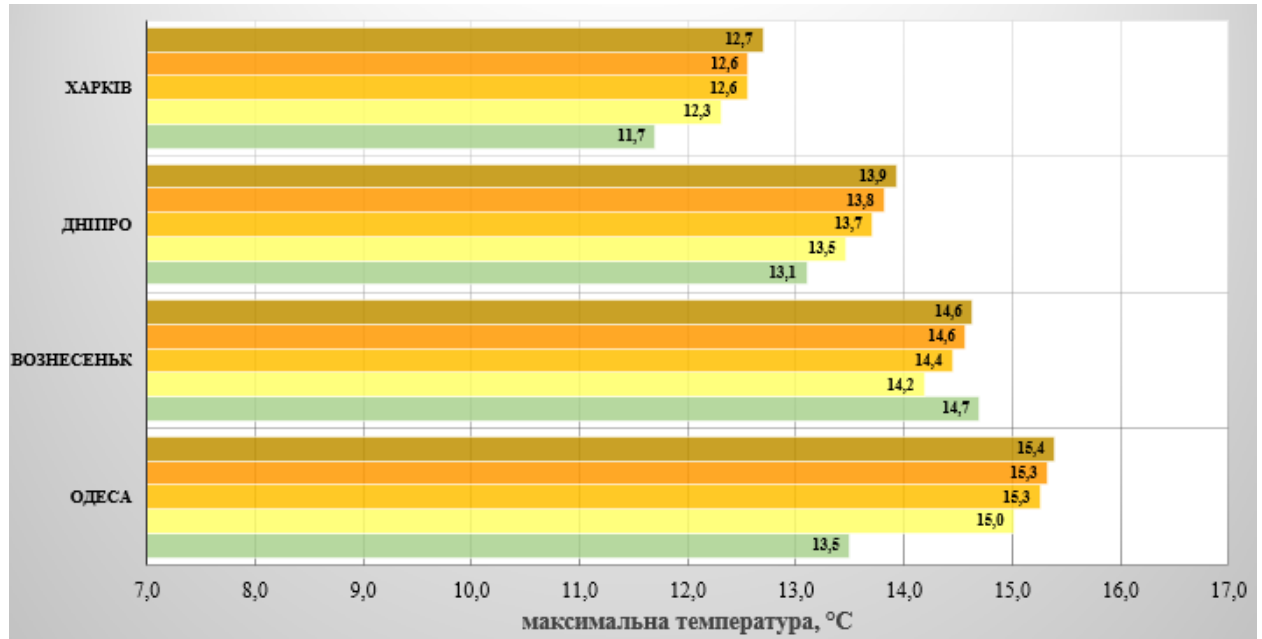
Порівняно з кліматичною нормою 1961–1990 рр. відбувається зростання багаторічної середньої максимальної температури за обома сценаріями. Виключенням є такі станції як м. Вознесенськ (Миколаївська область), м. Ужгород (Закарпатська область) та м. Стрий (Львівська область), на яких максимальна температура зростатиме за обома сценаріями в період 2011–2050 рр., проте, не перевищуватиме кліматичної норми.

Для середньорічної максимальної температури як і для середньорічної температури зростання температури найбільшим виявляється за сценарієм RCP8.5 за період 2021–2050 рр., а найменше за сценарієм RCP4.5 за період 2011–2050 рр.

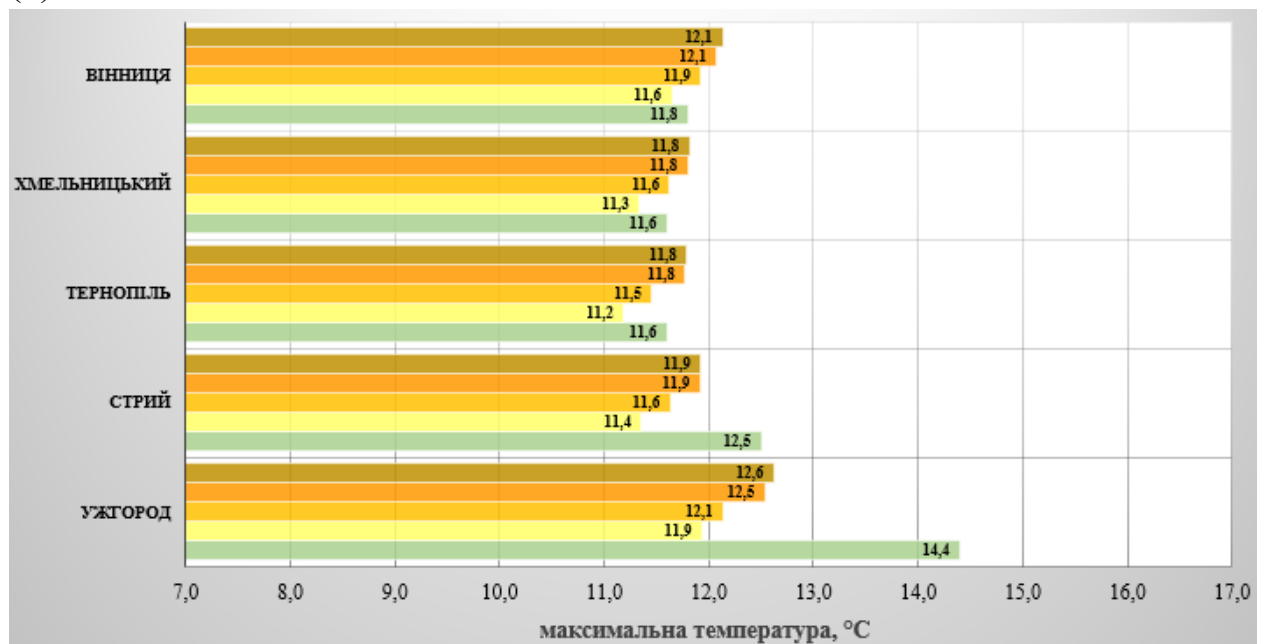
Це підтверджує висновок про те, що найбільший внесок у збільшення температури відбуватиметься у період 2021–2050 рр., тобто температура з

часом підвищуватиметься. Також це свідчить про те, що повторюваність екстремально високих температур з часом зростатиме.

(а)



(б)



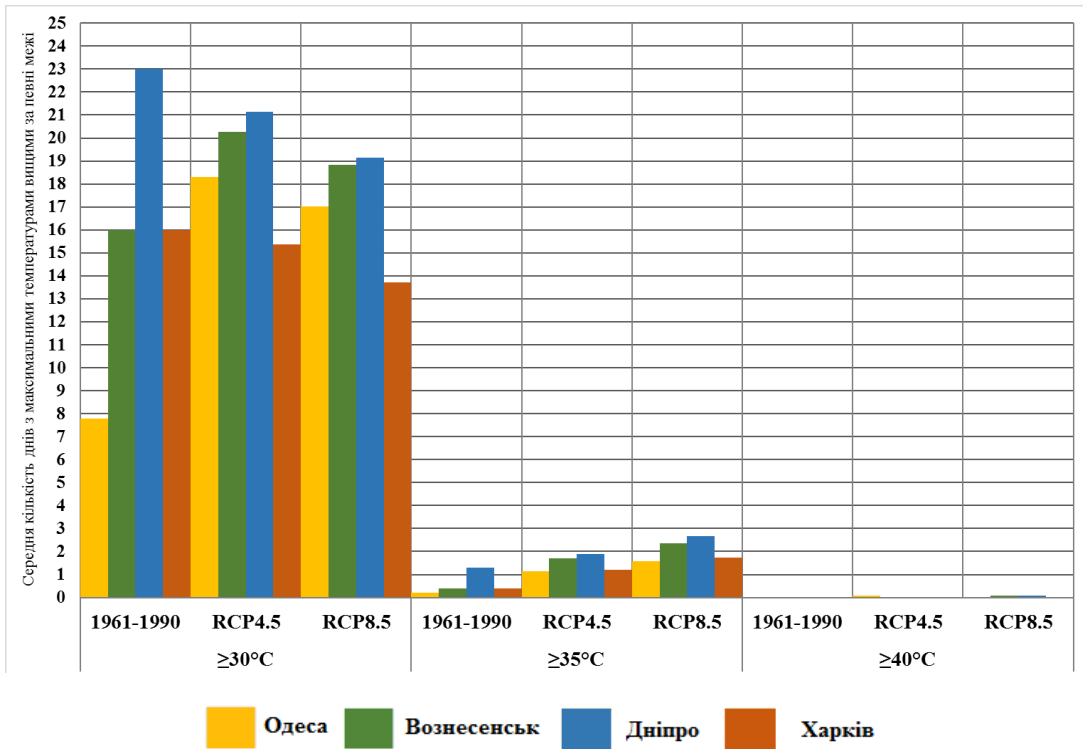
■ 1961-1990 ■ 2011-2050 RCP4.5 ■ 2011-2050 RCP8.5

Рисунок 3.6 – Середньорічна добова максимальна температура за періоди 1961–1990, 2011–2050 та 2021–2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляху № 1 (а) та автошляху № 2 (б)

На рис. 3.7а і 3.7б представлено динаміку кількості днів з середніми максимальними температурами, які перевищують певні порогові значення. За

такі порогові значення було обрано ті, вище яких день вважається спекотним, тобто +30°C, +35°C та +40°C.

(a)



(б)

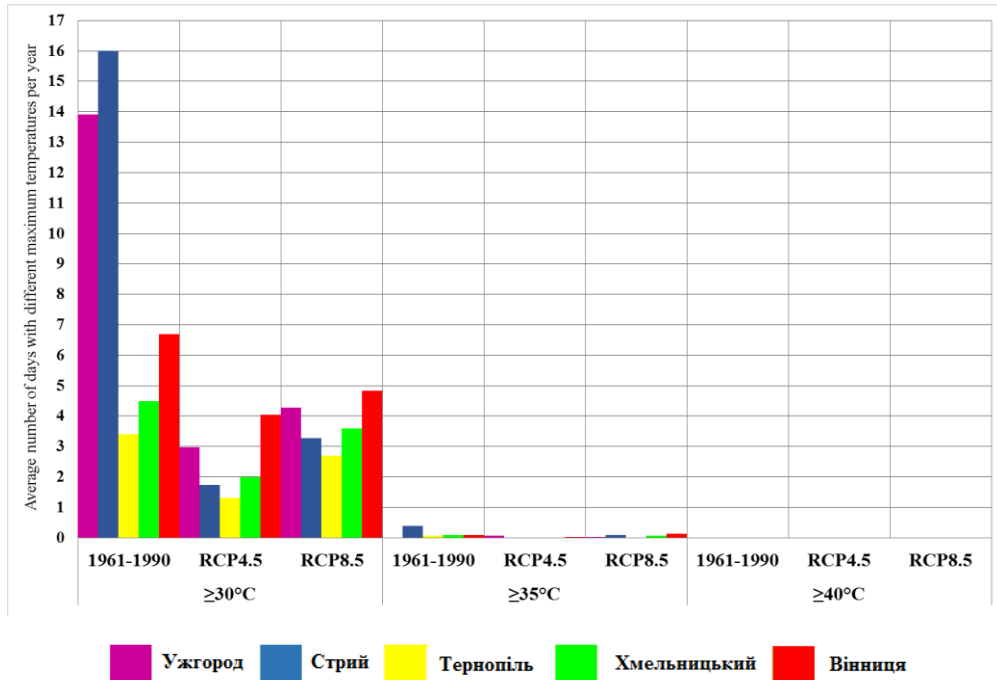


Рисунок 3.7 – Кількість днів з вищими за певні межі середньодобовими максимальними температурами за період 2021-2050 рр. та максимальними температурами за період 1961-1990 рр. для автошляху № 1 (а) та для автошляху № 2 (б)

Для деяких регіонів України виявлено зростання кількості днів з максимальною температурою  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  порівняно з кліматичною нормою для спекотних днів. Наприклад, для м. Одеса та м. Вознесенськ, тобто для південних районів України.

В м. Харків та м. Дніпро, навпаки спостерігається зменшення кількості днів з максимальними температурами  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ .

Для автошляху № 2, як і для м. Харків та м. Дніпро, відбувається зменшення кількості днів. Для м. Ужгород та м. Стрий кількість таких днів зменшується в кілька разів.

Зростання кількості днів з максимальною температурою  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  порівняно з кліматичною нормою спостерігається тільки вздовж автошляху № 1. За сценарієм RCP8.5 зростання є більшим, ніж за сценарієм RCP4.5 також для території всієї України. Найбільш інтенсивне зростання кількості днів з середньою максимальною температурою  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  має місце в південних та східних районах України.

Збільшення кількості днів з середньодобовою максимальною температурою  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  на більшу величину відбувається за сценарієм RCP8.5. Враховуючи, що  $35^{\circ}\text{C}$  є межовим значенням для визначення спекотних днів в південних регіонах, то можна вважати для цих районів сценарій RCP8.5 є більш екстремальним, ніж сценарій RCP4.5.

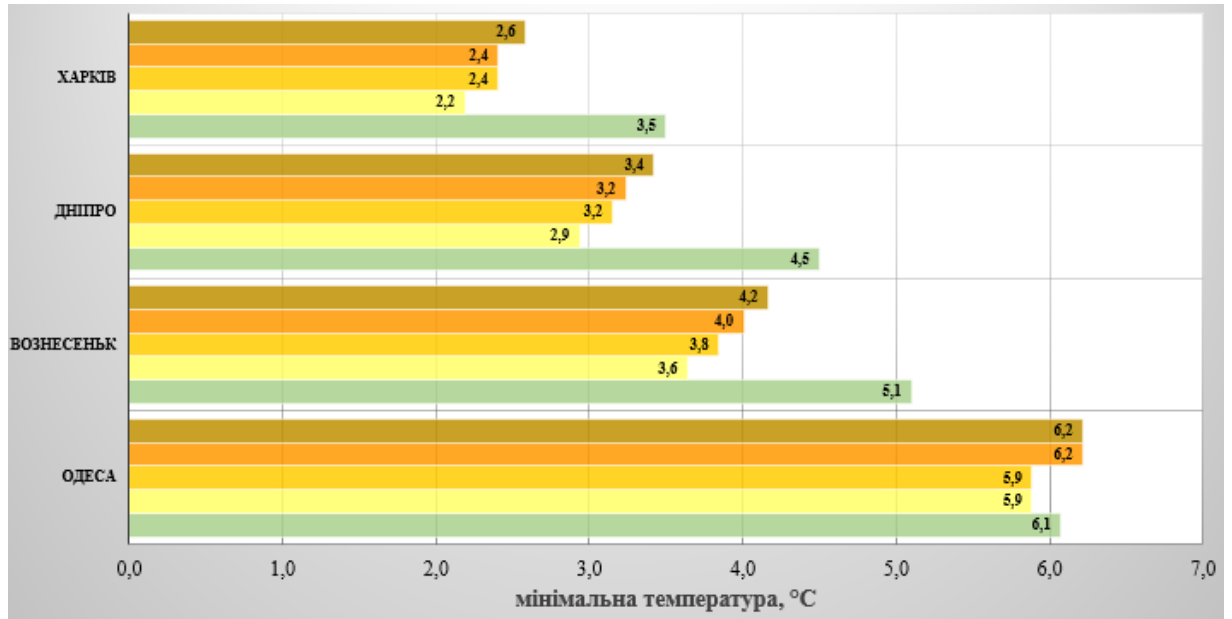
### 3.1.3 Мінімальна температура повітря

На рис. 3.8а та 3.8б представлено зміну багаторічної середньої мінімальної температури повітря уздовж двох автотрас України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за періоди 1961–1990 рр., 2011–2050 рр. та 2021–2050 рр.

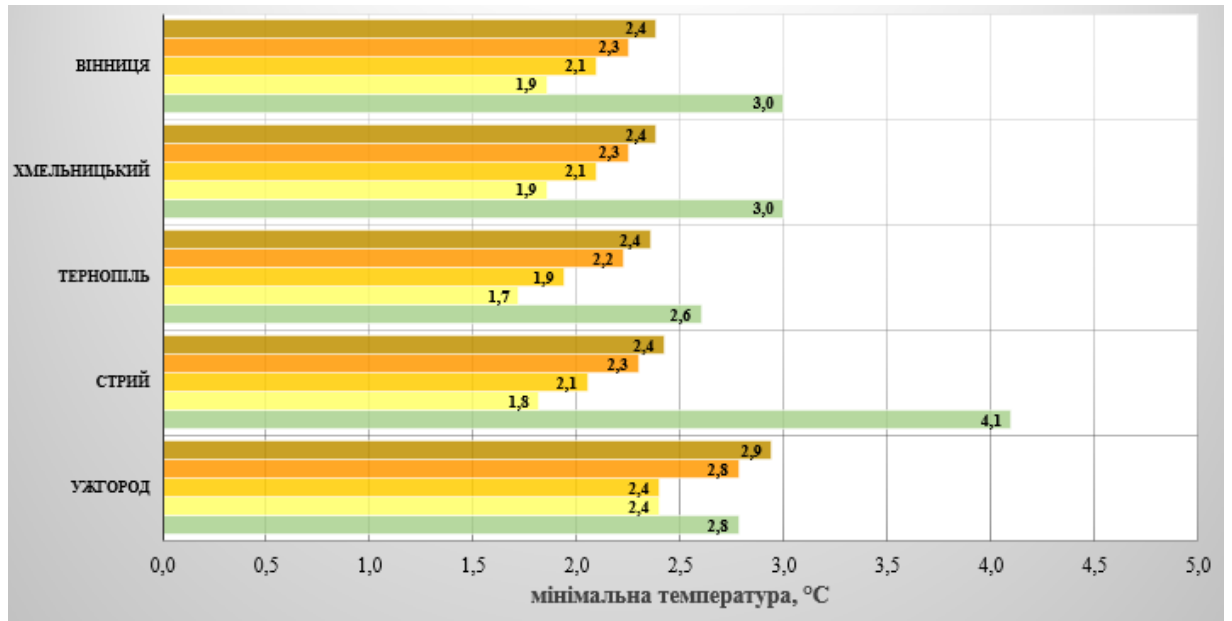
Можна бачити, що за обома сценаріями річна середньодобова мінімальна температура збільшується, причому найбільше зростання температури відбувається за сценарієм RCP8.5 для періоду 2021–2050 рр. Виходячи з того, що за обома сценаріями річна середньодобова мінімальна температура є більшою для періоду 2021–2050 рр., ніж для періоду 2011–2050 рр., можна зробити висновок, що основне підвищення температури припадатиме на період 2021–2050 рр.

Проте, слід зауважити дуже цікаву тенденцію, яка не спостерігається для зміни річної середньодобової максимальної температури та річної середньодобової температури: практично для всіх пунктів, що розглядається, підвищення мінімальної температури не перевищує кліматичну норму, виключаючи ст. Ужгород.

(a)



(б)



■ 1961-1990 ■ 2011-2050 RCP4.5 ■ 2011-2050 RCP8.5

Рисунок 3.8 – Середньорічна мінімальна температура за періоди 1961–1990, 2011–2050 та 2021–2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 1 (а), № 2 (б)

Різниця між найбільшим та найменшим значеннями річної мінімальної температури за обома сценаріями становить приблизно  $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$ . В той самий час перевищення кліматичної норми над значеннями річної мінімальної температури за періоди 2011–2050 та 2021–2050 рр. може сягати  $1,0-2,0^{\circ}\text{C}$ .

Зміна мінімальної температури є найбільшою для автотраси № 1, яка орієнтована у меридіональному напрямку, та найменшою для автотраси № 2, напрям якої є практично зональним.

На рис. 3.9 представлено динаміку кількості днів з середньодобовими мінімальними температурами, які є нижчими за певні порогові значення або рівними їм. За такі порогові значення було обрано  $-10, -15, -20, -25$  та  $-30^{\circ}\text{C}$ .

За обома сценаріями не спостерігаються дні, в які температура є нижче або дорівнює  $-30^{\circ}\text{C}$ . Дуже не часто спостерігаються дні з середньою добовою температурою, нижчою від  $-25^{\circ}\text{C}$ , проте, такі дні мали місце за сценарієм RCP4.5 у Дніпрі та Харкові у  $0,01\%$  всіх днів у році. За сценарієм RCP8.5 такі дні не спостерігаються взагалі.

Мінімальні температури  $\leq 15^{\circ}\text{C}$  та  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  спостерігаються в усіх містах, що розглядаються, проте кількість днів з такими температурами зменшується порівняно з кліматичною нормою.

Для м. Харків (Східна Україна), м. Дніпро (Центральна Україна), спостерігається збільшення днів з середньодобовими мінімальними температурами  $\leq 15^{\circ}\text{C}$  та  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  за сценарієм RCP8.5, ніж за сценарієм RCP4.5.

Період з від'ємними температурами та температурою  $0^{\circ}\text{C}$  за сценарієм RCP4.5 лишається сталим для м. Дніпро, збільшується на 2,4 дні для Харкова та суттєво зменшується на 6,2 дні для м. Одеса. За сценарієм RCP8.5 відбувається скорочення холодного періоду порівняно з сценарієм RCP4.5 на 1-4 дні, проте, порівняно с періодом 1961-1990 рр. скорочення відбулось лише для м. Одеса та м. Дніпропетровськ, а для м. Харків спостерігається збільшення на 0,8 дні.

Для всіх інших станцій кількість днів мінімальні температури з середньодобовими мінімальними температурами  $\leq 15^{\circ}\text{C}$  та  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  за сценарієм RCP4.5 більша, ніж за сценарієм RCP8.5.

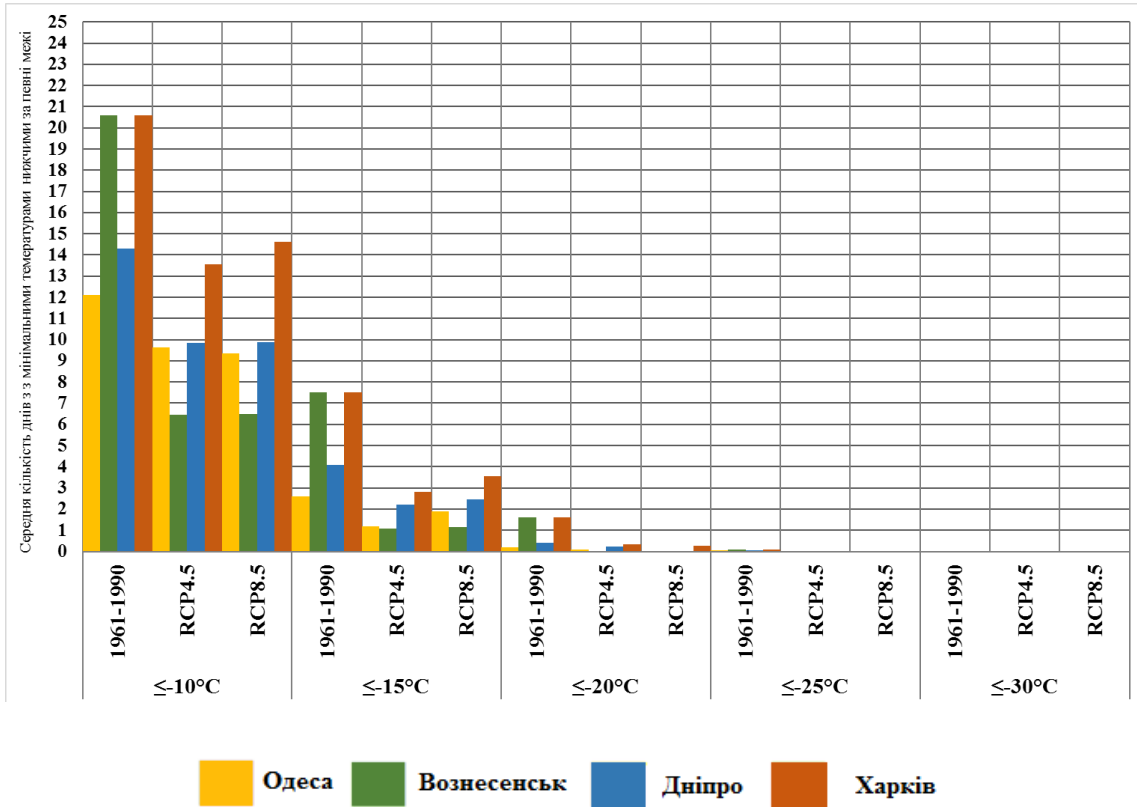
Кількість днів з температурами  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  на рік не перевищує 20 днів, причому для автотраси № 2 така кількість днів є не більшою за 10.

Тенденції в зміні кількості днів з мінімальними температурами нижчими за певні межі лишаються однаковими.

Хоча за сценарієм RCP8.5 відбувається суттєве зменшення днів з середніми мінімальними температурами меншими за певні межі, проте, більшість днів найнижчими температурами, має місце саме за цим сценарієм.



(а)



(б)

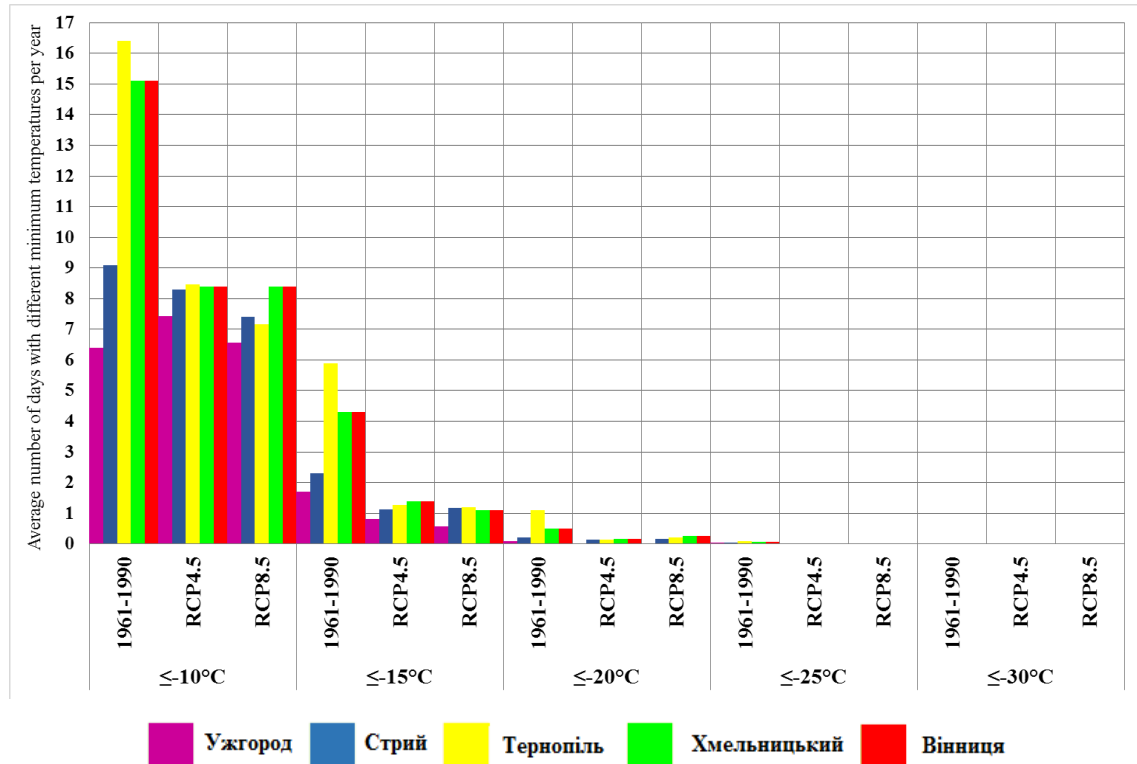
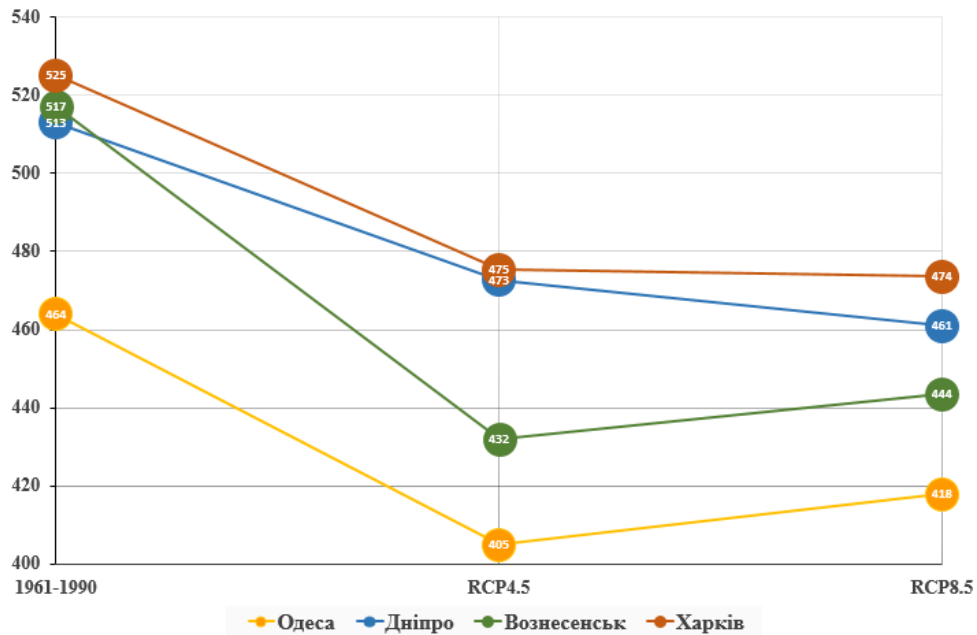


Рисунок 3.9 – Кількість днів з нижчими за певні межі середньодобовими мінімальними температурами за період 2021–2050 рр. та мінімальними температурами за період 1961–1990 рр. для автошляхів № 1 (а), № 2 (б)

### 3.2 Атмосферні опади

На рис. 3.10а та 3.10б представлено багаторічну середню кількість опадів за періоди 1961–1990 рр. та 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

(а)



(б)

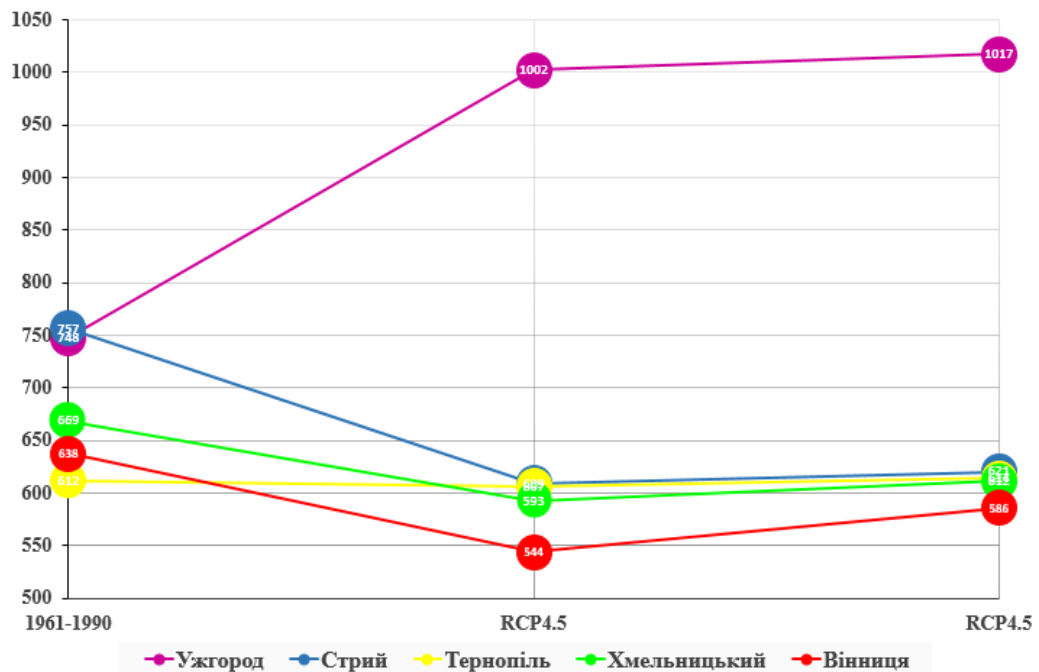


Рисунок 3.10 – Середня річна кількість опадів за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1 (а) та № 2 (б)

Уздовж всього першого шляху за обома сценаріями відбувається зменшення кількості опадів приблизно на 10% (рис. 3.10а і 3.10б). Розподіл опадів між теплим та холодним періодами або лишається незмінним порівняно з кліматичною нормою (м. Одеса та м. Дніпро), або має місце збільшення кількості опадів взимку (м. Вознесенськ та м. Харків), проте, все одно, кількість опадів влітку є більшою (табл. 3.1).

Порівняно з кліматичною нормою уздовж всього шляху №2 за обома сценаріями відбувається зменшення кількості опадів приблизно на 10-20%, виключаючи ст. Ужгород, де в рік випадатиме опадів на 35% більше за обома сценаріями.

Розподіл опадів між теплим та холодним періодами лишається практично незмінним порівняно з кліматичною нормою: більшість опадів (60-70%) випадає у теплий період, що можна пояснити інтенсивною конвекцією в цей період (табл. 3.2).

Рисунки 3.11а та 3.11б надають інформацію про середню кількість днів з кількістю опадів вищою за певні межі для періодів 1961–1990 рр. та 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

На рис. 3.12а та 3.12б представлено середню кількість днів за рік з опадами у різному фазовому стані для періодів 1961–1990 рр. та 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

Уздовж траси № 1 середня кількість опадів на рік за усіма сценаріями зменшується на 10-17%, як і в період 1961-1990 рр. Найбільше зменшення кількості опадів за рік відбувається в м. Одеса та м. Вознесенськ (більше, ніж на 10%). Згідно зі сценарієм RCP4.5 зменшення опадів є більшим, ніж за сценарієм RCP8.5. За обома сценаріями більша частина опадів (від 55 до 60%) випадає в теплий період.

За обома сценаріями уздовж автошляху №1 спостерігається збільшення кількості днів з опадами  $\geq 0,1$ ,  $\geq 0,5$  та  $\geq 1,0$  мм/доба, тобто з незначною кількістю опадів. Починаючи зі значення 5,0 мм/доба кількість днів порівняно з кліматичною нормою зменшується, проте, екстремальна кількість опадів ( $\geq 30$  мм/доба) має місце. За сценарієм RCP8.5 спостерігається менша кількість днів з незначними опадами, проте, більша кількість днів з суттєвими опадами ( $\geq 5,0$  мм/доба).

Через підвищення температури та зменшення кількості опадів за обома сценаріями у зимовий період різко зменшується кількість твердих опадів, проте, зростає кількість змішаних опадів, особливо за сценарієм RCP4.5.

Таблиця 3.1 – Середня кількість опадів (%) за холодний та теплий періоди і рік відповідно до кліматичної норми та сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 для автошляху № 1

Одеса				Вознесеньк			
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5		1961-1990	RCP4.5	RCP4.5
XI-III	44	44	45	XI-III	36	42	40
IV-X	56	56	55	IV-X	64	58	60
рік	100	87	90	рік	100	84	86
Дніпро				Харків			
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5		1961-1990	RCP4.5	RCP4.5
XI-III	41	44	46	XI-III	37	43	44
IV-X	59	56	54	IV-X	63	57	56
рік	100	92	90	рік	100	91	90

Таблиця 3.2 – Середня кількість опадів (%) за холодний та теплий періоди і рік відповідно до кліматичної норми та сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 для автошляху № 2

Ужгород				Стрий			
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5		1961-1990	RCP4.5	RCP4.5
XI-III	38	42	42	XI-III	26	29	29
IV-X	62	58	58	IV-X	74	71	71
рік	100	134	136	рік	100	80	82
Тернопіль				Хмельницький			
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5		1961-1990	RCP4.5	RCP4.5
XI-III	29	28	29	XI-III	29	31	31
IV-X	71	72	71	IV-X	71	69	69
рік	100	99	100	рік	100	89	91
Вінниця							
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5				
XI-III	31	37	29				
IV-X	69	63	71				
рік	100	85	92				

З табл. 3.2 можна бачити, що за обома сценаріями для більшості станцій автотраси №2 (м. Вінниця, м. Хмельницький, м. Стрий) є зменшення кількості опадів за рік на 920%. Більше зменшення опадів має місце для сценарію RCP4.5. В м. Тернопіль кількість опадів лишається однаковою. Виключенням є м. Ужгород, де спостерігається збільшення кількості опадів приблизно на 35% за обома сценаріями. Це означає, що ситуація для автошляху №2 складається небезпечно, оскільки збільшення опадів в Карпатських горах може викликати небезпечні явища для транспорту, наприклад, сходження селю. Більша частина опадів припадає на теплий період (до 70%), що не відрізняється від даних за період 1961-1990 рр.

За обома сценаріями для станцій автотраси №2 кількість днів з опадами більше  $\geq 0,1$  мм/доба збільшується в 1,5 рази, збільшується (не так суттєво) кількість днів і з опадами  $\geq 0,5$  та  $\geq 1,0$  мм/доба. Для більш інтенсивних опадів ( $\geq 5,0$  мм/доба) спостерігається тенденція схожа з тенденцією для автошляху №1 – зменшення кількості днів, проте для опадів  $\geq 10,0$  мм/доба,  $\geq 20,0$  мм/доба та  $\geq 30,0$  мм/доба тенденція є протилежною: відбувається збільшення кількості днів, особливо для ст. Ужгород. Це підтверджує висновок про небезпечність цього шляху для транспорту.

Так само як і для шляху №1 відбувається різке збільшення кількості днів зі змішаними опадами та зменшення кількості днів з рідкими опадами. На ст. Ужгород є помітним також збільшення кількості рідких опадів.

Приблизно в 1,5 рази збільшується кількість днів з опадами  $\geq 0,1$  та  $\geq 0,5$  мм/доба, а кількість днів з опадами  $\geq 1,0$  мм/доба зростає приблизно в 1,1 рази. Кількість днів з більш значними опадами зменшується порівняно з періодом 1961-1990 рр. за обома сценаріями.

Кількість рідких опадів для всіх станцій зменшується, особливо для сценарію RCP4.5. Кількість днів з твердими опадами зменшується до 15 (для північних районів) та 5 (південних районів) днів на рік. Приблизно в два рази збільшується повторюваність змішаних опадів.

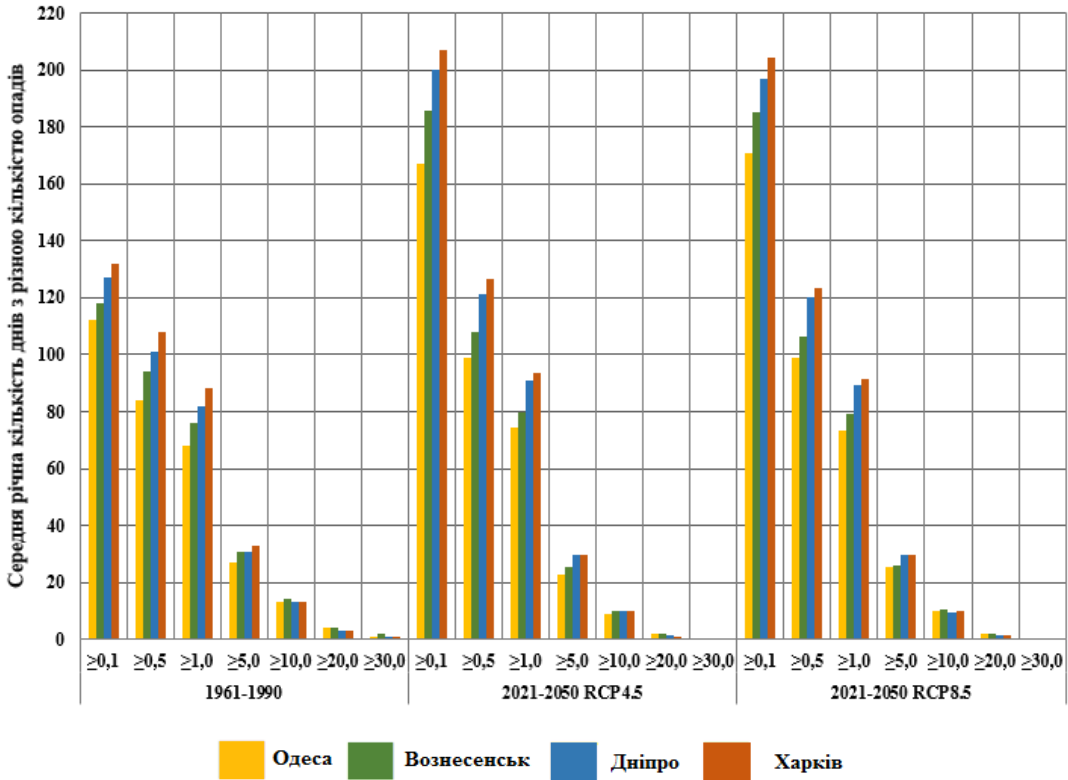
Підбиваючи підсумки, можна зробити висновки, що, в основному, за обома сценаріями спостерігається зменшення річної кількості опадів, виключаючи західні та деякі північні регіони, де має місце збільшення річної кількості опадів на 35%. Зростання опадів, особливо в гірських районах, є небезпечним для транспорту.

Найбільша кількість опадів від 55 до 70% припадає на теплий період.

Для всіх станцій має місце збільшення кількості днів з незначною кількістю опадів ( $\geq 0,1$ ,  $\geq 0,5$  та  $\geq 1,0$  мм/доба), повторюваність інтенсивних опадів для всіх станцій зменшується, проте, екстремальні опади ( $\geq 30,0$  мм/доба) спостерігаються на всіх станціях.

Для всіх станцій зростає кількість змішаних опадів в декілька разів, що є несприятливим фактором для транспортної системи. Кількість твердих опадів, навпаки, зменшується, в південних районах – до декількох днів на рік.

(а)



(б)

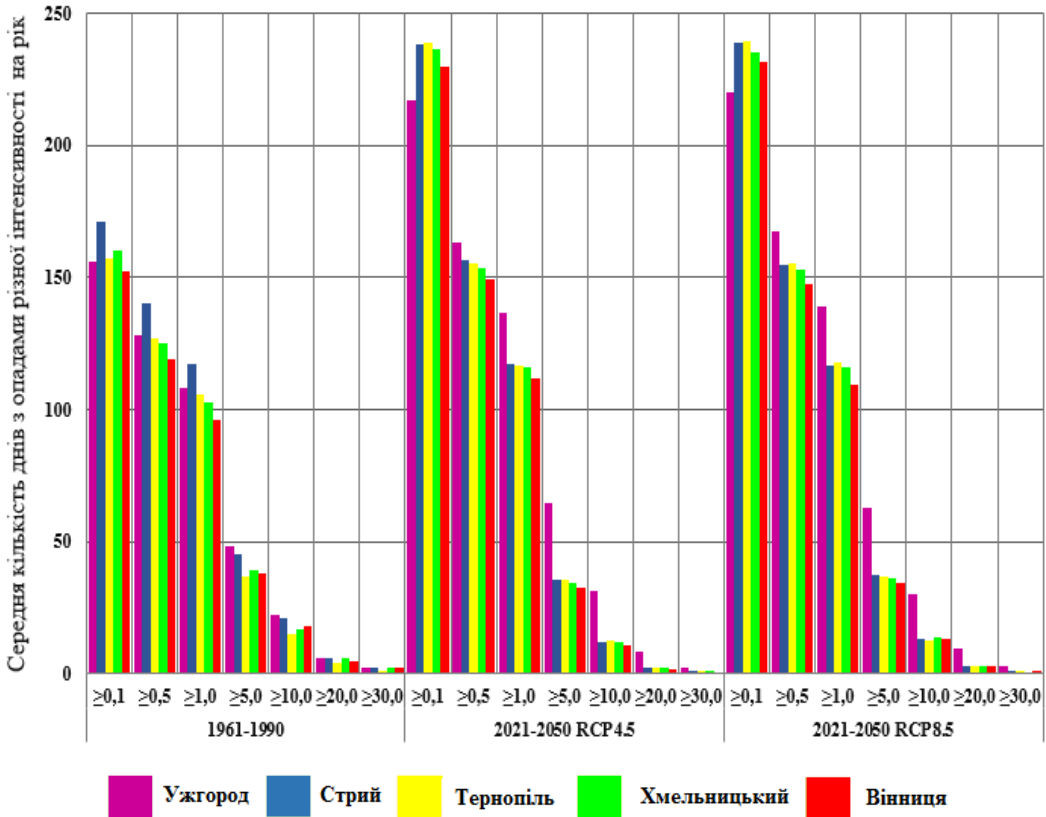
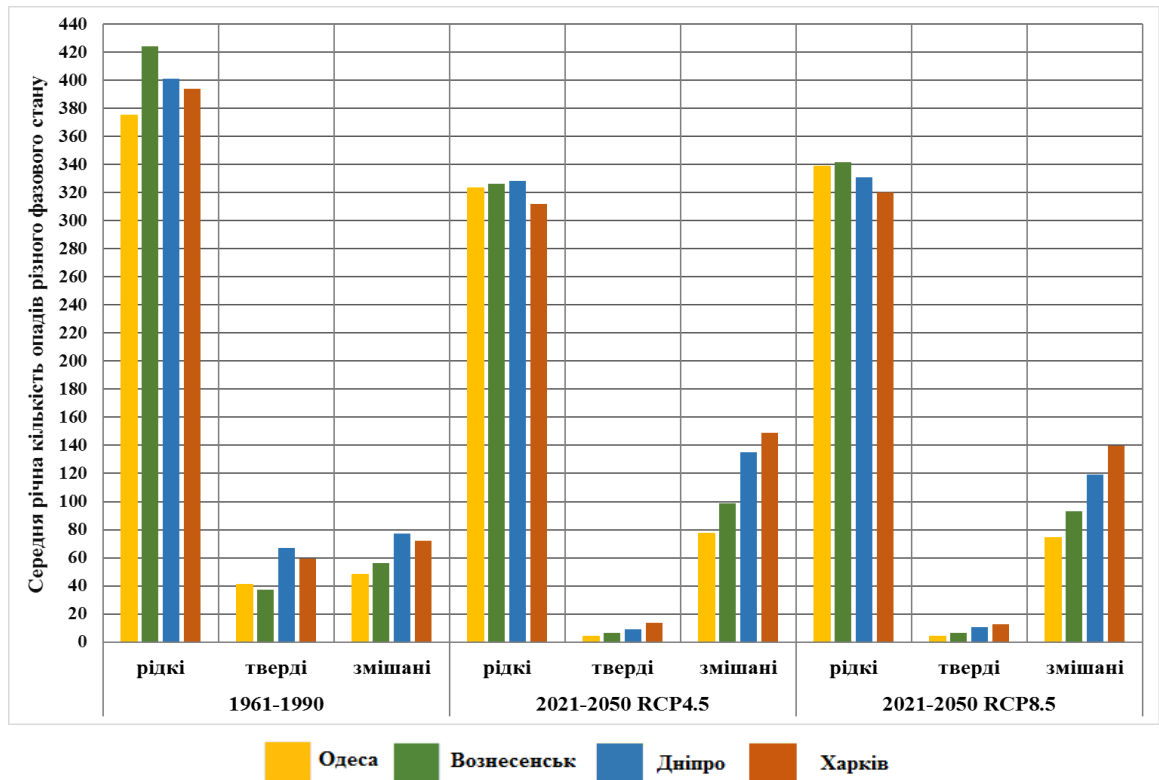


Рисунок 3.11 – Середня кількість днів з кількістю опадів вищою за певні межі за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1 (а) та № 2 (б)

(a)



(б)

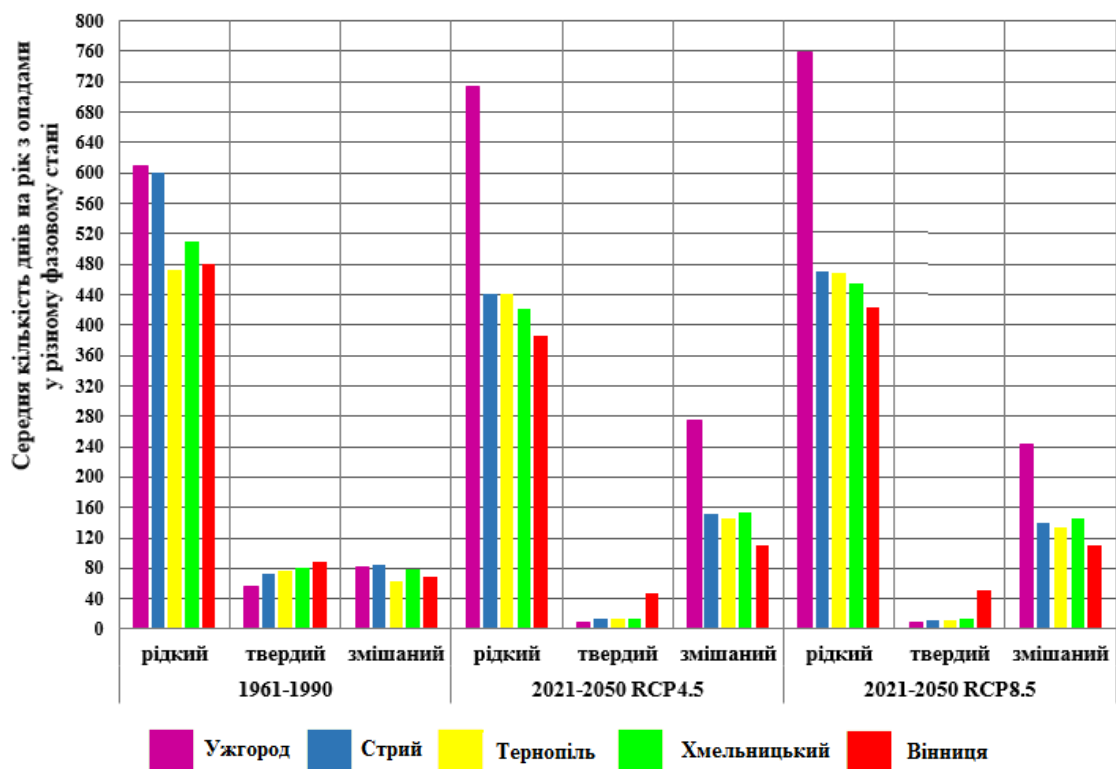


Рисунок 3.12 – Середня кількість днів за рік з опадами у різному фазовому стані за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1 (а) та № 2 (б)

### 3.3 Атмосферні явища

Стан дорожнього покриття поряд з видимістю є однією з найбільш важливих факторів, які впливають на безперебійне функціонування транспортної системи.

На рис. 3.13а та 3.13б представлено повторюваність (середня кількість днів на рік) метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 та період 1961–1990 рр. За період 1961–1990 рр. доступною була інформація лише про хуртовини та ожеледь.

Найбільшу повторюваність з усіх метеорологічних явищ має мокре покриття. За обома сценаріями його повторюваність є найбільшою в травні та червні – приблизно 50% всіх днів за цей період. Такий результат можна пояснити інтенсифікацією зливових опадів.

В зимові та перехідні сезони року за обома сценаріями повторюваність метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, дуже висока. Їх сумарна повторюваність досягає 60-70%.

В роботі досліджувалась повторюваність таких явищ, як ожеледь, снігова суга, яка включає і зернисту, і льодяну сугу, сніговий накат та ожеледиця. Сніговий накат утворюється при наявності на дорожньому покритті снігу від снігопадів та хуртовин.

Через збільшення змішаних опадів збільшується порівняно з кліматичним періодом повторюваність таких явищ як ожеледь. Уздовж всіх трас спостерігається зростання повторюваності ожеледі приблизно в 23 рази, виключаючи південні станції, а саме м. Одеса на яких має місце зменшення кількості випадків ожеледі приблизно в 2 рази.

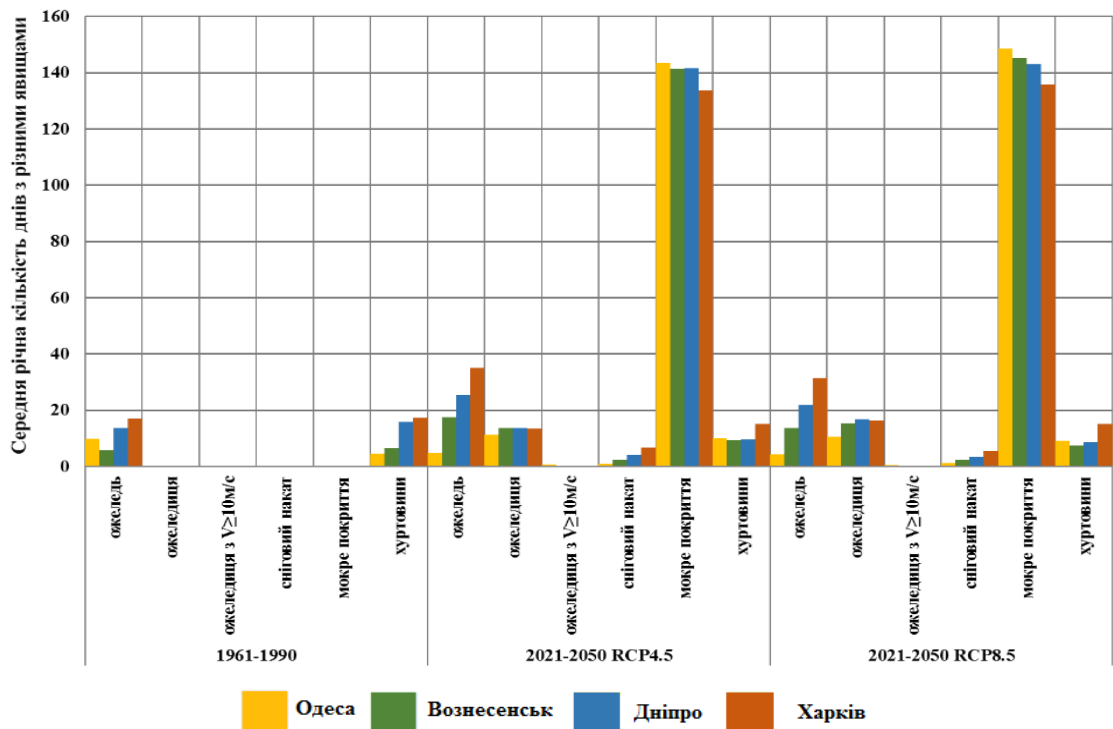
Незважаючи на зменшення повторюваності твердих опадів для всіх станцій України, на всіх автошляхах в зимовий період спостерігається хуртовина, яка є досить небезпечним явищем на дорогах через погіршення видимості насамперед. Порівняно з кліматичною нормою за обома сценаріями в м. Одеса, м. Вознесенськ (автошлях №1), м. Ужгород (автошлях №2) відбувається збільшення повторюваності хуртовин. Це можна пояснити збільшенням швидкості вітру у зимовий період.

Найменшу повторюваність з усіх явищ, які розглядаються має ожеледиця зі швидкістю вітру  $\geq 10$  м/с.

Для усіх явищ, виключаючи ожеледь, сценарій RCP8.5 є найекстремальнішим, оскільки повторюваність явищ за цим сценарієм є більшою.



(а)



(б)

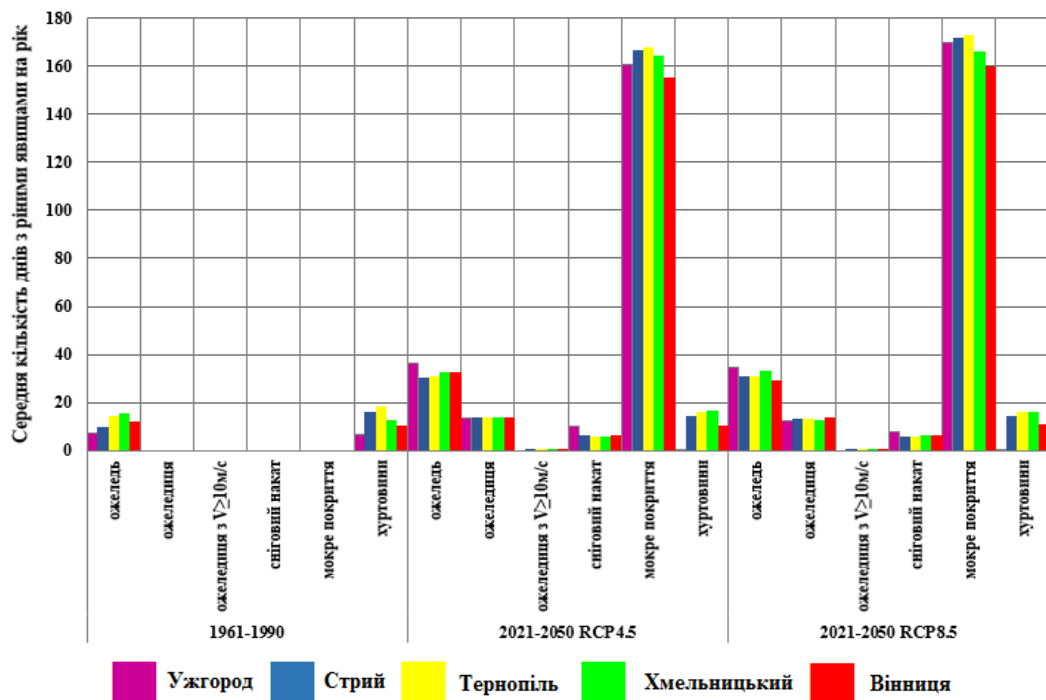


Рисунок 3.13 – Середня кількість днів за рік з різними явищами за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1 (а) та № 2 (б)

### 3.4 Швидкість вітру

На рис. 3.14а та 3.14б представлено зміну багаторічної середньої швидкості вітру уздовж автотрас за періоди 1961–1990 рр. та 2011–2050 рр., 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

На рис. 2.16 представлено кількість днів з максимальною швидкістю вітру  $\geq 10$ , 15, 25 та 40 м/с за період 1961–1990 рр. та з середньою максимальною швидкістю вітру  $\geq 10$ , 15, 25 та 40 м/с за період 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Слід зауважити, що кількість днів з максимальною швидкістю вітру в кліматичних довідниках визначається на основі абсолютного максимуму швидкості вітру, а не максимальної середньодобової швидкості, тому результати, отримані в роботі є заниженими порівняно з кліматичною нормою.

Уздовж траси №1 середня швидкість вітру в періоди 2011–2050 рр., 2021–2050 рр. збільшується на 0,1–0,5 м/с порівняно з кліматичною нормою для ст. Харків та Одеса. На ст. Вознесенськ спостерігається сильне зростання швидкості вітру за сценарієм RCP8.5 на 3,6 м/с, а на ст. Дніпро, навпаки, спостерігається зменшення швидкості вітру на 0,8 м/с.

За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 має місце однакова кількість днів з середньодобовою максимальною швидкістю вітру більшою за  $\geq 10$ , 15, 25 та 40 м/с, більша кількість днів зі швидкістю  $\geq 10$  м/с, дні зі швидкістю  $\geq 25$  м/с не спостерігаються взагалі.

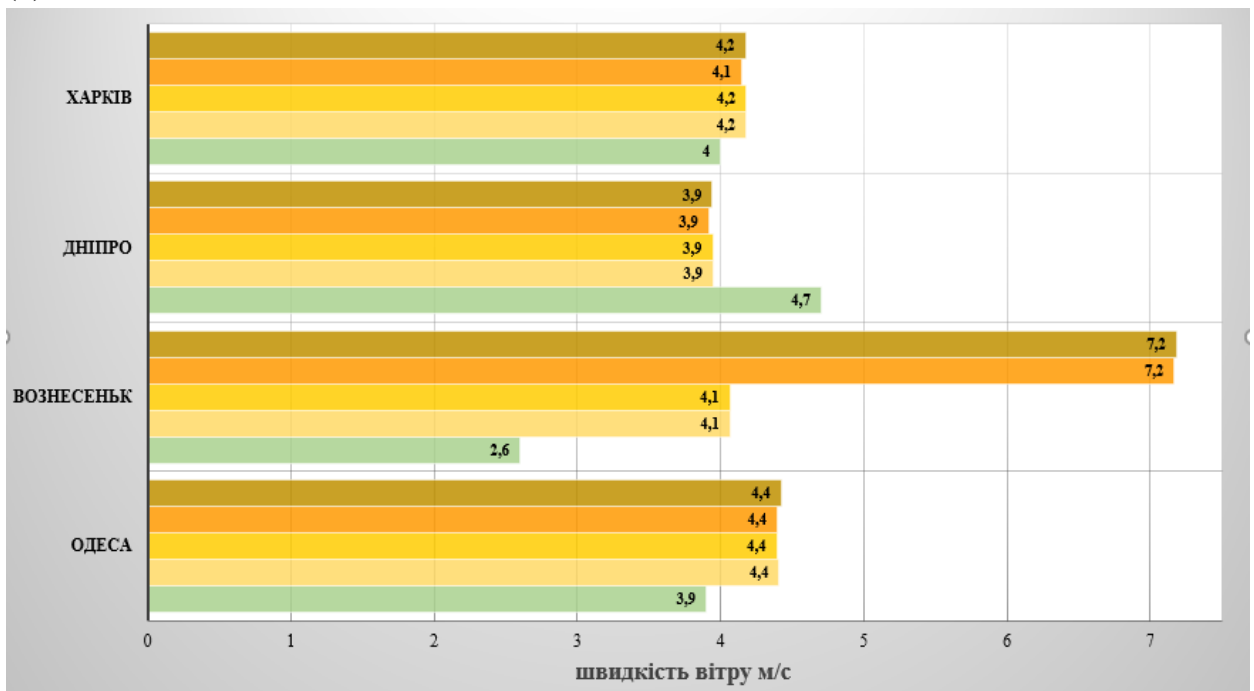
Автотраса № 2 характеризується підвищенням середньої швидкості вітру порівняно з кліматичною нормою приблизно на 1 м/с уздовж всієї траси, особливо вирізняється ст. Стрий, де зростання швидкості вітру складає 1,5 м/с. Виключення становить ст. Ужгород, на якій швидкість вітру зменшується на 0,1 м/с.

Найбільша кількість днів за обома сценаріями припадає на швидкості вітру  $\geq 10$  м/с – приблизно 30 днів для всіх станцій, виключаючи ст. Ужгород, де кількість таких днів практично не спостерігається (становить менше 5 діб).

З проведеного аналізу можна бачити, що середня річна швидкість вітру зростає по всій території України за обома сценаріями, виключаючи тільки ст. Дніпро та м. Чернівці. Найбільше зростання швидкості вітру відбувається у північних та південних районах України.

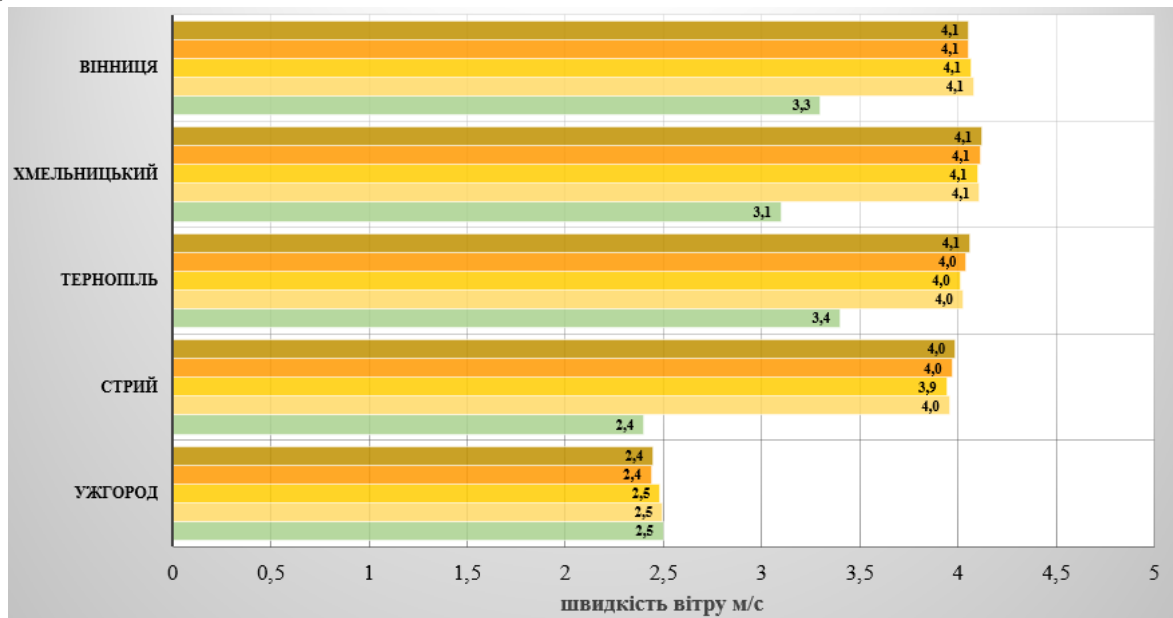
Слід зауважити, що результати за періоди 2011–2050 рр. та 2021–2050 рр. є практично однаковими за обома сценаріями, що вказує на те, що середні значення швидкості вітру є практично однаковими на протязі періоду 2011–2050 рр.

(a)



■ 1961-1990 
 ■ 2011-2050 RCP4.5 
 ■ 2021-2050 RCP4.5 
 ■ 2011-2050 RCP8.5 
 ■ 2021-2050 RCP8.5

(б)



■ 1961-1990 
 ■ 2011-2050 RCP4.5 
 ■ 2021-2050 RCP4.5 
 ■ 2011-2050 RCP8.5 
 ■ 2021-2050 RCP8.5

Рисунок 3.14 – Середньорічна швидкість вітру за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1 (а) та № 2 (б)

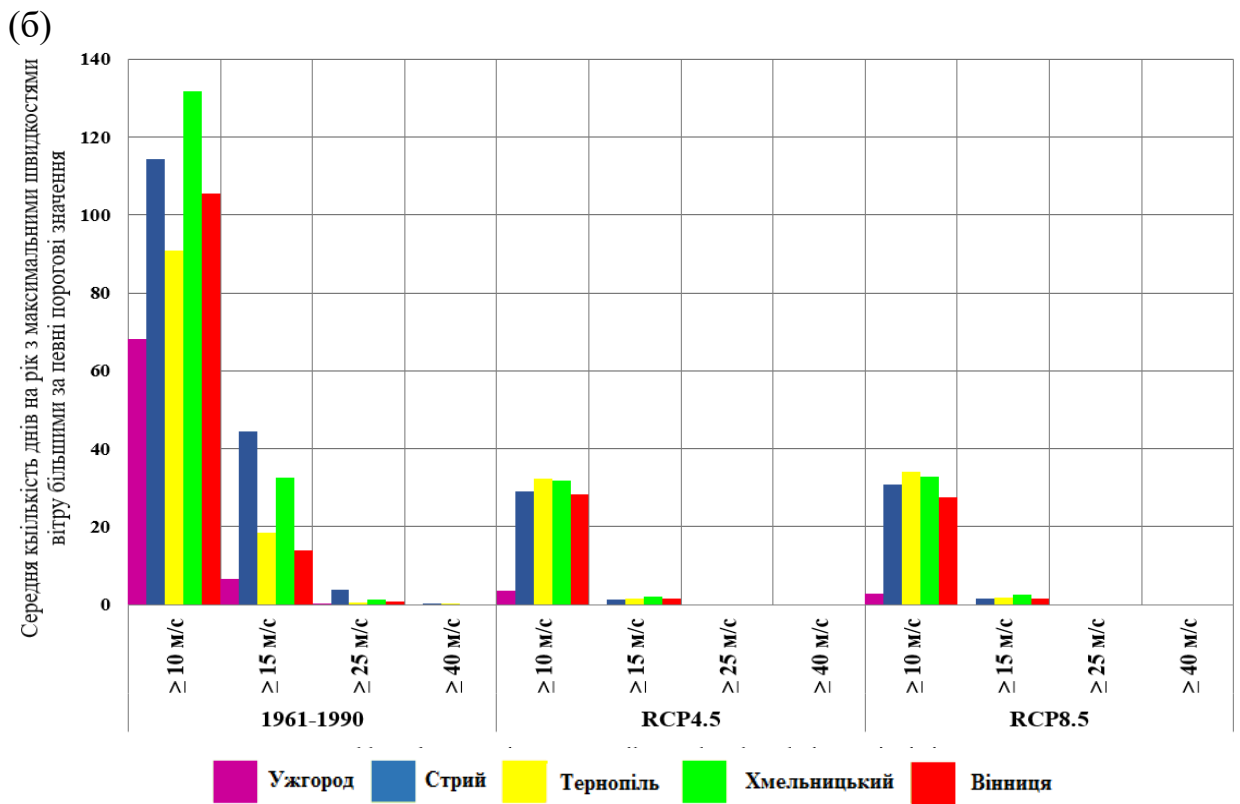
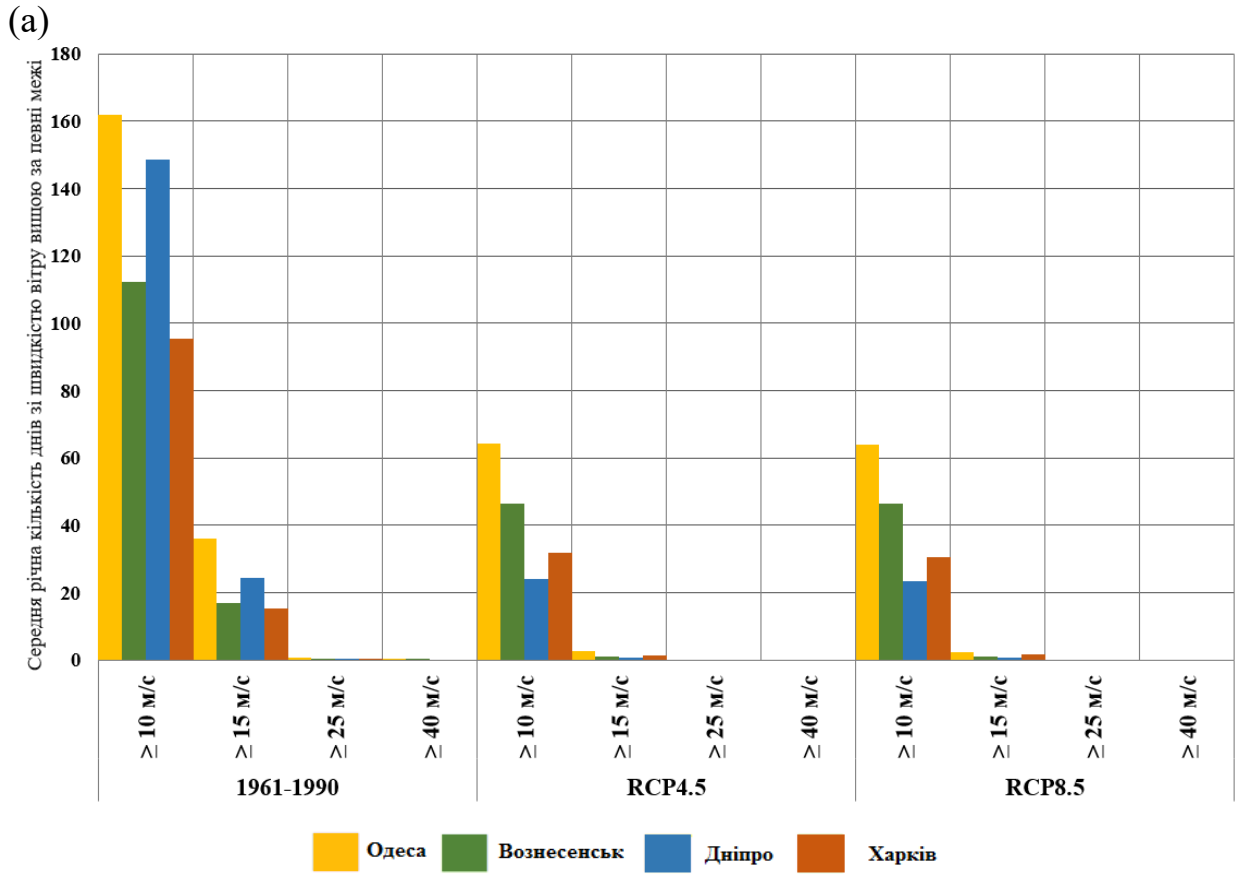


Рисунок 3.15 – Середня кількість днів за рік з максимальною швидкістю вітру вищою за певні межі за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1 (а) та № 2 (б)

По всій території України не спостерігається жодного разу середньодобова швидкість  $\geq 25$  м/с, вкрай нечасто мають місце швидкості вітру  $\geq 15$  м/с, а кількість днів зі швидкістю  $\geq 10$  м/с коливається в середньому в межах від 30 до 50. Проте, такі швидкості вітру не становлять небезпеку для транспортної системи.

### 3.5 Соціальні та економічні ризики

В табл. 3.3–3.4 представлено соціальні та економічні ризики внаслідок таких небезпечних явищ, як сильний дощ, сильний вітер, сильний мороз та сильна спека для 9 областей України.

В табл. 3.7 представлено інформацію щодо соціальних та економічних ризиків внаслідок небезпечних явищ, що й в таблицях 3.3–3.7, тільки для автошляхів, які розглядаються в роботі.

Таблиця 3.3 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021–2050 рр. внаслідок сильного дощу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		$R_{\text{соц}}$ , тис. чоловік	$R_{\text{ек}}$ , тис. грн	$R_{\text{соц}}$ , тис. чоловік	$R_{\text{екон}}$ , тис. грн
1	Вінницька область	3.82	15.90	2.55	5.65
2	Дніпропетровська область	4.31	26.35	2.16	5.27
3	Закарпатська область	160.53	14456.90	12.51	70.23
4	Львівська область	85.36	4986.76	21.95	263.83
5	Миколаївська область	0.00	0.00	2.99	12.20
6	Одеська область	4.53	25.20	4.53	20.17
7	Тернопільська область	6.51	29.65	8.13	37.06
8	Харківська область	3.64	14.94	5.46	26.90
9	Хмельницька область	6.62	45.15	3.97	13.01

Обидві таблиці було отримано на підставі даних за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5, в яких були доступними лише середньодобові дані. Тому

соціальні та економічні ризики для сильної спеки та сильного морозу можуть бути заниженими, оскільки періоди сильного морозу та сильної спеки визначаються за абсолютною мінімальною та максимальною температурами, а не середньодобовою, а в якості межових значень було обрано значення для екстремальних температур.

Таблиця 3.4 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021–2050 рр. внаслідок сильного вітру за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		$R_{\text{соц}}$ , тис. чоловік	$R_{\text{ек}}$ , тис. грн	$R_{\text{соц}}$ , тис. чоловік	$R_{\text{екон}}$ , тис. грн
1	Вінницька область	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Дніпропетровська область	0.00	0.00	15.80	0.64
3	Закарпатська область	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Львівська область	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Миколаївська область	7.30	0.17	7.30	0.17
6	Одеська область	33.24	2.46	22.16	1.10
7	Тернопільська область	11.92	0.18	0.00	0.00
8	Харківська область	0.00	0.00	26.70	1.46
9	Хмельницька область	0.00	0.00	9.71	0.18

Таблиця 3.5 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021–2050 рр. внаслідок сильного морозу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		$R_{\text{соц}}$ , тис. чоловік	$R_{\text{ек}}$ , тис. грн	$R_{\text{соц}}$ , тис. чоловік	$R_{\text{екон}}$ , тис. грн
1	Вінницька область	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Дніпропетровська область	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Закарпатська область	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Львівська область	0.00	0.00	0.00	0.00

5	Миколаївська область	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Одеська область	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Тернопільська область	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Харківська область	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Хмельницька область	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблиця 3.6 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021–2050 рр. внаслідок сильної спеки за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		Р <sub>соц</sub> , тис. чоловік	Р <sub>екон</sub> , тис. грн	Р <sub>соц</sub> , тис. чоловік	Р <sub>екон</sub> , тис. грн
1	Вінницька область	14.56	0.27	58.23	4.31
2	Дніпропетровська область	1691.53	3929.03	2374.08	7739.54
3	Закарпатська область	22.93	0.72	11.47	0.18
4	Львівська область	1193.95	1381.84	2250.15	4907.99
5	Миколаївська область	538.77	622.87	750.05	1207.18
6	Одеська область	738.28	620.15	1020.56	1185.04
7	Тернопільська область	378.18	224.04	785.46	966.44
8	Харківська область	11372.48	143410.28	10139.03	113988.78
9	Хмельницька область	0.00	0.00	23.57	0.86

Період сильного вітру визначається також за абсолютною, а не середньодобовою максимальною швидкістю, тому в якості межового значення було обрано 20 м/с.

Таким чином, оцінки ризиків зроблені в роботі слід вважати попередніми оцінками і такими, що потребують уточнення.

З табл. 3.3–3.4 можна бачити, що найбільші соціальні та економічні ризики мають місце при сильній спеці, від якої потерпають за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 всі області України, виключаючи Хмельницьку область (за сценарієм RCP4.5 спекотні днів не спостерігаються, а за сценарієм RCP8.5 отримано найменші ризики з усіх областей України). Найбільше від періодів спеки постраждає Харківська область.

Найменшу небезпеку для території України в період 2021-2050 рр. становить сильний мороз. Ризики, отримані за сценарієм RCP8.5 є більшими.

Сильний вітер також не так часто спостерігається на території України.

Досить часто в Україні має місце сильний дощ. Це явище за обома сценаріями має місце в усіх областях, виключаючи Миколаївську область (в цій області за сценарієм RCP4.5 сильного дощу не спостерігається). Найбільше потерпає від сильного дощу Закарпатська область.

Слід зауважити, що найбільш екстремальними районами України в період 2021–2050 рр. стають західний та східний регіони.





З табл. 3.7 можна бачити, що транспортні системи автотраси №1 найбільше потерпатимуть від сильної спеки, а найменше від сильного морозу (для траси №1 це явище взагалі не спостерігається не спостерігається). Для автотраси №2 – найбільш небезпечним явищем буде сильний дощ, а найменш небезпечним – сильний мороз (не спостерігається).

Загальна сума ризику є найбільшою для траси №1 через високу повторюваність спеки.

## ВИСНОВКИ

В роботі було проаналізовано вплив кліматичних змін на режим роботи транспорту уздовж 2 автошляхів "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків", "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород".

База даних містила ряди середньодобових значень температури, кількості змішаних або рідких опадів, кількості опадів твердої фази, відносної вологості та швидкості вітру, отриманих за період 2011–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для 9 міст України.

Як за сценарієм RCP4.5, так і за сценарієм RCP8.5 відбувається суттєве потепління клімату, яке виявляється у суттєвому збільшенні середньомісячних та середніх річних температур для всіх міст, що розглядаються.

Для всіх пунктів спостерігається єдина загальна риса у характері змін температури в обох сценаріях – збільшення амплітуди змін температури та зсув температури як в область низьких так і в область високих значень порівняно з періодом 1961-1990 рр.

Порівняно з січнем амплітуда змін температури в липні збільшується в кілька разів за обома сценаріями, тому влітку вплив погодних умов на транспортну систему є більш інтенсивною.

Оскільки влітку найбільш небезпечними є високі температури, то в незалежності від різниці в змінах температур уздовж різних трас, більш небезпечним для всіх трас є сценарій RCP4.5.

Найбільший внесок у збільшення температури відбуватиметься у період 2021-2050 рр., тобто температура з часом підвищуватиметься. Також це свідчить про те, що повторюваність екстремально високих температур з часом зростатиме.

Зростання кількості днів з максимальною температурою  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  порівняно з кліматичною нормою спостерігається в усіх регіонах України. За сценарієм RCP8.5 зростання є більшим, ніж за сценарієм RCP4.5 також для території всієї України. Найбільш інтенсивне зростання кількості днів з максимальною температурою  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  має місце в південних та східних районах України. Для південних районів України межовим значенням для виявлення спекотних днів є  $35^{\circ}\text{C}$ , з чого можна зробити висновок, що для південних регіонів більш екстремальним є також сценарій RCP8.5.

За обома сценаріями спостерігається зменшення річної кількості опадів, виключаючи західні та деякі північні регіони, де має місце збільшення річної кількості опадів на 35%. Зростання опадів, особливо в гірських районах, є небезпечним для транспорту.

Найбільша кількість опадів від 55 до 70% припадає на теплий період.

Для всіх станцій має місце збільшення кількості днів з незначною кількістю опадів ( $\geq 0,1$ ,  $\geq 0,5$  та  $\geq 1,0$  мм/доба), повторюваність інтенсивних опадів для всіх станцій зменшується, проте, екстремальні опади ( $\geq 30,0$  мм/доба) спостерігаються на всіх станціях.

Для всіх станцій зростає кількість змішаних опадів в декілька разів, що є несприятливим фактором для транспортної системи. Кількість твердих опадів, навпаки, зменшується, в південних районах – до декількох днів на рік.

Через збільшення змішаних опадів збільшується порівняно з кліматичним періодом повторюваність таких явищ як ожеледь. Уздовж всіх трас спостерігається зростання повторюваності ожеледі приблизно в 23 рази, виключаючи південні станції, а саме м. Одеса, на яких має місце зменшення кількості випадків ожеледі приблизно в 2 рази.

Також є високою повторюваність хуртовин, незважаючи на зменшення твердих опадів.

Найменшу повторюваність з усіх явищ, які розглядаються має ожеледиця зі швидкістю вітру  $\geq 10$  м/с.

Середня річна швидкість вітру зростає по всій території України за обома сценаріями, виключаючи тільки ст. Дніпро. Найбільше зростання швидкості вітру відбувається у північних та південних районах України.

Слід зауважити, що результати за періоди 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. є практично однаковими за обома сценаріями, що вказує на те, що середні значення швидкості вітру є практично однаковими на протязі періоду 2011-2050 рр.

По всій території України не спостерігається жодного разу середньодобова швидкість  $\geq 25$  м/с, вкрай нечасто мають місце швидкості вітру  $\geq 15$  м/с, а кількість днів зі швидкістю  $\geq 10$  м/с коливається в середньому в межах від 30 до 50. Проте, такі швидкості вітру не становлять небезпеку для транспортної системи.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Васильев А. П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях.—М.: Транспорт, 1976, 224 с.
2. Волкова М.А., Чередыко Н.Н., Ивашкова О.А. Особенности формирования и социально-экономические последствия температурных рисков в Томской области. – Вестник Томского государственного университета, 2013, № 374, С. 180–187.
3. Государственная служба статистики Украины. Статистический сборник "Регионы Украины". Часть 1-я. Киев 2014. Ответственный за выпуск Н.С. Власенко. -
4. Дерев'яга О.О., Хоменко І.А. Динаміка хвиль тепла на території України в контексті сучасних змін клімату. Матеріали науково-практичної конференції з підведення підсумків II туру Всеукраїнського конкурсу наукових студентських робіт з напрямку „Гідрометеорологія”, 21-23 березня 2016 р., с. 36–39.
5. Клімат України. За редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко/ Видавництво Раєвського. – Київ, 2003. – 343 с.
6. Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961–1990 рр.)/ Державна гідрометеорологічна служба та ін. – УНДГМІ – ЦГО, Київ, 2006. Електронний ресурс.
7. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. – С.-П., 2015, 146 с.
8. Левитин К.М. Безопасность движения автомобилей в условиях ограниченной видимости. М., Транспорт, 1986, 187 с.
9. Леонович И.И. Дорожная климатология. Минск, БНТУ, 2007. – 340 с.
10. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами/ Под ред. проф., д.геогр.н. Кобышевой Н.В. – ГУ «ГГО». – Санкт-Петербург, 2009. – 334 с.
11. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України П-Г.1-218-113:2009 <https://ukryama.com/files/P-G.1-218-113-2009.pdf>
12. Самодурова Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог. Москва, 2003, 185с.
13. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату. ОДЕКУ – РДГМУ, 2012. – 266 с.
14. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. – Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2005. – 491 с.
15. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
16. [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/ds/kn/kn\\_u/kn0716\\_u.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/ds/kn/kn_u/kn0716_u.html)
17. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J.

Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex та P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom та New York, NY, USA, 1535 pp.

18. Meteorological services for transportation. WMO Bulletin. Weather-Climate-Water. Vol. 58 (2) - April 2009. p. 80-136.
19. Nemry F., H. Demirel, 2012. Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 92 p.

## Додаток А

## Довідка

кафедри метеорології та кліматології

на магістерську кваліфікаційну роботу студентки гр. МНЗ–61м

факультету магістерської та аспірантської підготовки ОДЕКУ

II курсу Козел М.Ю. на тему: «Вплив змін клімату на роботу транспортної системи

України за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5»

Магістерську кваліфікаційну роботу виконано в рамках госпдоговірної теми „Оцінка впливу кліматичних змін на поновлювальні та невичерпні природні ресурси України”, № 180.

Завідуючий кафедрою  
метеорології та кліматології

проф. Івус Г.П.

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

<b>Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)</b>	<b>Кількість кредитів</b>
<b>Призове перше місце у I турі Всеукраїнського конкурсу наукових студентських робіт 2016-2017 н.р.</b>	1,00
<b>Університетські конференції, семінари, гуртки (інші):</b>	
III міжнародна наукова Конференція молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» – 21-23 березня 2018 р., м. Одеса. Тема доповіді: «Вплив прогнозованих змін клімату на експлуатацію автошляху «Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород»	0,75
Конференція молодих вчених ОДЕКУ – 11-15 травня 2017 р., м. Одеса. Тема доповіді: «Оцінка впливу змін клімату на роботу транспортної системи на основі сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5»	0,25
Конференція молодих вчених ОДЕКУ – 2-8 травня 2018 р., м. Одеса. Тема доповіді: «Оцінка впливу змін клімату на роботу транспортної системи України на основі сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5»	0,25
Науково-практична конференція за результатами Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з географії. – 27-29 березня 2017 р., м. Мелітополь Тема доповіді: «Оцінка впливу змін клімату на роботу транспортної системи на основі сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5»	0,25
<b>Опубліковані тези конференцій:</b>	
Козел М.Ю. Оцінка впливу змін клімату на роботу транспортної системи на основі сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5/Козел М.Ю., Хоменко І.А.// матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса. – ТЕС. – 2018.	0,25
Козел М.Ю. Оцінка впливу змін клімату на роботу транспортної системи на основі сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5/Козел М.Ю., Хоменко І.А.// матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса. – ТЕС. – 2017. – С.174-175.	0,25
Козел М.Ю. Вплив прогнозованих змін клімату на експлуатацію	0,25



автошляху “Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород”/Козел М.Ю., Хоменко І.А.// матеріали ІІІ міжнародної наукової Конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення». – Одеса. – ТЕС. – 2017. – С.163-164.	
	Всього 3,25