

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: «Умови утворення низької видимості в районі аеропорту Одеса»

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ-2М
спеціальності 103 –«Науки про Землю»
Пейчев Максим Дмитрович

Керівник к.геогр.н., доцент
Агайар Елліна Вікторівна

Рецензент к .геогр .н., доцент
Вольвач Оксана Василівна

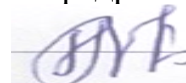
Одеса 2020 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 - «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Метеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Прокоф'єв О. М.



« 26 » жовтня 2020 року

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

Пейчеву Максиму Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Умови утворення низької видимості в районі аеропорту Одеса

керівник роботи Агайар Еліна Вікторівна к. геогр. н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від №124-С від 16.10.2020 р.

2. Строк подання студентом роботи: 7 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Дані телеграм METAR щодо дальності видимості та метеорологічних явищ, які погіршували видимість на ст. Одеса-АМСЦ, з 2015 по 2019 роки 2. Синоптичні карти з архіву Wetterzentrale

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд сучасних літературних джерел за темою дослідження. 2. Виявити основний тип синоптичних процесів, який у більшості випадків обумовлює погіршення видимості на ст. Одеса-АМСЦ 3. Створити інформаційну базу для отримання предикторів на основі даних, які доступні в практиці синоптичного аналізу 4. Здійснити можливість складання прогнозу дальності видимості методом покрокової регресії.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1 – 1.2 Характеристики видимості, використані при метеорологічному забезпеченні польотів; Рис. 2.1-2.4 – Схеми атмосферних фронтів; Рис. 3.1 – Повторюваність метеорологічних явищ, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса-АМСЦ в 2015-2019 рр.; Рис. 3.2 – Повторюваність видимості різних градацій в залежності від метеорологічних явищ. 2015-2019 рр.; Рис. 3.3 – Повторюваність підтипів синоптичних процесів, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса-АМСЦ; Рис. 3.4-3.6 – Підтипи синоптичних процесів в дні з низькою видимістю.



6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	26.10.2020	87	добре
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	листопад 2020	87	добре
3.	<i>Аналіз повторюваності метеорологічних явищ, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса- АМСЦ в 2015-2019 рр.</i>	листопад 2020	87	добре
4.	<i>Типізація синоптичних процесів, які сприяють формуванню низької видимості на ст. Одеса- АМСЦ</i>	листопад 2020	87	добре
5.	<i>Вибір предикторів для прогнозу дальності видимості</i>	листопад 2020	87	добре
6.	<i>Розробка методу прогноз дальності видимості на ст. Одеса-аеропорт методом покрокової регресії</i>	листопад 2020	87	добре
7.	<i>Рубіжна атестація</i>	17.11.2020	87	добре
8.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку.</i>	25.11.2020	87	добре
9.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	30.11.2020	87	добре
10.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	04.12.2020	87	добре
11.	<i>Перевірка на плагіат, підписання авторського договору</i>	8-10.12.2020		
12.	<i>Попередній захист магістерської роботи.</i>	грудень 2020		
Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			87	добре

Студент  Пейчев М. Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи  Агайар Е.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Умови утворення низької видимості в районі аеропорту Одеса»

Автор: Пейчев Максим Дмитрович

Актуальність. Одним з основних метеорологічних параметрів, що визначають стан атмосфери, є видимість об'єктів. Інтерес до інформації про цю величину з боку дослідників і споживачів великий. У більшості випадків видимість має вирішальне значення в оцінці можливості успішного виконання різних завдань.

Метою даної роботи є оцінка синоптичних процесів при яких спостерігалася низька видимість (<3 км) та пошук надійних предикторів для прогнозу дальності видимості до 3 км і менше на ст. Одеса-аеропорт.

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

- виявити основний тип синоптичних процесів, який у більшості випадків обумовлює погіршення видимості на ст. Одеса- АМСЦ;
- створити інформаційну базу для отримання предикторів на основі даних, які доступні в практиці синоптичного аналізу;
- здійснити можливість складання прогнозу дальності видимості методом покрокової регресії.

Об'єкт дослідження – видимість, та характер синоптичних умов її погіршення до 3 км і менше в районі аеропорту Одеса.

Предмет дослідження – метеорологічні явища, при яких спостерігається низька видимість та пошук надійних предикторів для прогнозу дальності видимості для аеропорту Одеса.

Методи дослідження –

- Просторово-тимчасове узагальнення даних
- Синоптичний аналіз
- Регресійний аналіз

Наукова новизна отриманих результатів.

В даній роботі *вперше* для аеропорту Одеса:

- виявлені основні типи синоптичних процесів, які у більшості випадків обумовлювали погіршення видимості на ст. Одеса- АМСЦ, у період 2015-2019 рр.
- визначені основні предиктори для прогнозу видимості районі аеропорту Одеса;
- запропонований прогноз дальності видимості методом покрокової регресії.

Практичне значення отриманих результатів. Отриманий в результаті роботи метод прогнозу видимості за допомогою регресійної моделі може бути впроваджений в оперативній роботі.

Магістерська робота в обсязі 54 сторінки складається з 4 розділів, висновків, переліку посилань з 32 джерел, додатку, містить 12 рисунків та 9 таблиць.

Ключові слова: видимість, регресійний аналіз, синоптичні процеси, туман, Одеса-АМСЦ

Abstract

Thesis Topic: «Formation conditions of low visibility in the Odessa airport area»

Author: Peichev Maxim

Relevance: One of the main meteorological parameters that determine the state of the atmosphere is the visibility of objects. Interest in information about this value from researchers and consumers is great. In most cases, visibility is crucial in assessing the feasibility of various tasks.

Aim of the Thesis is to assess the synoptic processes in which there was low visibility (<3 km) and the search reliable forecasting predictors of the range of visibility up to 3 km or less at the station Odessa-airport.

In accordance with the set objective, the following **tasks** are solved:

- the main type of synoptic processes, which in most cases causes a deterioration in visibility at station Odessa-AMSC is identified;
- information base for obtaining predictors based on data that are available in the practice of synoptic analysis are created;
- the possibility of making a forecast of the range of visibility with a high validation by the method of stepwise regression are implemented.

Object of the Study: visibility, and the character of synoptic conditions of its deterioration to 3 km or less in the area of Odessa airport.

Subject Matter of the Study: meteorological phenomena in which low visibility is observed and search for reliable predictors for forecasting the visibility range for Odessa airport

Methods of Research: space-time generalization of data, synoptic analysis and regression analysis.

Scientific Novelty of the Obtained Results

In this thesis, for *the first time* for the territory of South-Western Ukraine:

- identified the main types of synoptic processes, which in most cases caused a deterioration in visibility at Odessa - AMSC, in the period 2015-2019;
- the main predictors for forecasting the visibility of the Odessa airport are determined;
- the forecast of the range of visibility by the method of stepwise regression is proposed.

Practical Significance of the Obtained Results. The resulting method of forecasting visibility using a regression model can be implemented in operational work.

The Master thesis has the volume of 54 pages, consists of 4 sections, conclusions, a list of references of 32 sources, 1 applications, contains 12 figures and 9 tables.

Keywords: visibility, regression analysis, synoptic processes, fog, Odessa-AMSC

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Загальні відомості та умови спостереження за видимістю.....	9
1.1 Поняття видимості.....	9
1.2 Дальність видимості об'єкта, метеорологічна дальність видимості, метеорологічна оптична дальність.....	11
1.3 Методи визначення характеристик видимості.....	14
1.4 Метеорологічна і польотна видимість.....	21
2 Видимість в різних метеорологічних та синоптичних умовах	25
2.1 Видимість у зонах атмосферних фронтів.....	25
2.2 Видимість у різних повітряних масах	30
2.3 Погіршення видимості внаслідок антропогенного впливу та при різних явищах.....	32
3 Умови формування видимості менше 3 км в районі аеропорту Одеса	35
3.1 Географічна характеристика аеропорту Одеса.....	35
3.2 Повторюваність метеорологічних явищ, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса- АМСЦ в 2015-2019 рр.....	35
3.3 Синоптичні умови виникнення низької видимості на ст. Одеса-Аеропорт.....	37
4 Прогнозування видимості.....	43
4.1 Огляд основних сучасних методів прогнозу видимості.....	43
4.2 Одержання регресійної моделі та її випробування.....	44
Висновки.....	49
Перелік посилань.....	50
Додаток А.....	51

ВСТУП

Однією з причин економічних втрат і аварійності в багатьох сферах людської діяльності є вплив складних умов зовнішнього середовища. Одним з доданків, що визначають ступінь складності метеорологічних умов для авіації є дальність видимості. Як показує статистика, найбільше число авіаційних подій та їх передумов до них пов'язано саме з обмеженою видимістю.

Незважаючи на значну кількість робіт з питань аналізу і прогнозу дальності видимості [3-5, 7-9, 15, 16, 23, 27, 28, 30], проблема якісного забезпечення споживача прогностичної інформацією про неї в умовах обмеження вихідних даних залишається до кінця не вирішеною. Оцінка видимості в атмосфері та прогноз цієї величини являє одну з найбільш складних проблем у метеорології.

При значному скороченні обсягів метеорологічних даних, що надходять в прогностичні установи, виникає потреба в розробці методів прогнозу дальності видимості при різних рівнях забезпеченості вихідною інформацією.

Метою магістерської роботи – є типізація синоптичних процесів погіршення видимості на ст. Одеса -АМСЦ за період 2015 – 2019 рр., визначення метеорологічних явищ, при яких спостерігалася низька видимість (<3 км) та пошук надійних предикторів для прогнозу дальності видимості до 3 км і менше за даними спостережень на ст. Одеса-аеропорт.

В якості вихідного матеріалу в роботі використані дані з телеграм METAR сайту метеорологічного сервісу гр. 5 [31] щодо дальності видимості на ст. Одеса-АМСЦ та метеорологічних явищ, які її погіршують. База даних Wetterzentrale [32], щодо виявлення основного типу синоптичних процесів, які у більшості випадків обумовлюють погіршення видимості на півдні України до 3 км, здійснений аналіз щоденних приземних карт и карт баричної топографії за період з січня 2015 по грудень 2019 років в строк спостереження 00 UTC, з урахуванням приземної карти погоди за 06 та 12 UTC.

Об'єкт дослідження – видимість, та характер синоптичних умов її погіршення до 3 км і менше в районі аеропорту Одеса.

Предмет дослідження – метеорологічні явища, при яких спостерігається низька видимість та пошук надійних предикторів для прогнозу дальності видимості для аеропорту Одеса.

Методи дослідження – просторово-часове узагальнення метеорологічної інформації, синоптичний та регресійний аналіз.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань.

У вступі формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальні відомості об умовах спостереження за видимістю.

Другий розділ присвячений вивченню різних метеорологічних та синоптичних умов погіршення видимості.

Третій розділ складається з характеристики синоптичних умов та метеорологічних явищ, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса- АМСЦ в період 2015-2019 рр.

У четвертому розділі розглядається метод прогнозу дальності видимості до 3 км і менше в районі ст. Одеса-аеропорт.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 32 літературних джерел.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., доц. Агайар Е. В. у рамках науково-дослідних робіт «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532) та «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною», № ДР 0120U100487 (2020-2024 рр.).

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА УМОВИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ВИДИМІСТЮ

1.1 Поняття видимості

Проблемі видимості об'єктів в атмосфері присвячене значне число робіт [1, 4-9, 12, 18, 19, 21, 24-30].

Видимість - це максимальна відстань, з якої можна побачити і розпізнати неосвітлені об'єкти вдень і світлові орієнтири вночі. Видимість залежить від розміру і форми предмету, освітленості, кольору і яскравості фону та предмету, а також від прозорості атмосфери [2].

Метеорологічна дальність видимості (S_m) це прозорість атмосфери через відстань, на якій перестає бути видиме абсолютно чорне тіло з кутовими розмірами більше $20'$, яке проектується на фон неба біля горизонту.

При інструментальних спостереженнях за видимість приймається метеорологічна оптична дальність видимості (MOR). MOR (meteorological optical range) - довжина шляху світлового потоку в атмосфері, на якому він слабшає до 0,05 його початкового значення [2].

Видимість на ЗПС (дальність видимості на з льотно посадочній смузі) - максимальна відстань, у межах якої льотчик, що знаходиться на ЗПС, може бачити маркіровку, її покриття чи вогні, які обмежують ЗПС чи які визначають її вісь.

Видимість з авіаційною метою - це значення, яке є більшим із значень:

а) максимальної відстані, на якій чорний об'єкт прийнятних розмірів, розташований поблизу землі, можна побачити й розпізнати при його спостереженні на світлому фоні;

б) максимальної відстані, на якій світловий орієнтир силою світла приблизно 1000 кд можна побачити й розпізнати на неосвітленому фоні.

Ці дві відстані мають різні значення в повітрі із заданим коефіцієнтом затухання:

а) це метеорологічна оптична дальність видимості (meteorological optical range - MOR);

б) це видимість, що змінюється в залежності від освітленості фону.

Фактори, що визначають видимість об'єктів в атмосфері умовно можуть бути розподілені на три групи. До першої групи варто віднести фактори, які пов'язані із зором спостерігача, до другого - фактори, обумовлені оптичними характеристиками атмосфери, до третього - фактори, що характеризують відрізняємість об'єктів спостереження на реальному фоні (контраст об'єкта і фона, та кутові розміри об'єкта). Особливістю видимості як метеорологічної величини є те, що не тільки сукупність цих факторів, але і кожен з них може зокрема вплинути на результат спостереження[1].

У світлий час доби в міру посилення серпанка (зменшенні прозорості атмосфери) зменшується яркісний контраст; при цьому зникають деталі об'єкта і він починає сприйматися як блідий силует - аж до повного зникнення.

У темний час доби при зменшенні прозорості атмосфери точечне джерело світла, що використовується як об'єкт спостереження, починає розпливатися. Невидимим він вважається в тому випадку, коли сприймається у вигляді розпливчастої світлової плями. За результатами численних досліджень найбільш імовірне граничне значення (e) може бути прийнято рівним 2%. Однак з метою забезпечення метрологічної єдності вимірів характеристик видимості на аеродромах Міжнародна організація цивільної авіації (ІСАО) у 1973р. рекомендувала всім країнам - учасникам ІСАО використовувати в розрахунках дальності видимості значення $e = 5 \%$. Використання рекомендованого значення (e) приводить до того, що льотчик одержує трохи занижене значення дальності видимості. Так створюється деякий «запас міцності» для того, щоб льотчик міг із упевненістю не тільки побачити але і пізнати орієнтири ЗПС[20].

Слід зазначити, що прийняте в якості основного значення $e = 5 \%$ не є достовірним для всіх умов спостережень, тому що фактичне значення граничної чутливості ока спостерігача в момент проведення візуальних і інструментально-візуальних спостережень невідомо (за винятком спостережень за допомогою вимірника метеорологічної дальності видимості). Крім того, відносно стійкими значення (e) можуть вважатися при дотриманні наступних умов [1]:

1) яскравість об'єктів, що спостерігаються, лежить у межах

$1-10^3$ кд/м² ;

2) кутові розміри об'єктів досить великі (не менше 0,3—0,5°);

3) порівнювані поля однорідні за структурою, мають чіткі границі, у тому числі в зоні контакту (без проміжків і поступових переходів яскравості);

4) об'єкт і фон не розрізняються за кольором;

5) поле зору спостерігача має однакову і рівномірну яскравість.

Варто також мати на увазі, що при стрибкоподібній зміні зовнішньої освітленості чутливість ока змінюється поступово, досягаючи відповідного рівня лише через деякий час. У зв'язку з цим розрізняють два види адаптації ока:

а) в темноті, при якій відбувається пристосування до малих рівнів освітленості, супроводжуване збільшенням чутливості ока і зниженням рівня його граничних характеристик;

б) світлову, при якій відбуваються зворотні процеси (зменшення чутливості ока і збільшення порога).

Оптичні характеристики атмосфери є найбільш мінливими з усіх розглянутих вище факторів, що впливають на значення дальності видимості об'єкта. Прозорість атмосфери як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках може змінюватися в дуже широких межах - від одиниць метрів у дуже щільних туманах до декількох десятків і навіть сотень кілометрів в дуже чистих повітряних масах. Прозорість атмосфери, що є найбільш інформативною з усіх оптичних характеристик, залежить від змісту атмосферного аерозолю.

1.2 Дальність видимості об'єкта, метеорологічна дальність видимості, метеорологічна оптична дальність

Дальність видимості об'єкта $S_{об}$, розглянутого на будь-якому реальному фоні, описується виразом [1]:

$$S_{об} = \frac{1}{\mu} \operatorname{Ln} \frac{\kappa_e / e + B / B\phi^{-1}}{B / B\phi} \quad (1.1)$$

де μ - показник ослаблення світла в шарі атмосфери між спостерігачем і об'єктом; K_0 - первісний контраст об'єкта і фона, не погіршений серпанком; e - поріг контрастної чутливості ока (%); B - коефіцієнт світлоповітряного рівняння, що характеризує стан яркісного насичення шару атмосфери між спостерігачем і об'єктом; V_ϕ - яскравість фона.

Якщо об'єкт розглядається не на будь-якому фоні, а на фоні неба біля горизонту, то яскравість фона V_ϕ відповідає яскравості неба біля горизонту. У цьому випадку можна вважати, що величина V_ϕ може ототожнюватися з коефіцієнтом B для випадку, коли атмосфера не дуже прозора і небо біля горизонту не має помітного для око блакитнуватого забарвлення. У результаті вираження для дальності видимості об'єкта, розглянутого на фоні неба біля горизонту чи на фоні насиченого серпанка, буде мати такий вигляд:

$$S_{об} = \frac{1}{\mu} \text{Ln} \frac{K_0}{e} \quad (1.2)$$

При малих значеннях прозорості атмосфери (у щільному серпанку чи в тумані) рівність $V_\phi = B$ дотримується не тільки для горизонтальних, але й для похилих трас (під кутом декількох градусів).

В окремому випадку, коли як об'єкт спостереження обрана чорна поверхня, власну яскравість якої можна вважати рівною нулю, контраст цієї поверхні відносно фона $K_0 = 1$. Дальність видимості цієї чорної поверхні (S_M), визначається за формулою :

$$S_M = \frac{1}{\mu} \text{Ln} \frac{1}{e} \quad (1.3)$$

З огляду на те, що значення порога контрастної чутливості для середнього ока спостерігача прийнято рівним 5% ($e=0,05$), остаточно одержуємо:

$$S_M = \frac{1}{\mu} \ln 20 = \frac{3}{\mu} \quad (1.4)$$

Цей вираз називають формулою Кошмідера. Він пов'язує дальність видимості чорного об'єкта на фоні неба біля горизонту і прозорість шару атмосфери між спостерігачем і об'єктом, виражену через показник ослаблення світла в цьому шарі. Дальність видимості об'єкта, виражена через показник ослаблення на трасі візування, називається *метеорологічною*

дальністю видимості (МДВ). З урахуванням дотримання всіх умов візуальних спостережень визначення МДВ можна сформулювати в такому вигляді [17, 20]. *Метеорологічною дальністю видимості* називається та найбільша відстань, на якій у світлий час доби можна розрізнити (знайти) на фоні неба поблизу горизонту чи на фоні атмосферного серпанка чорний об'єкт досить великих кутових розмірів (більш 15'). Ще *метеорологічною дальністю видимості* (МДВ) називається така найбільша відстань, з якої у світлий час доби перестав бути видимим абсолютно чорний об'єкт з кутовим розміром біля 20', що проектується на фоні неба біля горизонту .

Широке впровадження в практику метеорологічних спостережень на мережі гідрометеостанцій методики візуальної оцінки прозорості атмосфери по дальності видимості чорних щитів і темних об'єктів було обумовлено рядом причин, основними з яких можна вважати простоту методики, доступність і відносну дешевизну технічних засобів (щитів і приладів для інструментально-візуального виміру видимості).

У зв'язку із зростаючими вимогами до інформації про оптичні характеристики атмосфери (про її прозорість) у споживачів у різних галузях народного господарства, і насамперед в авіації, виникла необхідність у виробленні іншого поняття, що спирається на результати об'єктивних вимірів, а не суб'єктивних оцінок. Таким поняттям з'явилося поняття метеорологічної оптичної дальності МОД (Meteorological Optical Range - MOR), запропоноване Всесвітньою Метеорологічною Організацією в 1957 р. і офіційно прийняте в 1977 р. Комісією з приладів і методів спостережень ВМО в якості основного при спостереженнях за дальністю видимості.

МОД (S_{om}) визначається як довжина шляху в атмосфері, на якому колімірований пучок світла послабляється до 0,05 первісного значення F_0 , тобто коефіцієнт пропущення складає 0,05

$$\tau = F_{осл} / F_0 . \quad (1.5)$$

З урахуванням закону Бугера $F_{осл} = F_0$ одержимо, що

$$e^{-\mu S_{om}} = 0,05 \quad (1.6)$$

звідки

$$S_{OM} = - \frac{\text{Ln}0.05}{\mu} = \frac{3}{\mu} \quad (1.7)$$

Порівняння виразів (1.4) і (1.7) показує, що вони ідентичні, тобто при заданому значенні порога контрастної чутливості ока $e = 0,5$ і МДВ і МОД визначають ту саму величину-довжину шару атмосфери, коефіцієнт пропущення якого дорівнює 0,05. Різниця між ними полягає в тім, що значення МДВ оцінюють по контрастах чорних об'єктів, що проєктуються на фоні неба біля горизонту, а значення МОД розраховують за результатами вимірів коефіцієнту пропускання шаром атмосфери в межах вимірювальної бази приладу. Крім того, МОД на відміну від МДВ не залежить від стану ока спостерігача (яка характеризується величиною e), не пов'язана з часом доби і може бути використана як характеристика прозорості атмосфери в негоризонтальних напрямках.

1.3 Методи визначення характеристик видимості

На станціях, які входять до системи метеорологічної мережі, спостереження за видимістю здійснюються у комплексі з іншими спостереженнями синхронно в строки 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 і 21 UTC.

На аеродромах спостереження за видимістю здійснюються щогодинно, під час польотів у складних умовах – через 30 хвилин. Під строком спостереження розуміється 10 - хвилинний інтервал часу, що закінчується точно в указаний термін. Спостереження за видимістю здійснюються візуально на метеорологічному майданчику по орієнтирам, які вибрані на місцевості та по приборам. При візуальних спостереженнях рівень очей спостерігача повинен бути на висоті 1,5-6,0 м від поверхні землі. Метеорологи, які здійснюють візуальні спостереження за видимістю, повинні мати гостроту зору 1,0 на кожне око (із корекцією) та щорічно проходити перевірку зору [17].

У випадку неодноразової розбіжності значень видимості, які отримані по прибору і візуально, за її величину приймається значення, що отримано візуально, а в приборі усувається несправність.

В даний час не існує інструментальних методів визначення видимості об'єктів в атмосфері[20]. Це пояснюється як винятковою складністю задачі визначення цієї комплексної величини, так і тією обставиною, що саме поняття видимості в залежності від умов спостережень може бути віднесено до різних об'єктів: природних і штучних, несвітлових чи світлових (вогні). Крім того, існує принципова відмінність аеродромних вимірів характеристик видимості від вимірів на мережі гідрометеостанцій (ГМС). Ця відмінність полягає в тім, що льотному і диспетчерському складу необхідна інформація про видимість визначених об'єктів (ЗПС, орієнтирів, вогнів і т.п.), тоді як основних споживачів інформації, яка надходить з мережі ГМС, цікавлять дані про об'єктивні характеристики стану атмосфери. У зв'язку з цим слід зазначити, що якщо для мережі ГМС прозорість атмосфери (у горизонтальному і вертикальному напрямках) є досить вичерпною характеристикою оптичного стану атмосфери, то для авіації інформації про прозорість атмосфери недостатньо, тому що для здійснення надійного візуального контакту з наземними орієнтирами необхідні дані саме про їхню видимість [1].

Під прозорістю атмосфери розуміють здатність шару атмосфери пропускати видиме випромінювання (світло). Поширення світлового випромінювання в атмосфері супроводжується його ослабленням унаслідок розсіювання і поглинання частками аерозоля:

$$F_0 = F_{\text{осл}} + F_{\text{рас}} + F_{\text{погл}} , \quad (1.8)$$

де F_0 - випромінений світловий потік; $F_{\text{осл}}$ - світловий потік, ослаблений у результаті розсіювання і поглинання; $F_{\text{рас}}$, $F_{\text{погл}}$ - розсіяна і поглинена складові світлового потоку.

Поглинання світла в атмосфері мало, і справедливим для більшості практичних випадків, можна вважати, що $F_{\text{погл}}=0$. Тому і ослаблення світла в атмосфері визначається його розсіюванням:

$$F_0 = F_{\text{осл}} + F_{\text{рас}} . \quad (1.9)$$

З цього співвідношення випливає, що всі існуючі методи визначення прозорості атмосфери можуть бути засновані на використанні явищ або ослаблення, або розсіювання світла, або комбінації цих явищ [1].

Явище ослаблення світла використовується в базисному методі, заснованому на вимірі світлового потоку $F_{осл}$, що, відповідно до закону Бугера, описується залежністю

$$F_{осл} = F_0 \tau^{-1} = F_0 e^{-\mu l} , \quad (1.10)$$

де l - довжина шляху світлового променя в атмосфері.

Прилади, що реалізують цей метод виміру (базисні фотометри чи трансміссометри), можна розбити на дві групи по числу вимірювальних баз: з однією і декількома вимірювальними базами. Збільшення числа вимірювальних баз дозволило розширити діапазон і знизити погрішність вимірів, насамперед, в області малих значень прозорості атмосфери.

Явище розсіювання світла використовується в нефелометричному методі, який заснований на вимірі частини світлового потоку, розсіяного досліджуванним обсягом атмосфери. З виразів (1.9) та (1.10) зрозуміло, що розсіяна частина світлового потоку, яка випромінюється, описується виразом:

$$F_{рас} = F_0 - F_{осл} = F_0 (1 - e^{-\mu l}) . \quad (1.11)$$

Рівняння нефелометричного методу:

$$F_{рас} = F_{ощ} , \quad (1.12)$$

де l - довжина світлового променя, яка візурується фотоприймачем.

Нефелометричний метод по своїй сутності є локальним, а нефелометром можна вважати такий фотометр розсіяного світла у якому обсяг середовища, що розсіює, знаходиться в безпосередній близькості від приладу, коли ослабленням світла можна знехтувати.

Нефелометричні прилади являються ефективним засобом дослідження оптичних характеристик атмосфери. При застосуванні нефелометрів немає необхідності у використанні далеких об'єктів і вогнів. Мала вага та габарити

приладу в сполученні з його автономністю дозволяють установлювати його на мачтах, у важкодоступних і віддалених місцях.

Загальним недоліком базисного і нефелометричного методів є те, що вони дозволяють визначати оптичні характеристики лише тих обсягів атмосфери, що знаходяться в безпосередньому контакті з приладом, у силу чого їх називають контактними.

Поряд із традиційними базисним і нефелометричним методами, існує і розвивається велика кількість комбінованих методів, заснованих на одночасному використанні, як ослаблення, так і розсіювання світла. Ці методи поєднують у собі можливості базисного і нефелометричного методів. Вони дозволяють досліджувати оптичні характеристики обсягів атмосфери, що знаходяться на значному віддаленні від приладу. Це дозволяє вважати їх дистанційними методами, придатними для визначення прозорості атмосфери уздовж глісади зниження літака. Комбіновані методи, що припускають селекцію сигналів від різних обсягів середовища (тимчасову чи просторову), можна розділити на дві великі групи - методи оптичної локації і тригонометричних методів.

Метод оптичної локації, реалізує спосіб тимчасової селекції, по виду обробки сигналів зворотнього розсіювання.

Тригонометричні методи реалізують різні варіанти просторової селекції сигналів від елементарних обсягів атмосфери на досліджуваних ділянках траси зондування з метою визначення показника ослаблення світла в шарі.

Слід зазначити, що тригонометричні методи в порівнянні з оптико-локаційними мають ряд недоліків:

- 1) складність юстировки і громіздкість систем;
- 2) багатопоступовість вимірів і труднощі інтерпретації одержуваних даних;
- 3) необхідність обліку інтенсивності джерел світла і факторів старіння фотоприймачів у процесі експлуатації.

Роботи з реалізації комбінованих методів поки не вийшли зі стадії досліджень експериментальних установок, однак їхня перспективність цілком очевидна. Особливо слід зазначити методи оптичної локації, що, на відміну від тригонометричних методів, є більш оперативними і дозволяють

одержати більший обсяг інформації про оптичні властивості середовища в будь-якому напрямку з одного місця.

У якості візуальних фотометрів на мережі гідрометеостанцій використовуються вимірники видимості М-53А, ВДВ і нефелометрична установка М-71[17]. Результати спостережень представлені в одиницях МДВ.

Метод фотометричного порівняння дозволяє по об'єкту спостереження, що знаходиться на відстані L від спостерігача, визначати значення МДВ у діапазоні від $1,2L$ до $10L$ по темних об'єктах і до $17L$ по чорному щиту.

Комплексний спосіб поєднує метод фотометричного порівняння і метод відносної яскравості, що дозволяє по щиту, розташованому на відстані L , визначати МДВ у діапазоні від $10L$ до $100L$. При цьому значення МДВ до десятикратної відстані до щита визначаються методом фотометричного порівняння; великі значення МДВ визначаються методом відносної яскравості. Виміри комплексним способом організують тоді, коли на місцевості не удалося підібрати придатні об'єкти.

Телевізійна система складається з телевізійної камери, яка встановлюється на визначеній висоті над ЗПС осторонь від неї і серії вогнів. Розташування камери забезпечує огляд усього ланцюжка вогнів, а об'єктив з перемінною фокусною відстанню дозволяє візувати групу з будь-яких трьох вогнів [21, 22].

Інструментальний метод оцінки дальності видимості на аеродромі заснований на використанні результатів вимірів прозорості атмосфери. Для виміру прозорості атмосфери застосовуються базисні фотометри (трансмиссометри) типу РДВ і ФІ-1, з діапазоном виміру показника ослаблення у перерахунку на одиниці МОД $250 - 6\ 000$ м і $60 - 6\ 000$ м відносно.

Візуальний метод визначення видимості об'єктів (метод спостерігача).

У світлий час доби для визначення значень МДВ на місцевості повинні бути обрані темні об'єкти, які віддалені від пункту спостереження на відстані $50, 200, 500, 1000$ м та $2, 4, 10$ і 50 км (припустимі відхилення від зазначених стандартних - до 20%). Об'єкти повинні відповідати вимогам [17,20]:

- бути по можливості більш темними для забезпечення найбільшого контрасту з фоном;
- мати кутові розміри не менш $15'$;

- проектуватися на фон неба (хоча б своєю кромкою);
- ні підніматися над пунктом спостережень більше чим на 5-6°.

Виконання спостережень полягає в тім, що спостерігач повинен послідовно переглянути всі обрані об'єкти, починаючи із самого ближнього і визначити які з них видимі, а які невидимі. Видимим вважається такий об'єкт, що розрізняється на фоні неба чи серпанка хоча б у вигляді невизначеного контуру. Невидимим вважається такий об'єкт, що цілком зливається з фоном неба чи серпанком, причому спостерігач не може навіть приблизно визначити напрямок у якому знаходиться цей об'єкт. Інтервал, у якому в момент спостереження знаходиться значення МДВ, визначається по найбільш далекому видимому і по найбільш близькому невидимому об'єктам.

В табл. 1.1 надана шкала МДВ. Визначення всіх градацій МДВ можливо і по неповному комплекту, що складається, наприклад, з чотирьох чи п'яти об'єктів, при використанні даних про густину повітряного серпанка, що покриває об'єкт.

Таблиця 1.1 -Шкали (бали) метеорологічної дальності видимості

Бал	Відстань до об'єкта		Цифри коду КН - 01
	Об'єкт видний	Об'єкт не видний	
0	0	50 м	90
1	50 м	200 м	91
2	200 м	500 м	92
3	500 м	1 км	93
4	1 км	2 км	94
5	2 км	4 км	95
6	4 км	10 км	96
7	10 км	20 км	97
8	20 км	50 км	98
9	50 км і більш	-	99

Шкала оцінки густини повітряного серпанка приведена в табл. 1.2 (L — відстань до об'єкта).

Таблиця 1.2 - Шкала оцінки густини повітряного серпанку на об'єктах

Ступінь густини серпанку	Характеристика видимості об'єкта	Значення S_m
0	Повітряного серпанку на об'єкті нема. Колір об'єкта і його деталі видні чітко	$>10L$
1	Об'єкт чітко видний на фоні неба як темно-сірий силует. Деталі об'єкта не сприймаються, колір важко розпізнати	$> 6L$
2	Об'єкт покритий дуже сильним повітряним серпанком. Очевидно, що він темніше неба	$> 3L$
3	Об'єкт видний як силует, легко пізнаваний, але мало відрізняється по кольору і яскравості від неба	$> 2L$
4	Об'єкт ледь пізнаваний, важко виявляється, легко губиться з виду	$\approx L$

Значення МДВ (S_m) розраховується по силі світла вогню, видимість якого знаходиться на межі сприйняття, з урахуванням відстані до нього і рівня зовнішньої освітленості за формулою :

$$S_m = \frac{3L}{\ln(I_0/E_{гран}L^2)} = \frac{3L}{2.31g(I_0/E_{гран}L^2)}, \quad (1.13)$$

де L -відстань до вогню (м), I_0 -сила світла вогню (кандели) (приблизно дорівнює потужності лампи накаливання у ватах), $E_{гран}$ -гранична освітленість (лк) (граничне значення освітленості на зіниці спостерігача, при якому світловий сигнал стає видимим).

Гранична освітленість залежить від рівня зовнішньої освітленості і характеризується трьома значеннями:

- 10^{-6} лк (сутінки чи відчутне світло від штучних джерел);
- $10^{-6,7}$ лк (місячне світло чи ще не повна темрява);
- $10^{-7,5}$ лк (повна темрява чи тільки світло від зірок).

Для адаптації до умов проведення спостережень спостерігач повинен перед проведенням спостережень побути протягом не менш 10 хв поза освітленим приміщенням. Після прибуття на пункт спостереження він повинний послідовно переглянути всі обрані вогні, визначити найбільш віддалений видимий вогонь і оцінити за допомогою табл. 1.3 значення МДВ.

Таблиця 1.3 Таблиця для визначення МДВ по огнях

Опис вогнів	Номер вогню	Напр. на вогонь	Сила світла (кд)	Відст. до вогню (м)	S _m (м)		
					в сутінках	під час місяця	в темноті
Вуличний ліхтар	1	ПдЗ	40	140	55	46	38
Електрола мпа	2	ПнЗ	100	1600	1300	900	680

До числа видимих вогнів можуть бути віднесені тільки ті вогні, які видні як світлі крапки. Якщо вогонь представляється у вигляді розпливчастої світлої плями, він вважається невидимим.

1.4 Метеорологічна і польотна видимість

При метеорологічному забезпеченні авіації льотний склад цікавить не тільки метеорологічна видимість, а насамперед *польотна видимість*. Видимість у польоті - це гранична відстань, на якому з борта літака видний реальний об'єкт на навколишньому фоні. Польотна видимість залежить в основному від двох факторів: стану зовнішнього середовища, і умов огляду. Якщо допустити, що останній фактор досить постійний, то головною причиною, від якої залежить видимість у польоті, є стан атмосфери [1].

Об'єкти на землі й у повітрі пілот з кабіни літака бачить через скло кабіни під різними кутами. Тому можна розрізнити ряд характеристик видимості (рис. 1.1): видимість вертикальна вниз $S_{в.низ}$, видимість вертикальна угору $S_{в.угору}$, горизонтальна видимість на висоті польоту $S_{Г}$, похила видимість $S_{пох}$ і видимість на ЗПС або посадкова видимість $S_{пос}$.

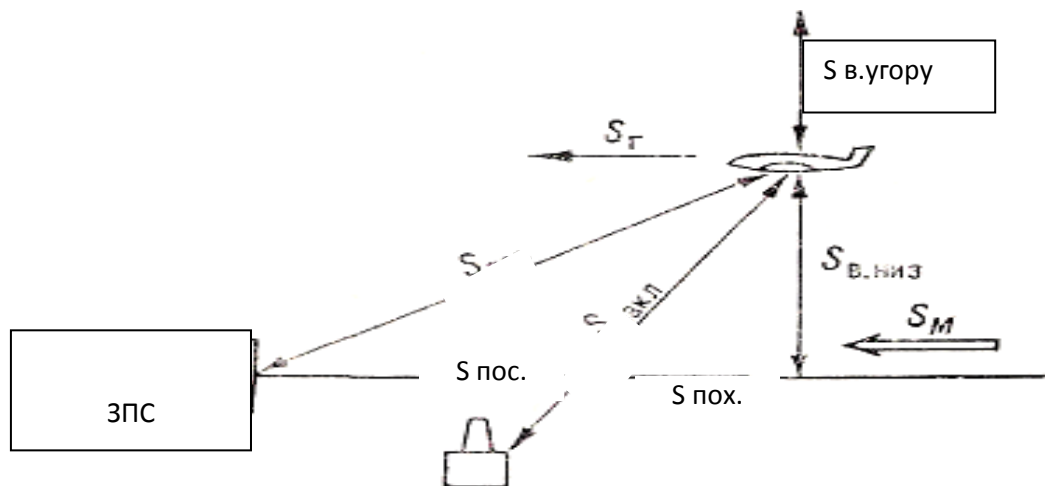


Рис. 1.1 Характеристики видимості, використані при метеорологічному забезпеченні польотів.

Вертикальна видимість — це та максимальна відстань у вертикальному напрямку, з якого видні й зорієнтуються неосвітлені об'єкти вдень і освітлені об'єкти вночі. Вертикальна видимість униз часто ототожнюється з висотою нижньої межі хмар, вірніше з тим рівнем, з якого «земля проглядається». Вертикальна видимість уверх прирівнюється до відстані, на якій пілот з кабіни літака бачить різні об'єкти, розташовані над ним (хмари, літальні апарати, що перебувають на більш високих ешелонах і т.д.).

Горизонтальна видимість характеризує умови виявлення різних об'єктів на висоті польоту. Ця видимість, як і вертикальна, оцінюється візуально.

Похила видимість дорівнює відстані, на якій видні об'єкти на землі [6, 18]. Ця видимість може бути визначена за часом польоту до обраного орієнтира. Якщо позначити проекцію відстані (довжини) відповідної похилої видимості на земну поверхню через L , шляхову швидкість літака W , час польоту до орієнтира t і висоту польоту

$$S_{\text{пох}} = \sqrt{(Wt)^2 + H^2} . \quad (1.14)$$

Звичайно при $S_{\text{пох}} \geq 5H$ похилу видимість дорівнюють до її проекції на земну поверхню:

$$S_{\text{пох}} = L = Wt . \quad (1.15)$$

Особливе місце серед всіх характеристик видимості займає *посадкова видимість*, під якою розуміється гранично велика відстань уздовж глісади зниження, на якому при погіршеній видимості пілот з кабіни літака, що приземляється, може на граничному сприйнятті виявити й пізнати початок ЗПС або пов'язану з нею систему сигнальних вогнів.

Системи сигнальних посадкових вогнів - вогні високої інтенсивності (ОВІ) і вогні малої інтенсивності (ОМІ) - значною мірою сприяють поліпшенню умов видимості при заході на посадку. Ще не побачивши ЗПС, але розрізвивши ОВІ або ОМІ, льотчик упевнено «прив'язується» до наземних орієнтирів. Тому сигнальні посадкові вогні він може виявити під кутом, що перевищує кут глісади. Питання видимості ОВІ і ОМІ та видимості на ЗПС детально розроблені М. Я. Рацимором [18].

Всі розглянуті вище характеристики видимості не визначаються на АМСЦ. Метеоспостерігач фіксує тільки значення *метеорологічної дальності видимості* S_M . У практиці забезпечення польотів часто доводиться зіштовхуватися з тим, що посадкова й метеорологічна видимість значно відрізняються одна від одної. На рис. 1.2 наведені приклади різних ситуацій, коли $S_{\text{пос}} < S_M$ (рис. 1.2 а) і $S_{\text{пос}} > S_M$ (рис. 1.2 б).

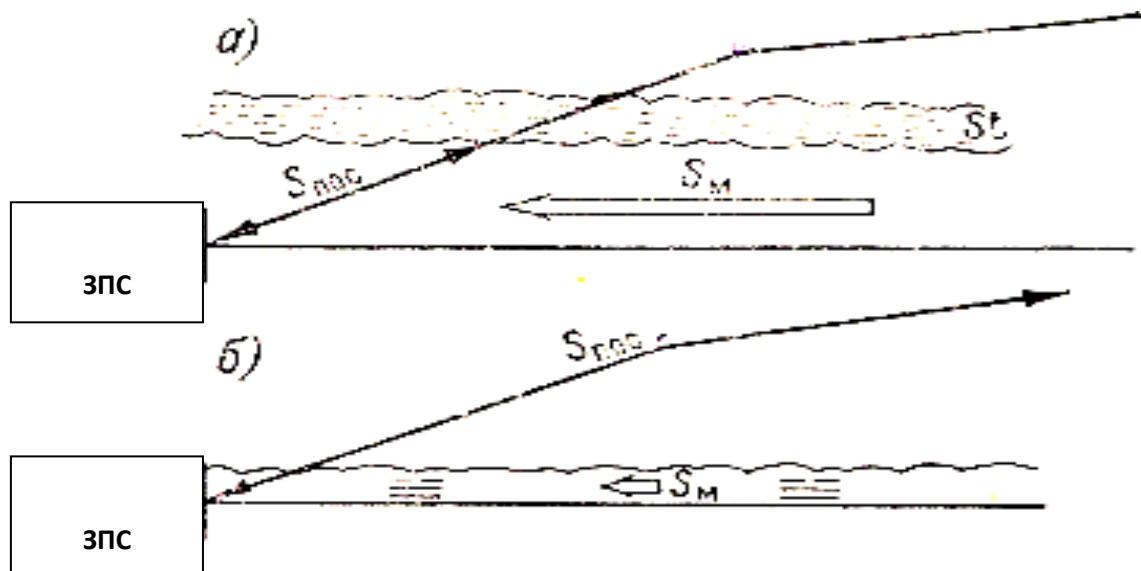


Рис. 1.2 Метеорологічні ситуації, що приводять до розходження між посадковою й метеорологічною видимостями. а) $S_{\text{пос}} < S_M$; б) $S_{\text{пос}} > S_M$.

Дійсно, пілот з кабіни літака побачить ЗПС тільки після виходу із хмар (рис. 1.2 а). Тому при низьких хмарах посадкова видимість завжди буде обмежена при будь-якій видимості біля землі. Зворотна картина спостерігається при наявності на аеродромі поземного тумана. Метеоспостерігач у даній ситуації (рис. 1.2 б) укаже видимість менше 1000 м, а пілот з кабіни літака буде добре бачити всі наземні орієнтири.

Наведені приклади дозволяють зробити висновки про те, що зв'язок між посадковою та метеорологічною видимостями неоднозначен й досить складний. Посадкова видимість залежить від висоти і структури нижньої межі хмар, структури підхмарного серпанку, від прозорості атмосфери на кінцевій ділянці глісади зниження, а також від світлометричних і фотометричних характеристик ЗПС.

Теорія похилої видимості розроблена в цей час слабо, однак уже отриманий ряд емпіричних і напівемпіричних залежностей посадкової видимості від метеорологічної, з урахуванням конкретних умов [6].

Таблиця 1.4 - Зв'язок посадкової й метеорологічної дальності видимості залежно від висотинижньої границі хмар

S_M м	$S_{\text{посМ}}$			
	Висота хмар, м			
	< 100	100-150	150-200	200—500
1000	250—400	400—500	600—700	800—1000
2000	500—800	800—1000	1200—1400	1500—2000
3000	750—1200	1200—1500	1800—2100	2200—3000
4000	1000—1600	1600—2000	2400—2800	3000—4000

З табл. 1.4 видно, що $S_{\text{пос}} < S_M$ приблизно до висоти хмар 300 м. При більш високому значенні висоти нижньої границі хмар величини $S_{\text{пос}}$ і S_M практично збігаються.

2 ВИДИМІСТЬ В РІЗНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ТА СИНОПТИЧНИХ УМОВАХ

2.1 Видимість у зонах атмосферних фронтів

Умови видимості в зонах атмосферних фронтів залежать від типу фронту, розглянутої ділянки, і сезону року [11].

Видимість в зоні теплового фронту суттєво залежить від того, наскільки виражений атмосферний фронт у полі метеорологічних величин. Якщо він виражений добре, що характерно для центральної частини циклонів, то в цьому випадку теплий фронт суттєво відрізняється від теплового фронту на периферії циклона чи області підвищеного тиску, де немає істотного контрасту температур і де фронт розмитий.

У зоні добре вираженого теплового фронту можна виділити чотири ділянки (рис. 2.1) з більш-менш однаковими умовами видимості.

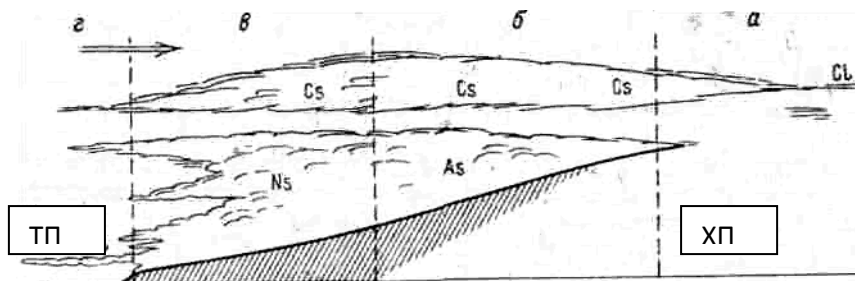


Рис.2.1. Схема ділянок теплового фронту. Стрілкою зазначений напрямок переміщення фронту.

Ділянка а. Ділянка передньої частини фронту, що характеризується перевагою хмар верхнього ярусу. Тут велику частину атмосфери по вертикалі займає холодне повітря. Умови видимості в холодному повітрі залежать від географічного типу повітряної маси. Якщо це тепла ділянка арктичного фронту, що розділяє арктичне повітря і повітря помірних широт, то в холодному повітрі видимість буде характерною для арктичного повітря (про що говорилося раніше).

Ділянка б. Ділянка середньої частини зони фронту.

На даній ділянці фронту розташоване холодне повітря. Видимість у холодному повітрі залежить від географічного походження повітряної маси, її температури, вологості і сезону року. З високошаруватих хмар випадають опади. Дощ не досягає земної поверхні. Сніг досягає і тим самим погіршує дальність видимості, що складає в середньому 4-6 км.

Ділянка в. Ця ділянка простирається від межі, де рідкі опади досягають земної поверхні до приземної лінії. Опади мають облоговий характер. А видимість у зоні облогових опадів залежить від сезону року і не має стабільного характеру, що пов'язано з різною інтенсивністю опадів. Більш того, при значній нестійкості теплого повітря можуть виникати грози.

Ділянка г. Зафронтальна ділянка, що безпосередньо примикає до фронту. Від приземної лінії фронту вона поширюється в теплий сектор. Видимість на цій ділянці фронту залежить від сезону року, вологості повітряної маси і ступеня її стійкості.

У холодний час року й у перехідні сезони тут спостерігаються серпанки і тумани з видимістю, характерною для цих метеоявищ. Часто спостерігається шарувата хмарність, з якої може випадати мряка. У теплий час року, особливо коли вологість теплого повітря не дуже висока, за фронтом відзначається малохмарна погода із слабкими серпанками. У випадку великої вологості і достатньої вертикальної нестійкості повітря можуть спостерігатися могутні-купчасті і купчасто-дощові хмари, іноді з грозами і зливами.

Холодні фронти в залежності від динаміки підрозділяються на холодні фронти першого і другого роду.

Холодний фронт першого роду являє собою холодний фронт який повільно рухається. Уздовж усієї поверхні фронту спостерігаються висхідні рухи теплого повітря, що приводить до формування надфронтальної шарувато-дощової хмарності.

У зоні холодного фронту першого роду можна виділити три ділянки з відносно однорідним характером видимості (рис. 2.2).

Ділянка а. Передня частина фронту і його хмарної системи. Розташована у теплому повітрі, яке переважно є стійкою повітряною масою. У холодний час року в ній спостерігаються серпанки, можливі тумани і шарувата

хмарність, мряка, що обмежують видимість. У теплий період року при значній вологості теплого повітря можуть формуватися хмари вертикального розвитку, особливо вдень. З якими зв'язані зливові опади, що значно погіршує видимість.

Ділянка б. Являє собою передню частину фронту. Поблизу земної поверхні фронт має крутий нахил. У передній його частині спостерігаються інтенсивні вертикальні рухи, що приводять до формування тут хмар вертикального розвитку. Купчасто-дощові хмари в літню пору зазвичай супроводжуються грозами, зливами, градом. Видимість погіршується до декількох метрів.

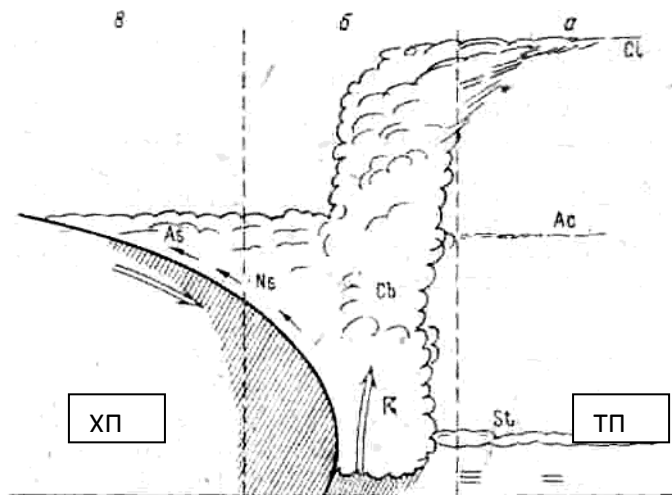


Рис.2.2 Схема ділянок зони холодного фронту I роду.

Ділянка в. Для холодного фронту першого роду характерне формування за лінією фронту надфронтальної шарувато-дощової хмарності, що переходить у високошарувату. Шарувато-дощові хмари безпосередньо примикають до фронтальної поверхні. Це створює таку картину погоди на даній ділянці фронту. Слідом за інтенсивними опадами (влітку зливами) у передній частині фронту починаються облогові опади. У зимовий час система хмар тут схожа на хмарну систему теплового фронту, будучи як би її дзеркальним відображенням. Видимість у зоні опадів залежить від сезону року. Ширина зони зафронтальних облогових опадів найчастіше складає 150-200 км.

Холодний фронт другого роду являє собою холодний фронт, який швидко рухається. Передня частина фронтальної поверхні нахилена круто, тепле повітря інтенсивно витісняється валом холодного повітря, що насувається. Динамічні умови приводять до формування хмар лише в передній частині фронту. У зоні фронту можна виділити три ділянки з однорідним характером видимості (рис. 2.3).

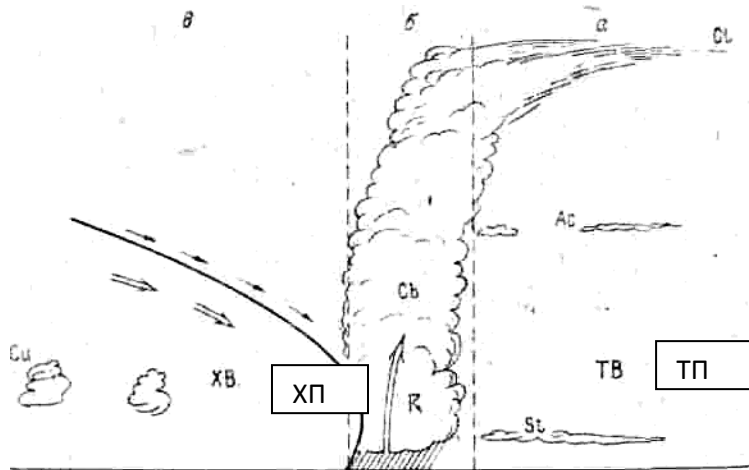


Рис.2.3 Схема ділянок зони холодного фронту II роду.

Ділянки а і б. На цих ділянках холодного фронту другого роду видимість приблизно така ж, як і на аналогічних ділянках холодного фронту першого роду. Різна лише інтенсивність зливових опадів на ділянці б. Купчасто-дошові хмари тут розвинуті сильніше, зливові опади і грози інтенсивніші, а отже, і видимість в опадах менше. Саме на холодному фронті другого роду влітку найчастіше виникають такі небезпечні метеорологічні явища, як смерчі і шквали, і супроводжуються пиловими бурями.

Ділянка в. Видимість на цій ділянці фронту принципово відрізняється від видимості на інших його ділянках. За лінією холодного фронту хмари над фронтальною поверхнею відсутні. Слідом за проходженням фронту настає прояснення. Видимість різко поліпшується, особливо при проходженні холодної ділянки арктичного фронту. Про видимість в арктичному повітрі вже говорилося.

Видимість у зонах фронту оклюзії. Розрізняють два типи фронтів оклюзії: по типу теплого фронту і по типу холодного фронту. Якщо в тилівій частині циклона розташовується більш тепла повітряна маса, а в передній

частині циклона — більш холодна, то утворюється фронт оклюзії по типу теплового фронту, чи теплий фронт оклюзії.

У цьому випадку поверхня теплового фронту залишається пов'язаною з землею, а поверхня холодного фронту відривається від землі і переміщається по поверхні теплового фронту. Поступово витісняючи тепле повітря, холодний фронт піднімається нагору. Тут він стає менш вираженим у полі температури й опадів і згодом розмивається. За умовами видимості можна виділити три ділянки в зонах фронту (рис. 2.4).

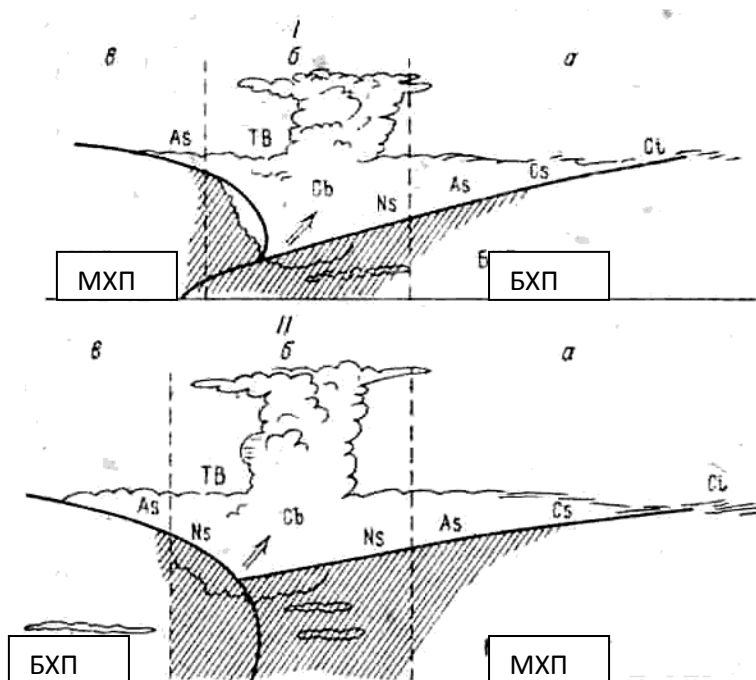


Рис.2.4 Схема ділянок зони фронтів оклюзії. I- по типу теплового фронту, II-по типу холодного фронту.

Ділянка а. Пов'язана з холодним повітрям — для даного типу фронту більш холодним (БХП) у порівнянні з менш холодним повітрям (МХП) за фронтом. На даній ділянці фронту видимість визначається характером повітряної маси. Якщо фронт оклюзії формується на арктичному фронті, то в БХП видимість краще, ніж в інших повітряних масах.

Ділянка б. Центральна ділянка зони фронту оклюзії. Тут спостерігаються найбільш складні метеорологічні явища. Випадають інтенсивні облогові опади з осередками зливових.

Ділянка в. Велика частина тропосфери зайнята холодним повітрям, видимість у якій аналогічна видимості на ділянці а.

Видимість у зоні фронту оклюзії по типу холодного аналогічна видимості в зоні фронту оклюзії по типу теплого.

Хмарна система вторинного холодного фронту аналогічна хмарній системі основного фронту, але залежить від ступеня нестійкості холодного повітря, що вторгається і від сезону року. Чим більш нестійка повітряна маса, тим більше ймовірні хмари вертикального розвитку. У холодне півріччя переважають шаруваті хмари, у тепле півріччя - хмари вертикального розвитку. Видимість у зоні вторинного холодного фронту залежить від стадії розвитку фронту, форми хмар і характеру опадів, що випадають.

2.2 Видимість у різних повітряних масах

Повітряна маса являє собою великий обсяг повітря в атмосфері, у межах якого погодні характеристики залишаються приблизно постійними по горизонталі. Повітряна маса переміщається як одне ціле в процесі загальної циркуляції атмосфери. Загальні властивості повітряних мас визначаються тим, що повітряна маса формується у визначеному місці, тобто над однорідною поверхнею і в однорідних радіаційних умовах. Переміщуючись в інші райони, повітряна маса поступово змінює свої властивості - трансформується.

Однак деякі її властивості продовжують зберігатися тривалий час. Зокрема, характеристиками повітряної маси є її вологість і каламутність, а отже, видимість у даній повітряній масі [1].

Дальність видимості в атмосфері (видимість) поза зоною хмар, серпанку, туманів і опадів залежить від ряду факторів. Основними можна вважати наявність у повітрі ядер конденсації - мікроскопічних крапель води, кристалів льоду і дрібних порошин. Зміст їх у різних повітряних масах розрізняється.

Якби повітря не містило водяної пари, мікроскопічних крапель і кристалів льоду (при низькій температурі), а також дрібних порошин, то видимість у ньому завжди була б доброю. Молекули газу повітря слабо розсіюють світло. В ідеальній атмосфері (яка не утримує зазначених

домішок) видимість могла б складати до 900 км. Чим менше міститься в повітрі аерозолів, тим краще видимість. Аерозолі розсіюють світло і зменшують видимість. Концентрація аерозолів максимальна в граничному шарі атмосфери і залежить від широти місця, властивостей земної поверхні, синоптичної обстановки і сезону року.

У граничному шарі атмосфери повна концентрація ядер конденсації знаходиться в межах $10 - 10^5 \text{ см}^{-3}$, а великих аерозольних часток $0,1 - 10^3 \text{ см}^{-3}$. У свою чергу концентрація дрібних часток конденсаційного і не конденсаційного походження залежить від температури повітря, його вологості і турбулентного стану, а також від стану земної поверхні. Усі ці фізичні характеристики повітря впливають на дальність видимості в атмосфері.

На видимість в атмосфері впливають також характер ґрунту і рельєф місцевості. Сухий піщаний і супіщаний ґрунт за інших рівних умов більш сприятливий для запилення повітря [11].

Крім того, кількість порошин, що надходять у повітря, залежить також від швидкості вітру. При сильному вітрі пил піднімається не тільки з піщаного ґрунту, але і з чорноземів, не покритих рослинністю та снігом.

Такі ситуації виникають на півдні України при суховійних процесах. Пилу іноді піднімається настільки багато, що виникають так названі чорні бурі. У цих випадках відзначається не просте помутніння атмосферного повітря, а дуже значне погіршення видимості [13].

Характер рельєфу також деякою мірою впливає на видимість. Вітрова ерозія може бути при будь-якому рельєфі, однак від топографії місцевості залежить, наскільки далеко розноситься пил. У низинах вітер слабшає, і буря стихає. На перегінах рельєфу вітер підсилюється, і якщо ґрунт не закріплений рослинністю, то відбувається її видування, що сприяє формуванню бурі.

У синоптичному відношенні фактори, що обумовлюють видимість у різних повітряних масах, можна поділити на дві основні групи: макромасштабні і мезомасштабні. До макромасштабних відносяться фактори, пов'язані з формуванням і переміщенням повітряних мас. До мезомасштабних відносяться фактори, пов'язані з місцевою циркуляцією повітря, з топографією місцевості, наявністю над відповідною територією

таких водних об'єктів, як великі озера і ріки, а також наявністю індустріальних центрів. Немаловажну роль у формуванні видимості, у повітряних масах континентального походження, влітку грає ступінь покриття суші рослинністю, а також характер цієї рослинності.

До макромасштабних факторів необхідно в першу чергу віднести географічне положення і характер місцевості формування повітряних мас. Так, повітряні маси, що сформувалися в умовах низьких температур у високих широтах, мають невелику вологість - чим нижче температура повітря, тим менше його абсолютна вологість. Крім того, істотний вплив на видимість робить і характер земної поверхні. У високих широтах немає умов для запилення повітря.

Слід зазначити, що повітряні маси, що сформувалися над водними просторами, містять мало пилу і за інших рівних умов видимість у них краща, ніж у повітряних масах, що сформувалися над континентами, де з земної поверхні в повітря піднімаються дрібні тверді частки.

2.3 Погіршення видимості внаслідок антропогенного впливу та при різних явищах

Локальні погіршення видимості можуть бути викликані антропогенним впливом. Наприклад, у районах великих міст прозорість атмосфери знижена (тобто і видимість погіршена) [19]. Часом погіршення видимості може, бути настільки значним, що ускладнює польоти. Так, м. Апатити та Кривий Ріг періодично піддаються впливу пилу від виробництва копалин. В аеропорту Кіровськ вплив пилу іноді буває настільки суттєвим, що з метою безпеки, польоти приходиться скасовувати. Однак такі ситуації мають локальний характер і виникають поблизу великих промислових центрів.

У подібних ситуаціях істотне значення має напрямок вітру. Якщо вітер спрямований на аеродром з боку міста (індустріального об'єкту), то аеродром закривається зоною повітря з поганою видимістю.

Дощ і мряка на досліджуваній території погіршує видимість переважно не більш ніж до 1000 м. При цьому погіршення видимості за рахунок мряки пов'язано з виникненням шаруватих хмар [11].

Виключення складають синоптичні процеси, коли при вторгненні південних циклонів нерідко створюються сприятливі умови для розвитку значної вертикальної нестійкості у вологому повітрі й утворення інтенсивних злив. Іншим синоптичним процесом, що сприяє утворенню тут злив, є формування глибоких баричних улоговин і розвиток хвильових збурень на холодних атмосферних фронтах у цих улоговинах. Літні зливи при таких ситуаціях можуть погіршувати видимість не тільки до 1000 м, але в окремих випадках до 500 і менш.

Снігопади і хуртовини на території України спостерігаються в холодний період року, але, повторюваність їх різна [7, 11]. Основними причинами, що обумовлюють інтенсивні снігопади і хуртовини, є характер циклонічної діяльності і інших синоптичних процесів. Суттєве значення для розвитку хуртовин має характер земної поверхні. Так число днів із хуртовиною навіть на порівняно невеликій території регіону може бути суттєво різним. Про це можна судити за даними розподілу на протязі року повторюваності хуртовин на станціях України. Сильною є хуртовина, яка виникає при сильному чи помірному снігопаді тривалістю не менш 12 годин і при швидкості вітру не менш 15 м/с. На території, що досліджується повторюваність видимості менш 1000 м під час хуртовини дорівнює 0,5 -1,5 % [11].

Тумани займають особливе місце в аналізі метеорологічної дальності видимості. Серед метеорологічних явищ, які погіршують видимість більш ніж 1000 м, переважають туман, від 1000 до 2000 м – серпанки.

Документи ІКАО свідчать про те, що й в інших країнах туман є основним метеорологічним явищем, що погіршує видимість до норм, передбачених мінімумами [1, 20].

Туман являє собою скупчення у повітрі навколо земної поверхні крапель води чи кристалів льоду, які погіршують видимість (до 1000 метрів і менше). Число днів з туманом залежить від орографії місцевості, що можна спостерігати на прикладі території України [13]. Тут у рівнинній місцевості тумани спостерігаються в середньому 40-60 днів на протязі року. Однак у Карпатах їхня повторюваність збільшується до 80 днів на рік, а в найбільш

піднесеній частині навіть до 110 днів. У південній частині України, на узбережжі Азовського і Чорного морів, відзначається 40 - 50 днів з туманами. На території Донецького кряжа повторюваність зростає до 80-100 днів, а північніше Донбасу зменшується до 30 днів, що обумовлено впливом низхідних повітряних потоків при південних виносках теплої і вологої повітря. Особливо помітний вплив орографії на розподіл туманів у Криму. На узбережжі тут буває 20-30 днів з туманами на рік; у горах – до 50-80 днів, а на Ай-Петрі – у середньому 183 дні. Тривалість туманів у холодний (листопад-березень) і теплий (квітень-жовтень) періоди року суттєво розрізняється.

В Одесі середня тривалість туманів у холодний час року на 35 % більша, ніж у теплий період; тривалість до 6 годин дорівнює 64 і 75 % відповідно, більш 12 годин – 16 і 7% [10]. Видимість у туманах на території України в основному не перевищує 300 м. У Києві повторюваність видимості в тумані менш 300 м складає 66 %, в Одесі-80 %, у той час як видимість більш 500 м - 17, і 12 % відповідно. У Кишиневі на видимість до 400 м припадає 64,5 % усіх випадків з туманами, на видимість більш 600м – 22,5% [14].

Пилова буря являє собою перенос сильним вітром великої кількості пилу і піску, при якому відбувається значне погіршення видимості. На Україні основні місця пилової бурі розташовані на півдні території. Інтенсивність пилових бур тут іноді буває настільки значною, що чорнозем, який піднімається з земної поверхні, створює замети на залізницях. У таких випадках можуть видуватися шари ґрунту товщиною 15-20 см, [3] у повітря піднімаються мільйони тонн чорноземного пилу, який погіршує видимість до висоти 400-500 м. Пилова хмара може переноситися сильним вітром до Румунії і Польщі. Найчастіше це відбувається в період з березня по жовтень. Оскільки з поверхні ґрунту піднімається чорнозем, пилові бурі називають тут чорними бурями.

Імла - це помутніння повітря, створене частками пилу, гару, диму і яке переноситься за допомогою висхідних потоків повітря і турбулентності. Це явище найбільш часто буває в пустелях і напівпустелях. Видимість при імлі звичайно складає 2-4 км. Імла може спостерігатися і над територією України, де вона викликається лісовими пожежами, димом при згорянні торфовищ.

3 УМОВИ ФОРМУВАННЯ ВИДИМОСТІ МЕНШЕ 3 КМ В РАЙОНІ АЕРОПОРТУ ОДЕСА

3.1 Географічна характеристика аеропорту Одеса

Пункт спостереження Одеса АМСЦ розташований на південно - західній околиці міста Одеси на степовій рівнині, яка має слабкий ухил до Чорного моря і є частиною Причорноморської низовини. Аеропорт оточений з усіх боків лісовими насадженнями. Мінімальна видалення аеропорту від моря становить 8 км на південь. У 35 км на північний захід знаходиться Дністровський лиман, відділений від моря вузькою піщаною смугою. У 35 ... 40 км на захід від аеропорту протікає р. Дністер. У 12 км на північ розташовані Куяльницький і Хаджибейський лимани [14].

Злітна - посадкова смуга (ЗПС) орієнтована в напрямку 340 ... 160 °. Сектора підходу до ЗПС вільні, природних перешкод для зльоту і посадки немає. Аеропорт Одеса забезпечує цілорічну експлуатацію по метеомінімуму 1-ї категорії ІКАО з двох курсів.

3.2 Повторюваність метеорологічних явищ, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса- АМСЦ в 2015-2019 рр.

Для аналізу повторюваності виникнення метеорологічних явищ, які погіршують видимість в районі ст. Одеса-АМСЦ до 3 км отримані дані про фактичну погоду з телеграм METARсайту метеорологічного сервісу гр.5 [31]. Всього проаналізовано 12755 спостережень на ст. Одеса-АМСЦ за розглянутий період.

Найчастіше причиною зниження горизонтальної видимості в районі метеостанції Одеса-Аеропорт був туман - 41,9 % (рис. 3.1). Досить часто видимість знижувалася і за рахунок формування серпанку (33,5 %). Дощ і мряка на досліджуваній території погіршувала видимість переважно не більш

ніж до 1000 м, але в досліджуваній період виявлені випадки зниження видимості і нижче 1000 м. Їх повторюваність змінювалася від 0,5 до 3,7 % в мряки та від 0,1 до 1,3 % у зливовому дощу (табл. 3.1, рис. 3.2).

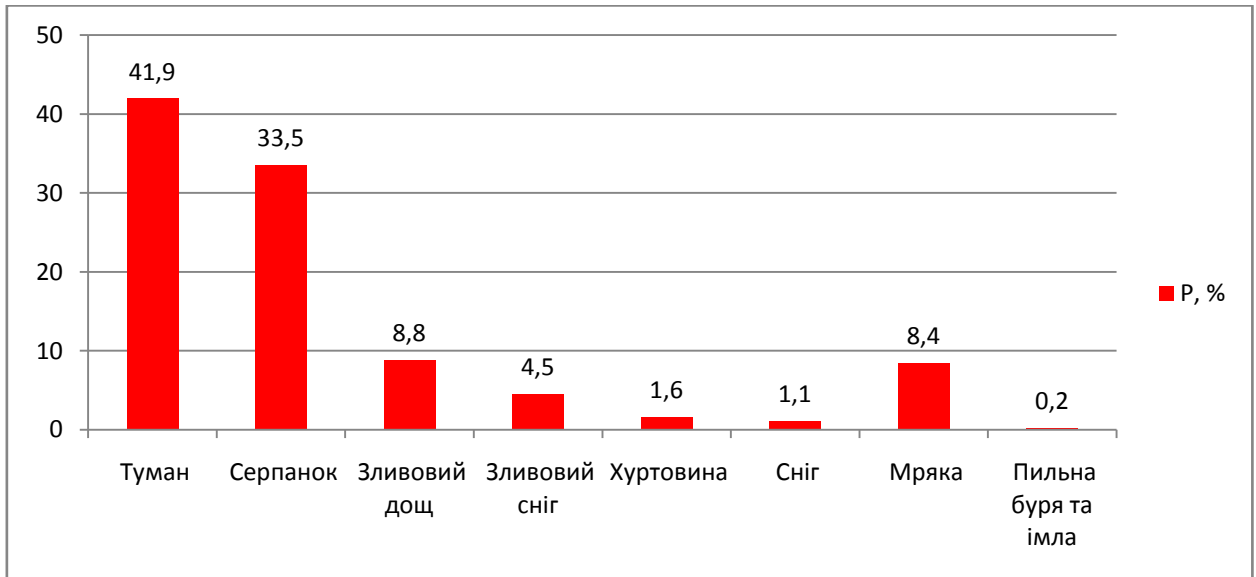


Рис. 3.1. Повторюваність (%) метеорологічних явищ, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса- АМСЦ в 2015-2019 рр.

Таблиця 3.1-Повторюваність (%) видимості різних градацій в залежності від метеорологічних явищ. 2015-2019 рр.

Явища	Видимість, м						Σ
	<50	100-200	201-500	501-1000	1001-2000	2001-3000	
1. Туман	0,2	10	17	14,7			41,9
2. Серпанок					16,9	16,6	33,5
3. Зливовий дощ		0,1	0,4	1,3	3,6	3,4	8,8
4.Зливовий сніг				0,9	1,9	1,7	4,5
5. Хуртовина				0,1	1,1	0,4	1,6
6. Сніг					0,4	0,7	1,1
7. Мряка		0,5	1,4	3,7	1,8	1	8,4
8. Пильна буря та імла					0,1	0,1	0,2
Σ	0,2	10,6	18,8	20,7	25,8	23,9	100

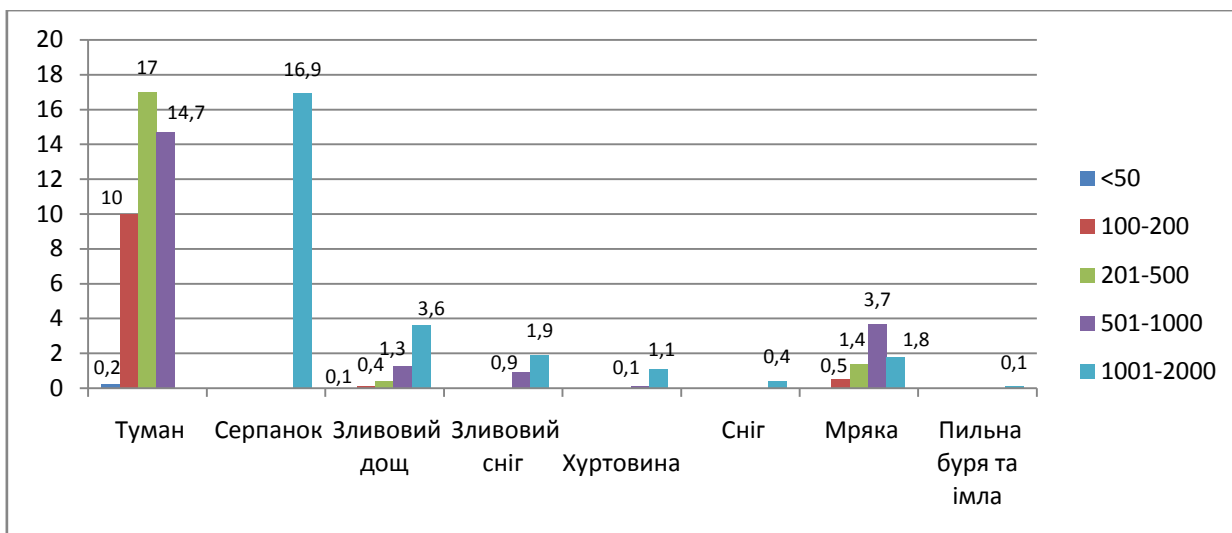


Рис. 3.2. Повторюваність (%) видимості різних градацій в залежності від метеорологічних явищ. 2015-2019 рр.

Погіршення умов горизонтальної видимості під впливом хуртовин та пилових бур відбувалося на даній території в 1,6 і 0,2% випадків від загальної кількості спостережень.

3.3 Синоптичні умови виникнення низької видимості на ст. Одеса-Аеропорт

За допомогою німецької бази даних Wetterzentrale [32], щодо виявлення основного типу синоптичних процесів, які у більшості випадків обумовлюють погіршення видимості на півдні України до 3 км, здійснений аналіз щоденних приземних карт и карт баричної топографії за період з січня 2015 по грудень 2019 років в строк спостереження 00 UTC, з урахуванням приземної карти погоди за 06 или 12 UTC. За даний період всього виявлено 445 випадків погіршеної дальності видимості. Випадки розраховувалися, як кількість днів у які спостерігалися різні метеорологічні явища, що погіршують видимість. При цьому, як правило, ці умови зберігалися протягом доби і більш, особливо в холодне півріччя.

Для аналізу структури синоптичних умов які приводять до погіршення видимості на ст. Одеса-АМСЦ використовувалась типізація синоптичних процесів, яка розроблена на кафедрі метеорології та кліматології[10].

Тип 1. Периферійні атмосферні процеси, до яких відносяться переноси всіх напрямків: підтип 1.1 - західний і північно-західний, підтип 1.2- південний, підтип 1.3 - східний і підтип 1.4- північний перенос.

Тип 2. Циклонічна циркуляція. До цього типу належать області зниженого тиску, які розташовуються над Україною (підтипи 2.1 і 2.2).

Тип 3. Антициклонічна циркуляція. Цей тип (підтипи 3.1, 3.2, 3.3) являє собою антициклони, які орієнтовані із заходу і сходу, а також мало градієнтні поля підвищеного тиску.

Тип 4. Малоградієнтні баричні поля (підтипи 4.1 і 4.2).

Тип 5. Периферійні атмосферні процеси, пов'язані з проходженням атмосферних фронтів (підтипи 5.1, 5.2).

Тип 6. Циклонічні циркуляції з великими баричними градієнтами ($\partial P/\partial n \geq 2,5 \text{ гПа}/111 \text{ км}$). Цей тип поділяється на чотири підтипи.

За даними архівної вибірки розрахована повторюваність типів синоптичних процесів, які були розглянуті вище для усіх місяців сезонів та повторювальність числа випадків видимості різних градацій.

В перший тип синоптичних процесів – це випадки, коли територія що досліджується знаходиться під впливом периферійних баричних полів як зниженого, так і підвищеного тиску. Повторюваність даного типу складає 13,5 %, (454 випадку) (рис.3.3).



Рис. 3.3. Повторюваність (%) підтипів синоптичних процесів, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса- АМСЦ в 2015-2019 рр.

Значна повторюваність випадків погіршення видимості (7,9 %), спостерігалася при південному переносі (підтип 1.2), якій відзначається в передній частині циклону і на західній периферії антициклону. Зазвичай при такій синоптичній ситуації над північним узбережжям Чорного моря розташовується малоградієнтне поле тиску, яке утворюється внаслідок блокування циклону, що переміщується з Норвезького і Баренцевого морів, Сибірським антициклоном (рис. 3.4 а).

У циклонічних полях погіршення видимості наступало при підтипі 2.1 (рис. 3.4 б) - центр циклону і улоговина з південної та східної складовими, які пов'язані з виходом південних циклонів, а також видолинки, орієнтовані з півночі і північного заходу від циклонів, які утворилися над районами Північної Атлантики (5,6 %).

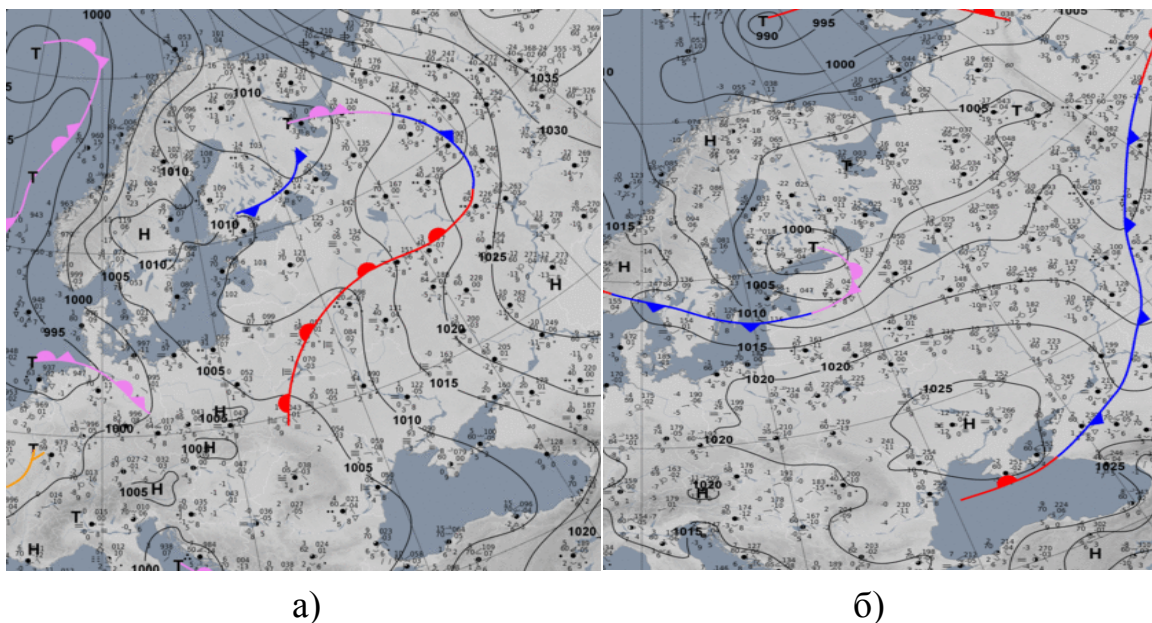


Рис. 3.4. Підтип 1.2 (а), підтип 2.1 (б)

На баричні поля підвищеного тиску (рис. 3.5 а), де значення баричних градієнтів ($\partial P/\partial n$) коливаються 0,7 до 1,5 гПа/111 км, доводилося найбільша кількість повторюваності умов погіршення видимості, в порівнянні із загальною кількістю випадків (29,2%), при цьому на підтип 3.3 (малоградієнтне поле підвищеного тиску і центральна частина антициклону) – 19,1 %.

Досить часто формувалася низька видимість в малоградієнтних баричних полях (підтипи 4.1 та 4.2 – 9 і 7,9 %, відповідно) (рис. 3.5 б).

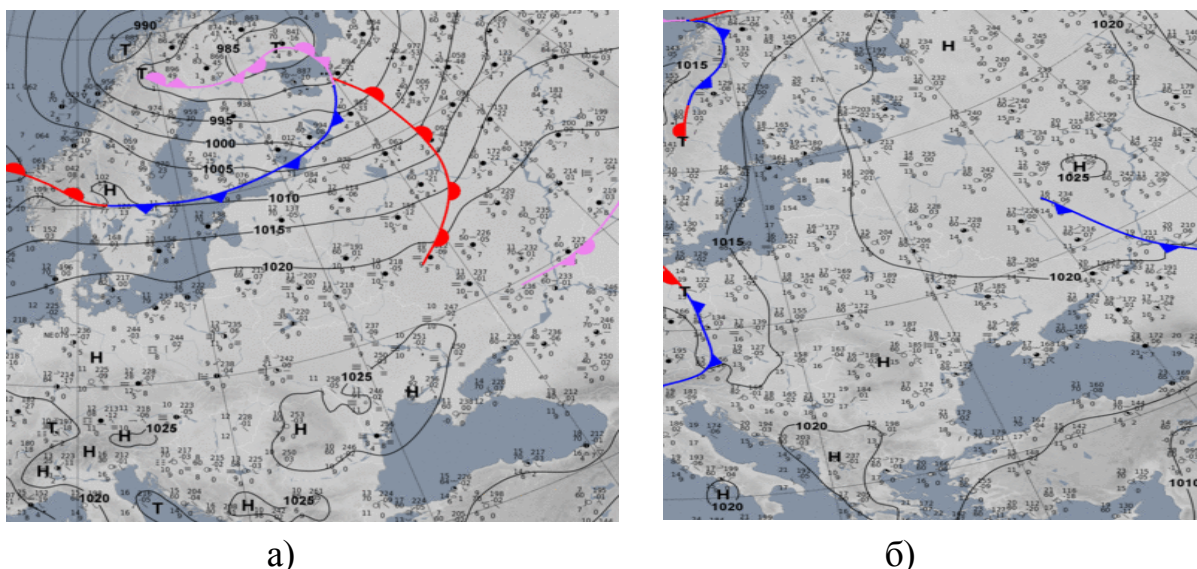


Рис. 3.5. Підтип 3.3 (а), підтип 4.1 (б)

Значна повторюваність випадків погіршення горизонтальній дальності видимості (10,1 % підтип 5.1) також фіксувалося при периферійних атмосферних процесах, пов'язаних з проходженням атмосферних фронтів (рис. 3.6 а).

При циклонічній циркуляції з великими баричними градієнтами ($\partial P / \partial n \geq 2,5$ гПа/111 км) формувалось 22,5 % випадків погіршення видимості. Найбільша кількість при цьому припадала на підтип 6.3-уловина з фронтами – 9 % (рис. 3.6 б).

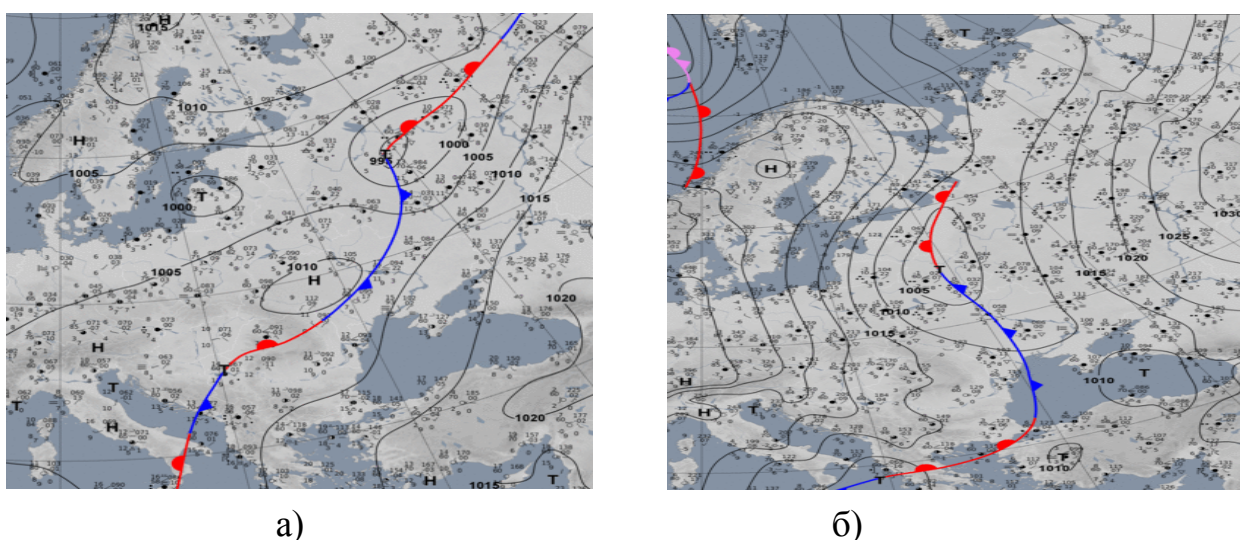


Рис. 3.6. Підтип 5.1 (а), підтип 6.3 (б)

Найбільша кількість випадків зменшення видимості на станції Одеса-АМСЦ за досліджуваний період відзначалося в холодне півріччя (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Повторюваність (ч. вип.) типів синоптичних процесів, які обмежували видимість до 3 км на ст. Одеса- АМСЦ в 2015-2019 рр.

Типи синопт. Процесів	Підтипи синопт. Процесів	Місяці року											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI I
1 Периферійні процеси	1	10	5	10	5							10	20
	1.1			10									10
	1.2	5	5		5							10	10
	1.3												
	1.4	5											
2 Циклонічна діяльність	2	5							5				
	2.1	5							5				
	2.2												
3 Антициклонічна діяльність	3	5	5		15	10	5				65	10	15
	3.1		5				5						
	3.2										20	10	5
	3.3	5			15	10					45		10
4 Малоград. баричні поля	4	5	15	10	10	20		10	5				
	4.1		15	10				10	5				
	4.2	5			10	20							
5 Периферійні процеси з проходжен. фронтів	5	15		5	15	5					5	10	
	5.1	10		5	10	5					5	10	
	5.2	5			5								
6 Циклонічна циркуляція з великими баричними градієнтами	6	45	10			10					5	20	20
	6.1	10										5	
	6.2	5	5										5
	6.3	15	5			5					5	15	
	6.4	15				5							15
Σ	445	85	35	25	45	45	5	10	10	0	80	50	55

Формування видимості до 3 км і менше спостерігалось у більшості випадків в січні (85 вип.) у периферійних малоградієнтних баричних полях з проходженням фронтів та під впливом циклонічної діяльності і атмосферних фронтів, відносно 15 і 45 випадків. В основному, видимість погіршувалась внаслідок формування туманів, а при проходженні активних атмосферних фронтів спостерігався зливовий сніг та хуртовини. У жовтні також відзначалась значна кількість випадків погіршення горизонтальної видимості (80 вип.), але вже в антициклонічних полях - 65 вип. Всі ці випадки були

пов'язані з формуванням туманів і серпанку. У листопаді та грудні погіршення умов видимості спостерігалось в 50 і 55 випадків, в основному під впливом проходження атмосферних фронтів і формування зон туманів. У березні та квітні в малоградієнтних баричних полях також зафіксована значна частка випадків (35 и 25, відповідно), невелика кількість типів 2 та 4 зафіксована у липні. Погіршення видимості відбувалося при проходженні гроз і випаданні зливових опадів. За даними табл. 3.3 найбільше випадків з видимістю менше 1000 м пов'язано з периферійними малоградієнтними баричними полями (підтипи 4.2 та 1.2).

Таблиця 3.3 - Повторюваність (%) видимості різних градацій в залежності від типів синоптичної ситуації. 2015-2019 рр.

Підтипи синопт. процесів	Видимість, м					
	<50	100-200	201-500	501-1000	1001-2000	2001-3000
1.1	-					2,3
1.2	-			5,6	1,1	
1.3	-					
1.4						
2.1	1,1		2,3	1,1	3,4	1,1
2.2				1,1		
3.1			1,1		1,1	2,3
3.2				2,3	3,4	2,3
3.3	1,1	6,7		2,3	3,4	1,1
4.1				3,4	2,3	2,3
4.2			1,1	6,7	2,3	
5.1			1,1	3,4	3,4	1,1
5.2				1,1		
6.1			1,1		1,1	
6.2					1,1	1,1
6.3		2,3		1,1	4,5	2,3
6.4				2,3		3,4

Діапазон зниження видимості до 100-200 м, в більшості випадків спостерігався в антициклональному полі - 6,7%, внаслідок формування великих зон туманів. У деяких випадках падіння видимості зазначалося до 0 м. Серпанки формувалися як в циклонічних полях, так і в полях підвищеного тиску, але найбільш часто вони відзначалися при проходженні атмосферних фронтів (4,5%) або при виході південних циклонів на територію південно-західного узбережжя Чорного моря (3,4 %).

4 ПРОГНОЗУВАННЯ ВИДИМОСТІ

4.1 Огляд основних сучасних методів прогнозу видимості

З аналізу даних практичного використання в авіації, а також результатів експериментальних і теоретичних досліджень, зроблено висновок про те, що питання аналізу і прогнозу характеристик видимості є одним з найбільш важливих. Питанням аналізу і прогнозу видимості значну увагу приділено в роботах Л.С. Зверєва. М.В. Петренко. І.В. Кошеленко. М.Я. Рацімор. З.К. Бабенко. Д.М. Зенкевич та ін.[1-9, 18].

Існує кілька чисельних методів прогнозу дальності видимості, що використовують в якості вхідних параметрів значення вологості атмосфери, температури повітря, точки роси, швидкості вітру та інших метеорологічних параметрів. В [8] проводиться порівняння декількох чисельних методів прогнозу туману, з яких хочеться відзначити наступні два.

1. Метод SW99, розроблений співробітниками Національного центру атмосферних досліджень (NCAR) США [28], є дослідницьким елементом пост-процесингу глобального прогнозу погоди. Він заснований на принципі, що яскравість об'єкта, що досягає положення спостерігача, є сумою власної яскравості об'єкта, ослабленою за законом Бугера - Ламберта - Бера при проходженні через яка поглинає середу, якої в даному випадку є гідрометеори (крапельки води, сніжинки і кристалики льоду), і яскравості шару середовища між об'єктом і точкою спостереження. Як показник ослаблення β використовується сума статечних функцій масових концентрацій гідрометеорів: водних частинок (C_{sw} , г / м³), дощових крапель (C_{rw} , г / м³), кристалів льоду (C_{ci} , г / м³) та снігу (C_{sn} , г / м³), порогове значення яскравості контрасту ε_3 приймається рівним 0,05. Вагові множники підібрані відповідно до [26,27].

2. «Дискримінантний метод», розроблений співробітниками МДУ ім. М.В. Ломоносова і Гідрометцентру Росії [8] на основі аналізу даних про туманах з 12 метеорологічних станцій мережі Московської області за 2000-2013 рр. Метод розрахунку дальності видимості заснований на використанні

дискримінантної функції двох аргументів: відносній вологості RH і швидкості вітру $10 W$. Функція прагне до нуля при значенні вологості, що перевищує 97,5%, і при швидкості вітру від 0 до 3,5 м / с.

Для прогнозу видимості в серпанку розроблені тільки критерії за якими визначають приблизні характеристики видимості.

Для північних районів Росії на основі аеросиноптичних і метеорологічних умов при погіршенні видимості в сильному зливовому дощу до 2000 м і менш за період з 1978 р. по 1984 р. були отримані рівняння регресії для прогнозу видимості на холодних фронтах.

В 1985-1988 рр. було проведено оперативне випробування даних прогностичних рекомендацій. Оцінка прогностичного значення видимості в зливовому снігу здійснювалася відповідно до критеріїв НМО ГА-82. Результати оцінки показали, що загальна виправданість прогнозу видимості в зливовому снігу склала 82,8 %, виправданість при різних градаціях видимості змінювалася від 92,5 % (≤ 1000 м) до 71,4 % ($1000 \leq 2000$ м). При проходженні вторинного холодного фронту виправданість склала 89,5 % при проходженні фронту оклюзії – 80 % , холодного фронту - 76,4 %

Таким чином, загальна методика проведення досліджень опирається на результати, які отримані у роботі, де аналіз повторюваності типів синоптичних процесів на південному заході України показує, що периферійні малоградієнтні баричні поля найбільш часто обумовлюють погіршення видимості до 3 км і менше та складають 29 % випадків від загальної кількості. З цим типом синоптичної ситуації пов'язана і найбільша кількість випадків з погіршеною (менш 200 м) видимістю.

4.2 Одержання регресійної моделі та її випробування

У даній роботі для складання методики прогнозу видимості використовувалися дані спостережень METAR за дальністю видимості і метеорологічними параметрами на аеродромі Одеса-аеропорт (2015-2019 рр). З метою одержання рівнянь регресії було використано 15 різних метеорологічних і синоптичних предикторів для периферійних

малоградієнтних баричних полів як зниженого, так і підвищеного тиску. Для вибору інформативної сукупності факторів використовувався метод покрокової регресії з вірогідністю 95% [22]. Розрахунок найбільш інформативних предикторів здійснювався для градацій видимості:

<1 000 м і > 1 000 <3 000 м, з умовою - хмарність >0 октантів чи «небо не видно» і безхмарно.

У результаті була отримана регресійна модель для діагнозу та прогнозу видимості по ст. Одеса-АМСЦ по чотирьох і трьох статистично значимих предикторах.

Для випадку: $VV < 1\ 000$ м і хмарності >0 октантів чи «небо не видно»:

$$VV = 0,2105D + 0,0001H + 0,0088T - 0,0301ff + 0,4107 \quad (4.1)$$

Для випадку: $VV > 1\ 000 < 3\ 000$ м і хмарності >0 октантів чи «небо не видно»:

$$VV = 0,3360D + 0,0002H + 0,1503ff + 1,5182 \quad (4.2)$$

де VV – видимість; D – дифіцит вологості; H - висота хмарності; T – температура повітря; ff - швидкість вітру у поверхні землі.

Для безхмарної погоди розрахунок не здійснювався з причини статистично не значимого ряду вибірки, при $VV < 1\ 000$ м спостерігалось 8 випадків.

На незалежних даних 2020 р. було проведено випробування регресійної моделі. Оцінка виправданості значення видимості здійснювалася відповідно до критеріїв вказаних у [2]. Результати обчислень наведені у таблицях (4.1 і 4.2) показали, що виправданість прогнозу видимості (<1 000 м) склала 87 %, виправданість прогнозу видимості (> 1 000 < 3 000 м) склала 78 %, що показує на високу виправданість прогнозу.

Статистична значимість предикторів встановлена за фактичними значеннями критерію Стьюдента. Для рівняння (4.1) вони становлять: D - 3.4311; H – 1,7677; T – 3,0119; ff = - 1,6492; вільне значення – 9,7453 при критичному $t(0,05;360) = 1,96$.

Для рівняння (4.2) вони становлять: D - 3,2998; H – 1,8387; ff - 3,1814; вільне значення – 11,5274 при критичному $t(0,05;119) = 1,96$.

Таблиця 4.1 - Розрахунок видимості за умовою $VV < 1\ 000\ м$ і хмарності > 0 октантів чи «небо не видно».

№	ДАТА	МДВ, м за даними спостережень	МДВ, м за рівнянням (4.1)	Різниця між даними і розрахунками	Виправдан ність
1	10.01	500	414	86	+
2	14.01	100	393	-293	-
3	15.01	600	471	129	+
4	16.01	400	423	-23	+
5	26.01	300	384	-84	+
6	27.01	500	407	93	+
7	28.01	500	359	141	+
8	29.01	500	380	120	+
9	01.05	800	671	129	+
10	02.05	700	490	210	-
11	03.05	500	500	0	+
12	04.05	500	503	-3	+
13	07.05	600	665	-65	+
14	09.06	100	556	-456	-
15	10.06	500	604	-104	+
16	13.06	600	544	66	+
17	12.08	700	580	120	+
18	27.08	500	544	66	+
19	30.08	600	617	-17	+
20	25.09	300	448	-148	+
21	02.10	700	518	182	+
22	10.10	700	595	105	+
23	12.10	300	414	-114	+
24	17.10	500	393	107	+

Таблиця 4.2 - Розрахунок видимості за умовою $VV > 1\ 000 < 3\ 000$ м і хмарності > 0 октантів чи «небо не видно».

№ з/п	ДАТА	МДВ, м (за даними спостережень)	МДВ, м (розрахунки за рівнянням (4.2))	Різниця між даними і розрахунками	Виправданність
1	10.01	1400	1582	-182	+
2	15.01	1500	1975	-475	-
3	19.01	2000	2131	-131	+
4	27.01	1400	1518	-118	+
5	28.01	2400	1980	420	-
6	29.01	2100	2131	-21	+
7	20.02	1100	1980	-880	-
8	01.05	1300	1500	-200	+
9	02.05	1600	1725	-125	+
10	03.05	1400	1518	-118	+
11	04.05	1300	1480	-180	+
12	28.05	2700	2612	88	+
13	07.06	1400	1530	-130	+
14	10.06	1100	1218	-118	+
15	30.08	1300	1500	-200	+
16	02.09	1100	1218	-118	+
17	25.09	1200	1318	-118	+
18	02.10	1600	1716	-116	+
19	03.10	2300	1518	782	-
20	10.10	2200	2131	69	+
21	12.10	1200	1518	-318	-
22	17.10	1400	1566	-166	+

Розрахунок за даним методом рекомендується здійснювати з 3-х до 14-и годинною завчасністю при сприятливій синоптичній ситуації, звертаючи увагу на кількісні зміни висоти хмар, швидкості вітру, дефіциту вологості і баричної тенденції. При збільшенні вказаних параметрів: дефіциту на $0,3^{\circ}\text{C}$; вітру до 3 м/с; висоти хмар до 200 м, треба використовувати рівняння (4.2).

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської роботи отримані наступні результати:

1. Аналіз розглянутого в курсовій роботі матеріалу дозволяє зробити висновок про те, що видимість в атмосфері дійсно є однією із самих складних метеорологічних величин, яка має вирішальне значення, щодо оцінки успішного виконання різних завдань.

2. Погіршення горизонтальній видимості на станції Одеса-АМСЦ в період з 2015 по 2019 рр. відбувалося в 41,9 % при формуванні туманів.

3. Виявлено, що найбільша повторюваність та найбільше погіршення умов видимості на ст. Одеса-АМСЦ спостерігалось у антициклонах та малоградієнтних баричних полях підвищеного тиску (29,2 %) в усі сезони.

4. Погіршення видимості зазначалося, в основному, в холодний період року за рахунок формування туманів (50-80 % випадків). У літній період-видимість зменшувалася в зонах формування внутрімасових гроз і випадання зливових опадів.

5. Використовуючи дані спостережень за період з 2015 по 2019 роки методом покрокової регресії отримана регресійна модель для діагнозу та прогнозу видимості на ст. Одеса-АМСЦ.

6. Результати обчислень на незалежному матеріалі (2020 р.) показали, що виправданість прогнозу видимості (<1 000 м) склала 87 %, виправданість прогнозу видимості (> 1 000<3 000 м) - 78 %, що показує на досить задовільні результати прогнозу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баранов А. М. Видимость в атмосфере и безопасность полетов / Под ред. П.Д. Астапенко . Л. : Гидрометеиздат, 1991. 205 с.
2. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология: Учебник. Санкт-Петербург. : Гидрометеиздат, 2005. 327 с.
3. Бабенко З.Е. Условия образования тумана и методика его прогноза в отдельных районах Средней Азии: автореф. дис. канд. геогр. наук. Ташкет: Среднеазиатский региональный научно-исследовательский институт им. В.А. Бугаева. 1984.
4. Верзунов С.Н. Применение глубоких нейронных сетей для краткосрочного прогноза дальности видимости/ Проблемы автоматизации и управления. 2019, №1 (36).<http://doi.org/10.5281/zenodo.3253019>
5. Гаврилов В. А. Видимость в атмосфере / Под ред. П.Д. Астапенко. Л. : Гидрометеиздат, 1966. 324 с.
6. Дорофеев В.В. Оперативные параметры наклонной видимости в сложных метеорологических условиях. // Метеорология и гидрология. 2004. Вып. 3. С. 75-84.
7. Зенкевич Д. И. Анализ условий ухудшения видимости в снегопадах и прогноз видимости в аэропорту Колпашево // Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета. 1984. № 64. С. 77 – 84.
8. Зароченцев Г.А., Рубинштейн К.Г., Бычкова В.И., Игнатов Р.Ю., Юсупов Ю.И. Сравнение нескольких численных методов прогноза туманов // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 12. С. 981-987.
9. Зароченцев Г.А., Рубинштейн К.Г. Комбинированный метод прогноза дальности видимости и тумана \Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 1 (375). С. 113-129. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-1-113-129>
10. Івус Г. П., Агайар Э.В. Фізико-статистичний аналіз і прогноз слабкого вітру та інверсій температури над територією Північно-Західного Причорномор'я. Одеса: ТЕС. 2018. 201 с.
11. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди . Одеса: ТЕС. 2012. 407 с.

12. Ивус Г.П., Боровская Г.А., Сухов А.А. Вероятностная связь видимости на пунктах мезополигона Северо – Западного Причерноморья\Культура народов Причерноморья, 2005. С.120-122
13. Клімат України / Під ред. В. М. Липинського. Київ. 2003. 564 с.
14. Климат Одессы /Под ред. Л.К. Смекаловой и Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 174 с.
15. Кравец Г. М. Рекомендации для прогноза видимости в ливневом снеге // Информационный сборник. 1990. №19. с. 43 - 47.
16. Ковалев В. А. Видимость в атмосфере и ее определение / Под ред. Н.П. Парамонова. Л. : Гидрометеиздат, 1988. 216 с.
17. Правила метеорологічного забезпечення авіації. Київ: 2015.
URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE27709.html
18. Рацимор М. Я. Наклонная видимость / Под ред. К.Г. Абрамовича. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 136 с.
19. Сухов А.А., Ивус Г.П. Синоптические процессы, способствующие ограничению видимости в северо-западном Причерноморье. Матеріали VII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ.Одеса: ОДЕКУ. 2007. С. 68-69.
20. Технический регламент. Сборник основных документов № 2 Том II — Метеорологическое обслуживание международной авионавигации.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5528
21. Шаронов А. Ю. Метеорологические условия в момент авиационных катастроф в странах – членах ИКАО // Опасные для полетов метеорологические явления и безопасность полетов воздушных судов. Л. : Изд. ОЛАГА. 1984. С. 82 – 86.
22. Школьный Є. П., Лоева І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. Одеса. 1999. 578 с.
23. Chaabani H., WerghiN.,KamounF., Taha B., OutayF., Yasar A.Estimating meteorological visibility range under foggy weather conditions: A deep learning approach.Procedia Computer Science. Vol. 141. 2018. PP.478-483
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.139>
24. Gallen, Romain, Aurélien Cord, Nicolas Hautière, and Didier Aubert. “Towards night fog detection through use of in-vehicle multipurpose cameras”, IEEE Intelligent vehicle symposium. Baden-Baden. Germany. 2011. PP. 399-404.

25. Kwon, Taek Mu. “Atmospheric visibility measurements using video cameras: Relative visibility”, Technical Report, University of Minnesota Duluth, Minnesota Department of Transportation. 2004. PP. 1-51.
26. Kunkel B.A. Parameterization of droplet terminal velocity and extinction coefficient in fog models // J. Clim. App. Meteorol. 1984. Vol. 23, no. 1. P. 34-41.
27. Nakanishi M., Niino H. Development of an Improved Turbulence Closure Model for the Atmospheric Boundary Layer // Journal of the Meteorological Society of Japan. 2009. Vol. 87. no. 5. P. 895-912.
28. Stoelinga M.T., Warner T.T. Nonhydrostatic, mesobeta-scale model simulations of cloud ceiling and visibility for an East Coast winter precipitation event // J. Appl. Meteorol. 1999. Vol. 38. no. 4. P. 385-404.
29. Wauben, Wiel, and Martin Roth. “Exploration of fog detection and visibility estimation from camera images”, WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation, CIMO TECO 2016, Madrid. Spain. 2016. PP. 1-14.
30. Zhu, L., Zhu, G.D., Han, L. and Wang, N. The Application of Deep Learning in Airport Visibility Forecast. Atmospheric and Climate Sciences. 7- 314 322 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence. 2019. Vol.2. PP. 466–473.
31. URL: <http://rp5.ua/> Погода в мире (дата звернення 10.02.2020 р.).
32. URL: <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?uur=0000&var>

Додаток А

Довідка

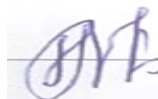
кафедри метеорології та кліматології
студенту 2 курсу гр.МНЗ-2М Пейчеву М. Д.
до кваліфікаційної магістерської роботи на тему

«Умови утворення низької видимості в районі аеропорту Одеса»

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., доц. Агайар Е. В. у рамках науково-дослідних робіт «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532) та «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною», № ДР 0120U100487 (2020-2024 рр.).

Зав. кафедрою

метеорології та кліматології



доц. Прокоф'єв О. М.

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)	Кількість кредитів
Наукові статті	
Університетські конференції, семінари, гуртки	
Опубліковані тези конференцій:	
Участь у виконанні НДР	
1. «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532)	0,20
2. «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною», № ДР 0120U100487 (2020-2024 рр.)	0,20
Конкурсні роботи:	
ВСЬОГО	0,40