

УДК 551.501.7:504.35
УКПП XXXXXX
№ держреєстрації 0113U007881
Інв. № _____

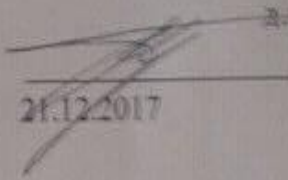
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ОДЕКУ)
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15; тел. (0482) 42-77-67, meteo@odeku.edu.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з НР

к.геогр.н., с.н.с.


Ю.С. Тучковенко


21.12.2017

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУ
МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ
НАД ПРОМИСЛОВИМИ РАЙОНАМИ ОДЕСИ
(остаточний)

Науковий керівник НДР
к.геогр.н., професор


Г.П. Івус
(підпис)
15.12.17 р.


2017

Рукопис закінчено 15 грудня 2017 р.

Результати роботи розглянути на засіданні НТР ОДЕКУ
протокол № 5 від 21.12.2017 р.


СПИСОК АВТОРІВ

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології
канд. геогр. наук, професор


15.12.17

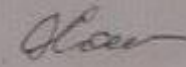
Г. П. Івус
(реферат, вступ,
висновки,
розділи 1-2)

Відповідальний виконавець,
доцент кафедри метеорології
та кліматології
канд. геогр. наук, доцент


15.12.17


А.Б. Семергей-
Чумаченко
(розділи 1-3)

Доцент кафедри
метеорології та кліматології,
канд. геогр. наук, доцент


15.12.17


Г.В. Хоменко
(розділ 1)

Доцент кафедри
метеорології та кліматології,
канд. геогр. наук, доцент


15.12.17

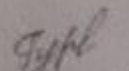
Е.В. Агайар
(розділ 1-3)

Доцент кафедри
метеорології та кліматології,
канд. геогр. наук, доцент


15.12.17

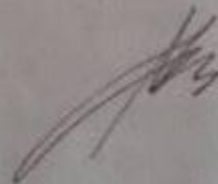
Н.М. Міщенко
(розділ 1)

Старший викладач
кафедри метеорології та кліматології


15.12.17

Л.М. Гурська
(розділи 1, 3)

Нормоконтролер



С.В. Малацковська

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 82 с., 12 табл., 18 рис., 88 джерел.

ГРАНИЧНО ДОПУСТИМА КОНЦЕНТРАЦІЯ, ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ, ЗАТРИМУЮЧИЙ ШАР, СЛАБКИЙ ВІТЕР, ШТИЛЬ, СТРУМИННА ТЕЧІЯ НИЖНІХ РІВНІВ.

Об'єкт дослідження – метеорологічні та циркуляційні умови в районі Одеси та над Одеською областю, що сприяють забрудненню повітря над промисловими районами Одеси.

Мета роботи – розробка та вдосконалення методів прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над промисловими районами Одеси, а також характеристика мінливості метеорологічних величин над Північно-Західним Причорномор'ям, оцінка сучасних аеросиноптичних особливостей регіону.

Методи дослідження – просторово-часовий аналіз метеорологічної інформації та даних про рівень забруднення повітря, статистичний аналіз, синоптичний аналіз, типізація синоптичних процесів.

Визначені тенденції формування вітрового режиму Одеси та Одеської області та їх значення для екологічного стану. Виявлений зв'язок особливостей вітрового режиму у різних районах Одеси з рівнем забруднення повітря.

Оновлена типізація синоптичних процесів, які сприяють накопиченню шкідливих домішок над Одесою. Охарактеризовані умови формування затримуючих шарів та низьких струменів у сполученні зі слабким вітром.

На основі результатів виконаних досліджень розроблений альтернативний метод прогнозу метеорологічних умов забруднення (можливості перевищення ГДК) для промислових районів Одеси при різних типах синоптичних процесів.

Впровадження отриманих результатів в роботу ГМЦ ЧАМ спрощуватиме прогноз метеорологічних умов забруднення повітря над Одесою. Впровадження результатів у навчальний процес поліпшить засвоєння дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди» та осучаснить зміст чергувань щодо прогнозу метеорологічних умов забруднення повітря в НБП ОДЕКУ для магістрів 1 року навчання зі спеціальності «Науки про Землю» (спеціалізація «Метеорологія»).

Умови одержання звіту: Одеський державний екологічний університет,
65016, Україна, м. Одеса, вул. Львівська 15.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Особливості метеорологічних умов забруднення повітря в районі одеси	7
1.1 Еволюція режиму вітру над Одеською областю.....	7
1.2 Повторюваність та умови формування застою повітря над Одесою у 2005-2016 рр.....	12
1.3 Застосування закону розподілу Джонсона для вирівнювання рядів вітру біля поверхні Землі	16
2 Формування циркуляційних умов Північно-Західного Причорномор'я та оцінка їх сприятливості накопиченню шкідливих домішок над Одесою	26
2.1 Класифікація макроциркуляційних процесів Північно-Західного Причорномор'я, що сприяють посиленню приземного вітру	26
2.2 Повторюваність та структура струминних течій нижніх рівнів над Одесою з 2011 по 2015 рр.....	36
2.3 Аналіз типів синоптичних процесів, що сприяли утворенню штилів над Одесою у 2005-2016 рр.....	43
3 Розробка та основні рекомендації прогнозу метеорологічних умов забруднення повітря над Одесою	45
3.1 Загальна характеристика екологічного стану Одеси та сучасна система спостережень за забрудненням повітря.....	45
3.3 Зв'язок формування підвищеного рівню забруднення повітря з метеорологічними та синоптичними умовами над Одесою з червня по грудень 2011 р.....	48
3.2 Приземний вітер та його вплив на забруднення повітряного басейну в окремих районах Одеси у 2011-2015 рр.	54
3.3 Розробка альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над Одесою	64
Висновки.....	70
Перелік джерел посилання	73

ВСТУП

Даний звіт містить результати дослідження метеорологічних та синоптичних умов забруднення повітря в різних районах Одеси, характеристику еволюції вітрового режиму Одеси та Одеської області, аналіз формування штилю, інверсій температури та низькотропосферних течій над Одесою як чинників для накопичення шкідливих домішок [1-18], новий альтернативний метод прогнозу метеорологічних умов забруднення (можливості перевищення ГДК) для промислових районів Одеси при різних типах синоптичних процесів, а також порівняння отриманих результатів з попередніми роками та іншими регіонами [19-30].

Однією з важливих ланок в системі моніторингу охорони чистоти атмосфери повітря є дослідження режиму формування шкідливих домішок і прогнозування рівня забруднення залежно від характеру макромасштабної циркуляції, стану граничного шару атмосфери і місцевих фізико-географічних умов, що особливо актуально для районів з великою кількістю промислових підприємств, які є постійним джерелом забруднення атмосфери.

У розробці наукової тематики приймали участь викладачі кафедри метеорології та кліматології ОДЕКУ: начальник навчального бюро погоди Рубан К.В. та інженери Дмитрієнко В.О. (2013-2014 рр.) і Поліщук А.В. (2015 р.), завідуючий лабораторією гідрометеорологічної інформації Моренець-Кубанська Л.І.; аспіранти Пішняк Д.В. [31, 32], Ковальков І.А. [14, 15, 31, 33], Зубкович С.А. [6, 11, 13, 14, 25] і Дмитренко А.П. [12, 16, 17]; магістри: Чаленко В.П., Пономаренко В.В., Панченко О.В. Шкареда О.А., Левченко К.М., Федосєєва В.А., Пруднікова Г.О., Попова Л.О., Плотніков Д.О.; студенти Плужніченко А.В., Замфіров О.В. (2014 р.), Авраменко А.С., Вініченко О.А., Косарчук О.І., Рижова П.Ю., Ушакова К.В., Чорноморець К.В. Гусєва Л.Д., Арутюнян В.В. Грицуняк І.М., Сосмій Є.В., Некрасова О.С., Попова Л.О. (2015 р.), Плотніков Д.О., Руденко О.О. (2016 р.), Жук Д.О., Курашова З.О., Курган В.О., Сукманський М.І., Чумаченко В.В., Яценко В.О., Ярова В.О., Грецька О.В., Воциліна Д.С. (2017 р.) [34-49].

Комп'ютерна верстка та графічні роботи розроблені Семергей-Чумаченко А.Б.

Наукове керівництво здійснювалося проф. Івус Г.П.

Авторський колектив висловлює щиру подяку начальнику Гідрометцентра Чорного та Азовського морів к.геогр.н., доц. Ситову В.М., зам. начальнику ГМЦ ЧАМ к.фіз.-мат.н. Матигіну О.С., зам. начальнику ГМЦ ЧАМ та завідувачу відділом метпрогнозів Савіловій А.І. за вчасне і беззаперечне забезпечення необхідною метеорологічною інформацією протягом всього циклу робіт.

1 ОСОБЛИВОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В РАЙОНІ ОДЕСИ

1.1 Еволюція режиму вітру над Одеською областю

Протягом останніх 30-ті років спостерігалось поступове послаблення вітру над територією України [4, 9, 26-30], та більшість території Одеської області також не є винятком з цієї тенденції. Так, наприклад, швидкість вітру у м. Ізмаїл зменшилася у 2005-2015 рр. у порівнянні з 1961-1990 на 0,5 м/с [9], тобто з 3,6 м/с до 3,1 м/с (табл. 1.1). Тільки над Білгород-Дністровським виявилася зворотна тенденція, тобто середньорічна швидкість збільшилась на 0,6 м/с з 4,0 м/с до 4,7 м/с. Станцією з найменш інтенсивним вітровим режимом виявилася Роздільна [15], зі середньорічною швидкістю у 2005-2015 рр. 2,2 м/с та у даному пункті спостерігалось значне послаблення вітру (0,8 м/с).

Як і над всієї території України [24], над Одеською областю простежується чіткий річний хід швидкості вітру – до найбільших величин вона зростає у січні-лютому, а найменших досягає в серпні (рис. 1.1).

Максимальна швидкість вітру на станції Одеса-ГМО спостерігалась в березні 2007 р., а її значення складало 18 м/с. Для станції Ізмаїл значення максимальної швидкості вітру за 2005-2015 рр. склало 21 м/с в липні 2015 р. Над Любашівкою максимальна швидкість вітру була 16 м/с у березні 2013 р. Також значні швидкості виявилися на станції Вилкове у вересні 2006 р., а саме 42 м/с.

Отже, впродовж останніх 16 років спостерігалось зменшення швидкості вітру над Одеською областю, за винятком станції Білгород-Дністровський, та Дунайської ГМО протягом вересня.

Якщо побудувати карту географічного розподілу середньомісячної швидкості для січня та липня над Одеською областю для обох періодів дослідження (рис. 1.2), то можна наявне помітити поширення частки менш інтенсивного вітру, за винятком району Білгород-Дністровського.

Таблиця 1.1 - Середньомісячна швидкість вітру над Одеською областю
за 1961-1990 рр. [24] та 2005-2015 рр.

Період	Місяці												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Одеса-ГМО													
1961-1990	4,6	4,6	4,3	3,8	3,4	3,2	3,2	3,3	3,4	3,9	4,3	4,3	3,9
2005-2015	3,9	3,5	3,2	2,8	2,4	2,3	2,5	2,3	2,6	3,0	3,1	3,5	2,9
Роздільна													
1961-1990	3,3	3,5	3,4	3,3	3,1	2,7	2,6	2,7	2,6	2,7	3,0	3,0	3,0
2005-2015	2,5	2,4	2,5	2,3	2,0	2,1	2,1	2,0	2,1	2,3	2,3	2,4	2,3
Білгород-Дністровський													
1961-1990	4,0	4,4	4,0	4,2	3,8	3,8	3,9	3,7	3,7	3,9	4,1	4,1	4,0
2005-2015	4,9	4,9	5,2	4,7	4,3	4,4	4,5	4,5	4,3	4,8	4,5	5,1	4,7
Ізмаїл													
1961-1990	4,0	4,4	4,3	4,3	3,8	3,5	3,2	2,9	2,9	3,0	3,3	3,6	3,6
2005-2015	3,2	3,3	3,7	3,2	3,0	3,0	2,9	2,8	3,1	3,0	2,7	3,0	3,1
Любашівка													
1961-1990	4,1	4,3	4,1	4,0	3,4	3,0	2,9	2,9	2,9	3,2	3,7	3,9	3,5
2005-2015	3,5	3,0	3,6	3,3	2,6	2,5	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	3,3	2,9
Болград													
1961-1990	3,2	3,5	3,4	3,5	3,1	2,9	2,9	2,7	2,6	2,7	2,9	3,0	3,0
2005-2015	2,7	2,6	2,8	2,6	2,3	2,0	2,2	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4
Вилкове													
1961-1990	4,0	4,1	4,1	3,9	3,5	3,3	3,0	2,8	2,9	3,3	3,4	3,5	3,5
2005-2015	2,4	2,5	2,7	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,8	2,0	2,0	2,2	2,1

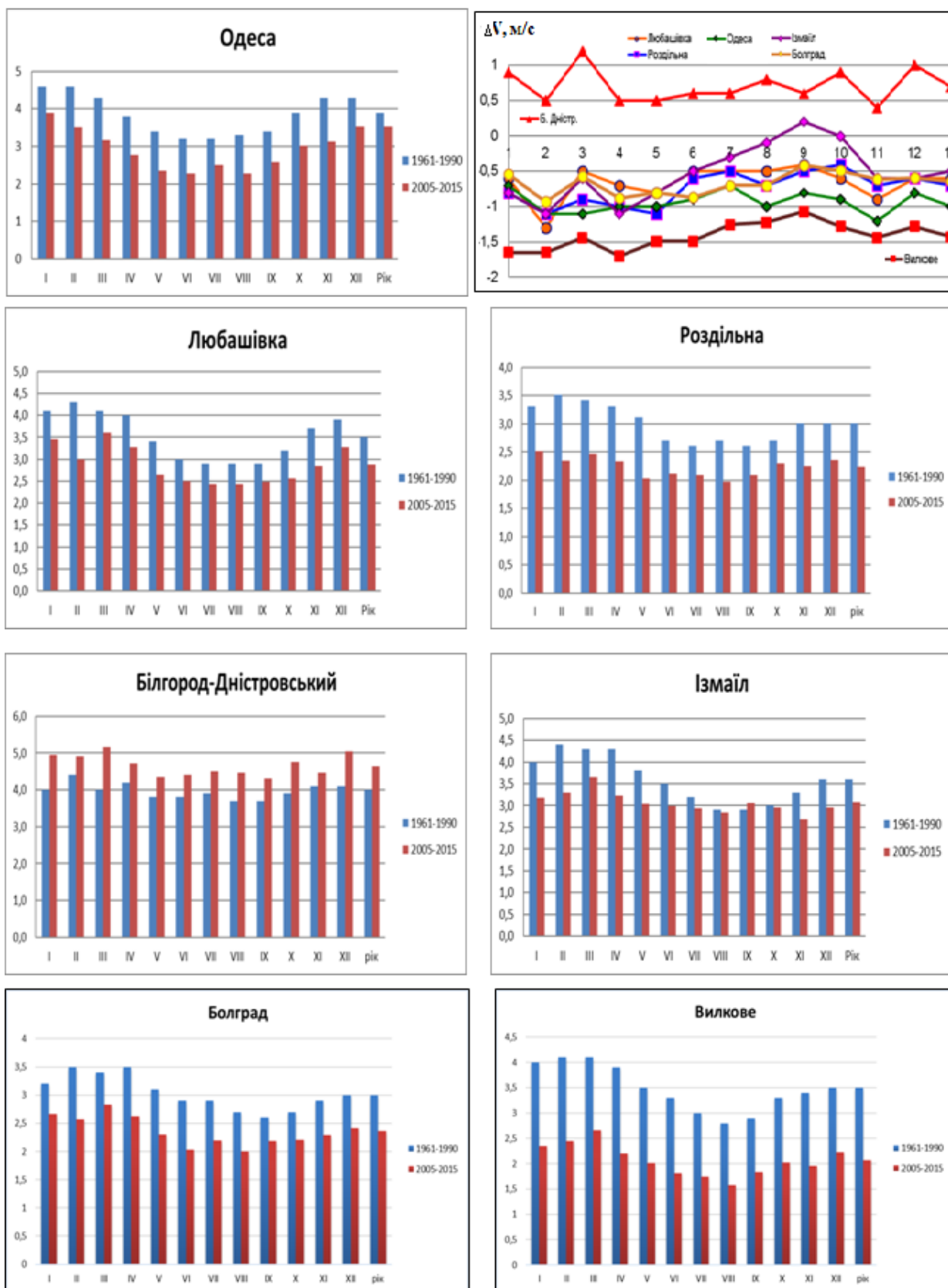


Рисунок 1.1 - Значення середньомісячних швидкостей вітру за 1961-1990 [24] та 2005-2015 рр. над Одеською областю

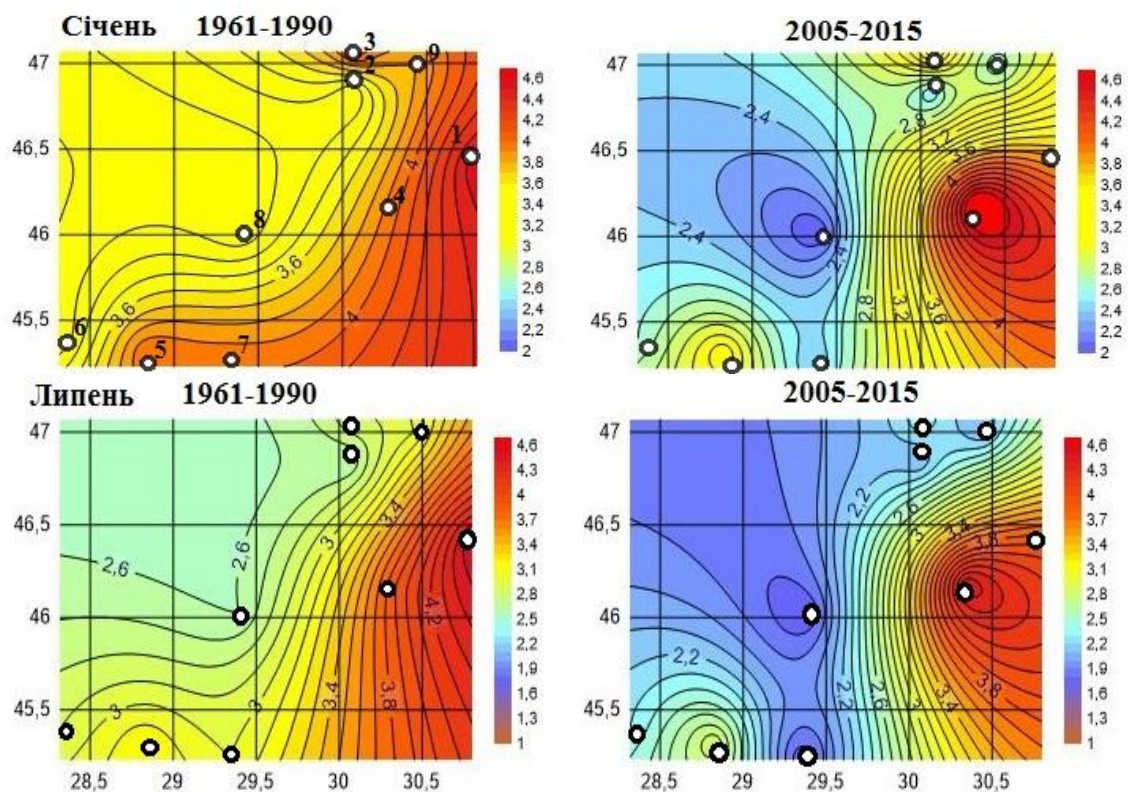


Рисунок 1.2 – Карта розподілу середніх швидкостей вітру над Одеською областю в січні та липні 1961-1990 рр. та 2005-2015 рр.

Взимку район Одеси часто знаходиться в слабко вираженій сідловині баричного поля. В цей період тут переважає вітер північного напрямку [50]: в січні повторюваність північно-західного, північного і північно-східного вітрів складає 49%, а південно-західного, південного і південно-східного – 26% (Одеса-ГМО). Влітку відмічається збільшення південного вітру і різке зменшення східного, на який приходиться лише 4–6%.

Суттєвих змін в напрямку вітру на станціях Одеської області не виявлено (табл. 1.2), але в на ст. Одеса-ГМО на 3-5 % збільшилася частка північно-західного, південно-західного та північно-західного вітру. В Ізмаїлі спостерігається подібна тенденція. На станції Любашівка на 5-10 % зменшилася повторюваність західного, північно-західного та південно-східного вітру за рахунок зростання частки південно-західного та північно-східного напрямків.

Таблиця 1.2 - Повторюваність (%) напрямків вітру над Одеською областю за 1961-1990 та 2005-2015 рр.

Пункт	Румби								Штиль
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	
Одеса	1961-1990								
	18,3	12,1	8,6	7,0	14,3	10,9	14,7	14,1	2,0
	2005-2015								
	13,8	12,9	7,2	9,8	12,9	12,1	15,0	16,6	2,1
Ізмаїл	1961-1990								
	19,0	12,0	9,4	10,3	15,3	7,1	12,9	14,0	19,1
	2005-2015								
	16,4	10,9	9,3	13,0	9,4	8,9	14,5	17,5	8,1
Любашівка	1961-1990								
	17,5	11,0	7,9	12,9	14,2	8,2	12,2	16,1	5,2
	2005-2015								
	18,3	12,7	8,6	11,0	15,5	8,7	12,4	12,9	7,9
Роздільна	1961-1990								
	14,8	15	12,1	9,9	14,4	9,2	9,3	15,3	5,5
	2005-2015								
	15,4	16,5	8,5	11,3	13,3	9,1	11,6	14,5	1,4
Білгород-Дністровський	1961-1990								
	18,7	10,3	7,3	14,5	13,5	6,9	6,5	22,3	11,5
	2005-2015								
	17,1	9,7	7,6	13,2	15,1	8,2	7,3	22,1	6,1
Болград	1961-1990								
	24,2	9,8	10,5	12,1	12,1	7,9	7,5	15,9	3,9
	2005-2015								
	22,1	12,8	8,3	11,3	11,1	9,7	7,3	17,5	4,7
Вилкове	1961-1990								
	20,8	13,6	6,4	10,4	18,1	9,7	7,9	13,1	10,5
	2005-2015								
	20,3	14,1	8,4	9,2	17,3	9,4	9,7	11,6	12,8
Сарата	1961-1990								
	30,5	10,3	6,4	10,6	16	6,2	6,5	13,5	18,9
	2005-2015								
	15,9	14,5	9,2	10,8	11,3	10,1	10,6	17,6	33,6
Сербка	1961-1990								
	21,3	10,8	8,9	10,4	12,9	8,1	11	16,6	18,3
	2005-2015								
	14,4	14,3	9,4	11,5	10,3	11,5	11,9	16,5	27,4

Над станціями Сарата та Сербка помітно зменшилася частка північного вітру за рахунок зростання північно-східного та східного. Причиною цих змін можуть бути циркуляційні умови або зміна місцевих особливостей станцій (забудова навколишньої території, заміна приладів та інше).

Оскільки територія Одеської області відноситься до районів з інтенсивним антропогенним навантаженням на природне середовище [51], тому необхідно враховувати сучасне послаблення швидкості вітру при плануванні розвитку мережі автомобільних доріг, роботи промислових підприємств та сільськогосподарства.

1.2 Повторюваність та умови формування застою повітря над Одесою у 2005-2016 рр.

Однією з необхідних умов виникнення високих концентрацій домішок є формування ситуації застою повітря, тобто сполучення інверсійної стратифікації і слабого вітру, а також відсутність опадів [1-3, 19-23, 49].

В ході дослідження формування безвітряних умов, які можуть сприяти накопиченню шкідливих домішок розглянутий період з лютого 2005 до жовтня 2016 року, тобто з 34 328 строків спостережень виявлено 867, коли швидкість вітру дорівнювала нулю, тобто був штиль.

Максимальна кількість штилів спостерігалась в 2013 р. (145 строків або 5,0 % від загальної кількості спостережень), а мінімальна в 2010 та 2005 рр. (32-35 строків або 1,2 % від загальної кількості спостережень). Також значна кількість без вітрових строків була у 2007 р. (рис. 1.3), а саме 106 строків або 3,6 %. Отже, в середньому, на рік приходилось 72,3 строки з відсутністю вітру або 2,5 % від спостережень.

Якщо вважати за день зі штилем ситуацію, коли один або декілька раз за добу швидкість вітру знижувалася до нуля, то, то найбільша кількість днів зі штилем виявилася у 2016 та 2011 рр. (64 і 65 днів або по 18 % від загальної кі-

лькості днів спостережень). Менш за все днів зі штилем було у 2005 р. (25 днів або 7%), що збігалось з мінімумом по строках.

Такі розбіжності можна пояснити, тим що впродовж одного дня зі штилем могло бути декілька (від двох до чотирьох строків) випадків зниження швидкості вітру до нуля. Отже надалі будемо визначатися зі тривалістю безвітряного періоду для процесів накопичення шкідливих домішок.

Щодо річного ходу, то у теплий період року збільшувалася кількість штилів з максимумом влітку, що відповідало загально кліматичним тенденціям України [24]. Як видно з рис. 1.3, найчастіше штилі виникали у червні 2013 р. та у вересні 2010 р. – 19 та 16 строків, відповідно.

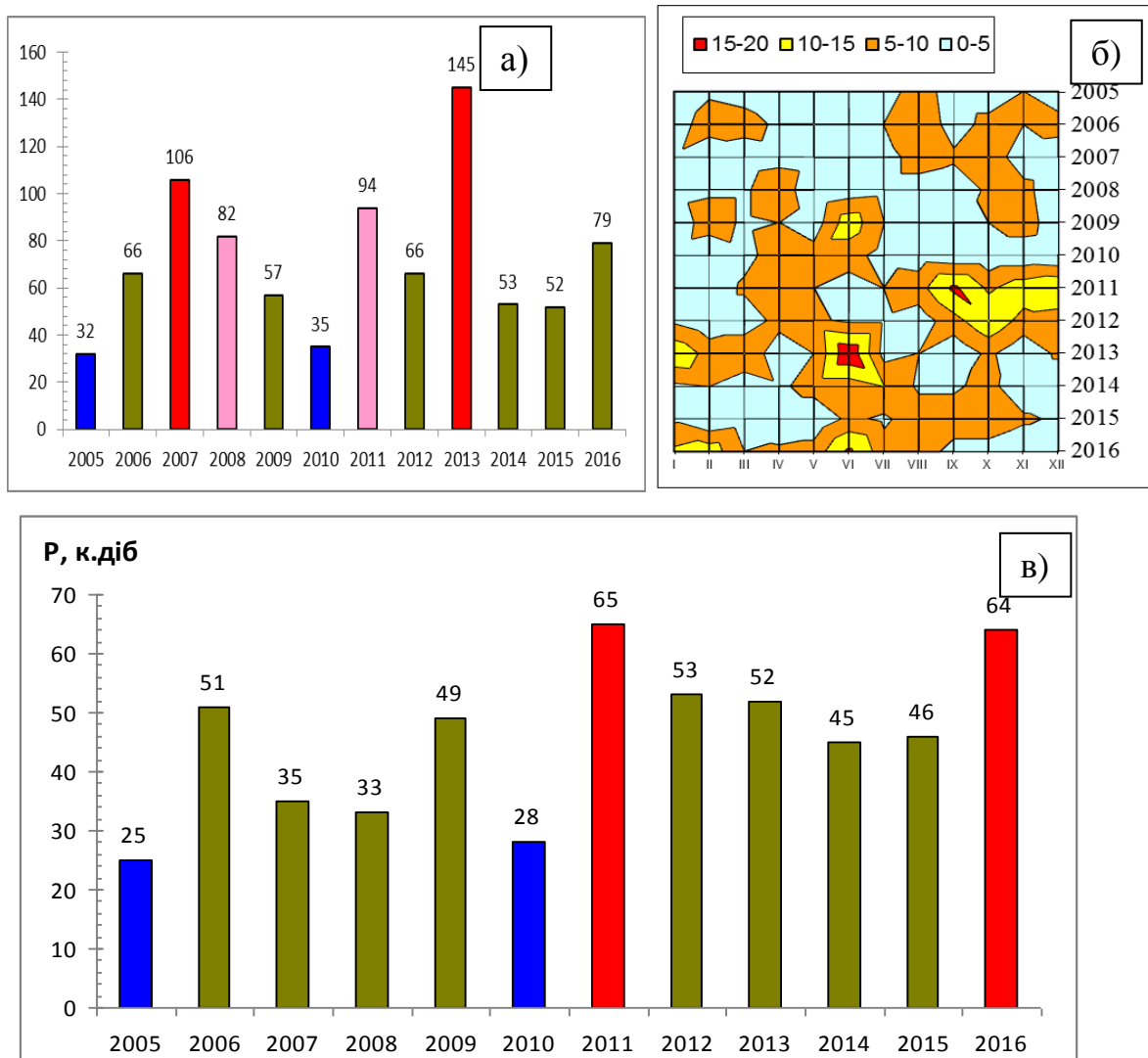


Рисунок 1.3 - Повторюваність (к.в.) строків (а, б) та днів (в) зі штилем в Одесі за 2005-2016 рр.

Протягом цих місяців штильові умови переважно формувалися малоградієнтним полем підвищеного тиску та супроводжувалися спекотною погодою. Ці місяці також відрізнялися максимальною кількістю днів зі штилем (11 днів або 37 %), тобто більше третини місяця характеризувалося послабленням вітру. В холодне півріччя штилі спостерігаються нечасто, а у лютому та грудні деякі роки жодного штилю не виявили.

Якщо проаналізувати міжрічну мінливість повторюваності штилів та середньорічну швидкість вітру (рис. 1.4), то у 2013 р. найбільша повторюваність штилів (5 %) співпала з найнижчою швидкістю вітру – 2,6 м/с, але загальний вигляд графіків на рис. 1,4а не виявив залежності між середньої інтенсивністю вітрового режиму та кількістю строків зі штилем.

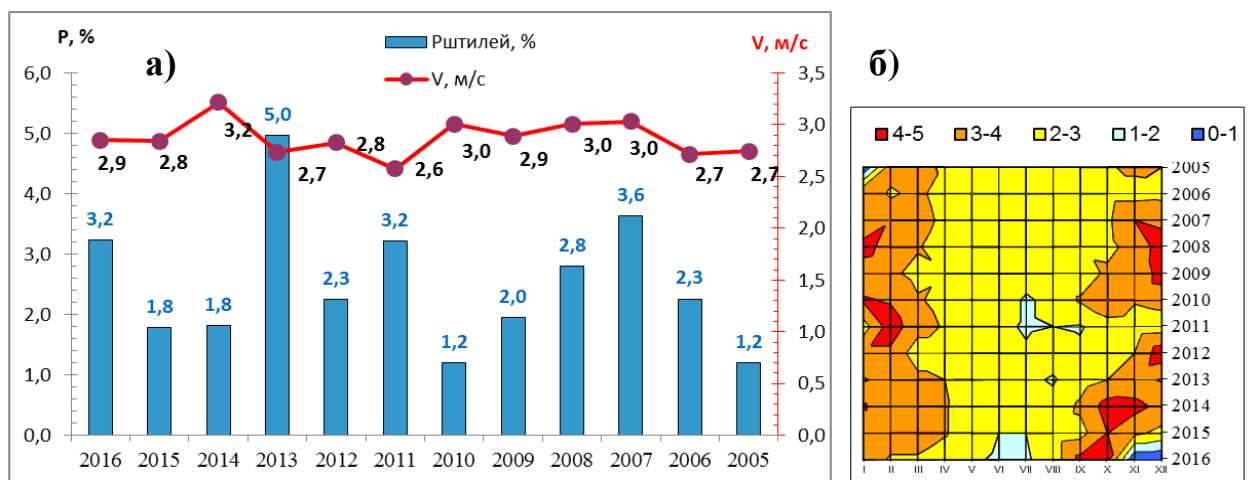


Рисунок 1.4 - Повторюваність (Р, %) штилю (а) та середньомісячна швидкість (а, б) вітру на ст. Одеса за 2005-2016 рр.

Отже, за період дослідження річний хід характеризувався відносно перевагою безвітрових періодів влітку та восени. Найчастіше штилі утворювалися у червні та жовтні – 13,3 % та 10,9 %. Залежності між середньої інтенсивністю вітрового режиму та кількістю строків зі штилем не виявлене.

Як відомо [1-3, 19-23], до різкого зростання концентрацій шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери приводять несприятливі метеорологічні

умови. Встановлено [3], що між рівнями забруднення атмосферного повітря й кліматичними факторами існує певний зв'язок.

Зокрема, при інверсії утрудняється вертикальний повітрообмін. В умовах інверсій велике значення мають характеристики джерел (високі або низькі, теплі або холодні та ін.) і обсяги їхніх викидів. Якщо шар інверсії розташовується над джерелом, то він, як правило, утрудняє підйом газів, що відходять, і сприяє їхньому накопиченню в приземному шарі. При розташуванні шару інверсії нижче рівня викиду, імовірність забруднення приземного шару повітря різко зменшується. Установлено, що при наявності інверсії рівень концентрації домішок у приземному шарі буде на 10-60 % більше, ніж при її відсутності [49].

Для низьких джерел при швидкостях вітру 0-1 м/с концентрації домішок у приземному шарі будуть на 30-70 % вище, ніж при більших швидкостях. При слабких вітрах і стійкій атмосфері (застої) концентрації домішок у приземному шарі повітря можуть різко зростати.

Інверсії класифікують як приземні (ПЗ), піднесені (ПІ) та висотні (ВС) (висота нижньої межі більш ніж 1500 м), подібну класифікацію використовують для ізотермій – ПЗ ІЗ та ПІ ІЗ.

Як видно з рис. 1.5 більш ніж половина штилів (56 випадків або 69 %) над Одесою супроводжувалася приземними затримуючими шарами різної інтенсивності (інверсії або ізотермії). Значно менша частка безвітря формувалася у супроводі піднесених інверсій та ізотермій (20 %).

Лише в 11 % випадків при штилі температура з висотою у нижній тропосфері знижувалася. Вказані випадки спостерігалися влітку, переважно у червні, при ясному небі.

Частка приземних затримуючих шарів становила від 50 % у березні до 100 % у травні (рис. 1.5), отже переважно штилі супроводжувалися приземними інверсіями. В 23 % від загальної кількості штилів виявлено сполучення приземних температурних інверсій та безвітря за наявності туману та серпанку, тобто утворювалися сприятливі умови для накопичення шкідливих домішок.

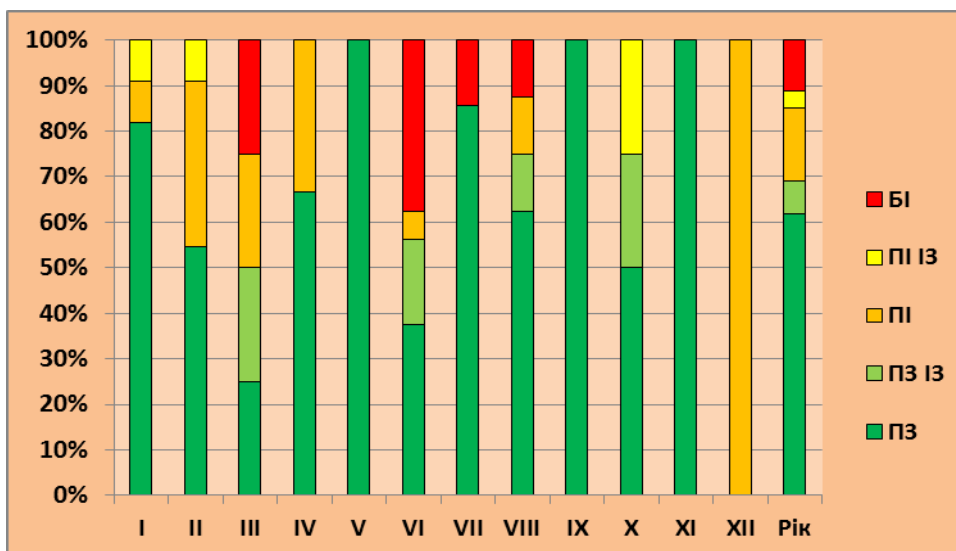


Рисунок 1.5 - Розподіл типів (P, %) стратифікації температури над Одесою при штилі, 2005-2016 р.

Вищеописані комбінації атмосферних чинників виявлені незалежно від сезону, за винятком безхмарного безвітря при приземної інверсії, яке переважно утворювалося з квітня по вересень.

1.3 Застосування закону розподілу Джонсона для вирівнювання рядів вітру біля поверхні Землі

Для вирівнювання розподілів швидкості вітру, на думку К. Брукса, важко підібрати відповідний теоретичний розподіл [52-56]. В цьому випадку, найчастіше, застосовують розподіл Шарльє (тип А), Релея, Вейбулла (тип 3) і Джонсона. Закони Максвелла і Релея досить добре описують розподіл швидкості вітру на висотах, але для рядів швидкості вітру біля поверхні землі придатні лише в виняткових випадках. Радикальний шлях згладжування найбільш важливої частини інтегральних кривих розподілу запропоновано Анапольською Л.Е. і Гандіним Л.С. [55].

Аналіз якості вихідних матеріалів і перевірка однорідності рядів здійснені за допомогою параметра Стюдента. Неоднорідність найчастіше виникає із-за

перенесення флюгера, зміни датчиків вимірювань забудови поблизу станції житловими або промисловими об'єктами, вирубки дерев, близькості великих насаджень дерев, а також через зміну спостерігачів. Важливим також є положення самої станції [5, 56].

Рішення задачі вибору розподілу починається з виявлення і відкидання з вихідної вибірки неоднорідних членів ряду. Для перевірки відповідності емпіричного розподілу теоретичному використовується критерій Пірсона «хі-квадрат» (χ^2) на 5%-му рівні значущості. Причому, рівень значущості - це мала ймовірність зробити помилку першого роду, тобто відкинути правильну гіпотезу [57-59]. Теоретичний розподіл χ^2 добре відомий і затабульований. Якщо гіпотетичний розподіл сильно відрізняється від даного (в нашому випадку це розподіл Джонсона), то χ^2 великий. Коли χ^2 більше визначених меж, то роблять висновок, що розподіл значно відрізняється від гіпотетичного. Довірчі границі критерію χ^2 залежать від числа ступенів свободи n . Воно дорівнює числу градацій m мінус число обмежень. Обмеження, як правило, полягає в тому, що загальне число окремих випадків в гіпотетичному розподіл має бути таким же, як і число окремих випадків в обраному розподілі.

Поширення фізико-статистичних методів прогнозування, які базуються на побудові регресійних моделей, ставить задачу удосконалення досліджень статистичних характеристик метеорологічних величин і явищ, які виступають в якості предикторів і предиктантів. Знання особливостей розподілу необхідно також для вирішення багатьох задач, таких як контроль достовірності спостережень, розрахунків викидів та ін. Найпростіше вирішуються завдання статистичного аналізу при нормальному розподілі метеорологічних величин. Тому, навіть якщо гіпотеза про нормальність відкидається, все одно спробують поширювати висновки для гаусового розподілу на реальні дані. Наприклад, коли крива розподілу має тільки одну добре виражену моду. Однак при істотних відмінностях кривої розподілу від гауссової такий підхід може призвести до значних похибок результатів аналізу.

Найефективнішим способом подолання труднощів, що пов'язані з апроксимацією складних кривих розподілу, є використання логарифмічного перетворення, з якого більш загальним є перетворення Джонсона Н.Л. [54]. Вирівнювання статистичних рядів за логарифмічним законом з допомогою перетворення Джонсона дещо складніше, отже функція вирівнювання залежить від трьох параметрів. Але вказане дозволяє отримати цілу систему функцій щільності, які можуть бути використані для опису більш загального класу статистичних розподілів. Так, Джонсон пропонує для перетворення розподілу в нормальне ввести співвідношення, що містять логарифмічну функцію. Використання зазначених логарифмічних перетворень призводить до великого різноманіття форм кривих і створює майже таку ж велику систему, як і система кривих Пірсона, але вони відрізняються більш простою процедурою вирівнювання і забезпечують велике різноманіття форм кривих за допомогою трьох сімейств: S_L , S_B , S_u . За наявності оцінок параметрів розподілу Джонсона, можна навести реалізацію до виду, що не суперечить нормальному закону розподілу [60].

В основі емпіричних розподілів Джонсона лежить перетворення випадкової величини дослідження x за допомогою наступного співвідношення:

$$\begin{aligned} z &= \gamma + \eta\tau(x, \varepsilon, \lambda), \\ \eta &> 0; \quad -\infty < \varepsilon < \infty; \quad -\infty < \gamma < 0, \end{aligned} \quad (1.1)$$

де z – випадкова величина, що підкорюється нормальному закону $N(0,1)$;

ε, λ - параметри розподілу Джонсона, що визначають межі, у яких знаходяться значення величини x ;

η, γ - параметри Джонсона, які визначаються кривою розподілу;

τ – деяка вільна функція, для якої Джонсон запропонував 3 форми, що приводять відповідно до трьох сімейств розподілу S_L, S_B, S_u :

$$\tau_1 = \ln \frac{x - \varepsilon}{\lambda}, \quad x \geq \varepsilon; \quad (1.2)$$

$$\tau_2 = \ln \frac{x - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - x}, \quad \varepsilon \leq x \leq \varepsilon + \lambda; \quad (1.3)$$

$$\tau_3 = Azsh\left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda}\right), \quad -\infty < x < \infty. \quad (1.4)$$

Вибір відповідного сімейства розподілів здійснюється через аналіз оцінок центральних моментів розподілу випадкової величини x . Найбільш часто в практиці обробки даних зустрічається S_B - сімейство (3), що використовується для випадкових процесів, які обмежені знизу і зверху. Щільність розподілу для цього сімейства описується виразом:

$$P(x) = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(x - \varepsilon)(\varepsilon + \lambda - x)} \cdot e^{\frac{z^2}{2}}, \quad (1.5)$$

де z визначається за допомогою (1.1).

Перш, ніж приступити до перевірки застосовності розподілу Джонсона для вирівнювання рядів швидкості вітру за даними метеорологічної станції Іллічівськ-порт, вихідні ряди спостережень досліджені з метою перевірки їх відповідності нормальному закону розподілу. В якості статистичних характеристик використані (табл. 1.3) середні значення швидкості вітру (\bar{x}), середньоквадратичні відхилення (σ_x), коефіцієнти асиметрії (A) та ексцесу (E).

Розглянемо статистичні параметри швидкості вітру за ст. Іллічівськ-порт. Значення середньої швидкості вітру \bar{x} варіюють від 2,3 м с⁻¹ (травень 00 UTC) до 4,9 м с⁻¹ (грудень 12 UTC). Добовий хід \bar{x} добре виражений в літні місяці, наприклад, у червні він коливається від 2,5 м с⁻¹ до 4,1 м с⁻¹ в 00 і 12 UTC, відповідно. В холодне півріччя середньодобова амплітуда більш згладжена. Швидкість вітру найбільш мінлива в Іллічівську взимку, коли максимальна σ_x становить 2,6-2,8 м с⁻¹ в грудні, мінімальна - 2,37-2,54 у січні, а по строках вона, як і слід було очікувати, найбільш мінлива вдень. В перехідні сезони і влітку розподіл швидкості вітру різко асиметричний і відрізняється від розподілів в

взимку меншими значеннями середньоквадратичного відхилення -1,30 та -2,10 в липні (00 і 12 UTC).

Таблиця 1.3 – Значення \bar{x} , σ_x , A, E, C, σ_σ , σ_A , σ_E для швидкості вітру на ст. Іллічівськ-порт. 1981-1990 рр.

Місяць	Строк	Статистичні параметри							
		\bar{x}	σ_x	A	E	C	σ_σ	σ_A	σ_E
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	00	4,4	2,54	0,87	0,300	0,577	0,10	0,14	0,28
	06	4,6	2,54	0,91	0,390	0,552	0,10	0,14	0,29
	12	4,8	2,77	0,92	0,130	0,577	0,11	0,14	0,28
	18	4,2	2,37	0,77	0,002	0,564	0,10	0,14	0,29
II	00	4,3	2,59	0,87	0,070	0,602	0,11	0,15	0,29
	06	4,3	2,69	0,89	-0,040	0,626	0,11	0,15	0,29
	12	4,8	2,65	0,75	-0,150	0,552	0,11	0,15	0,29
	18	4,5	2,62	0,72	-0,170	0,582	0,11	0,15	0,29
III	00	3,8	2,46	0,83	-0,005	0,647	0,10	0,14	0,28
	06	4,1	2,70	0,85	0,110	0,658	0,11	0,14	0,28
	12	4,8	2,55	0,68	-0,150	0,531	0,10	0,14	0,28
	18	3,8	2,37	0,53	-0,370	0,623	0,09	0,14	0,28
IV	00	3,4	2,23	0,94	0,420	0,656	0,09	0,14	0,29
	06	3,7	2,17	0,69	-0,110	0,586	0,09	0,15	0,29
	12	4,3	2,19	0,70	-0,230	0,486	0,08	0,14	0,28
	18	3,6	2,27	0,78	-0,040	0,629	0,09	0,14	0,28
V	00	2,3	1,33	0,55	0,220	0,578	0,06	0,14	0,28
	06	3,0	1,82	1,10	0,740	0,607	0,07	0,14	0,28
	12	3,9	2,04	0,95	0,510	0,523	0,08	0,14	0,28
	18	2,9	1,77	0,77	0,250	0,610	0,07	0,14	0,28
VI	00	2,5	1,37	0,55	0,180	0,548	0,06	0,14	0,29
	06	2,8	1,47	0,60	-0,180	0,525	0,06	0,14	0,29
	12	4,1	2,04	0,67	-0,004	0,498	0,08	0,14	0,28
	18	3,0	1,84	0,95	0,650	0,613	0,07	0,14	0,28
VII	00	2,5	1,30	0,72	0,400	0,520	0,05	0,04	0,03
	06	2,8	1,40	0,71	0,200	0,500	0,06	0,04	0,03
	12	3,9	2,10	0,12	0,900	0,520	0,08	0,04	0,03
	18	2,8	1,80	0,81	0,400	0,630	0,07	0,04	0,03
VIII	00	2,6	1,40	0,62	0,100	0,530	0,05	0,04	0,03
	06	3,0	1,80	0,81	0,500	0,590	0,07	0,04	0,03
	12	3,7	1,60	0,72	-0,100	0,440	0,06	0,04	0,03
	18	2,6	1,30	0,63	0,100	0,500	0,05	0,04	0,03

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IX	00	2,4	1,30	0,72	0,300	0,570	0,05	0,04	0,03
	06	2,9	1,80	1,24	1,100	0,630	0,07	0,04	0,03
	12	3,8	1,90	0,61	3,400	0,700	0,07	0,04	0,03
	18	2,7	1,60	0,52	0,200	0,580	0,06	0,04	0,03
X	00	3,4	2,30	1,12	0,500	0,680	0,09	0,04	0,03
	06	3,7	2,40	0,91	0,300	0,640	0,09	0,04	0,03
	12	3,6	2,50	0,72	- 0,200	0,540	0,02	0,04	0,03
	18	3,4	1,10	0,93	0,200	0,580	0,07	0,04	0,03
XI	00	3,9	2,40	0,81	0,100	0,610	0,09	0,04	0,03
	06	4,3	2,60	0,82	- 0,100	0,600	0,09	0,04	0,03
	12	4,8	2,60	0,50	0,400	0,520	0,02	0,04	0,03
	18	4,2	2,40	0,70	0,400	0,580	0,07	0,04	0,03
XII	00	4,3	2,80	0,91	0,100	0,610	0,11	0,04	0,03
	06	4,3	2,60	0,81	- 0,200	0,600	0,11	0,04	0,03
	12	4,9	2,60	0,60	- 0,100	0,540	0,10	0,04	0,03
	18	4,4	2,60	0,90	0,000	0,600	0,10	0,04	0,03

Оскільки швидкість вітру часто досягає своєї нижньої межі, то розподіл вітру виявляється різко і позитивно асиметричним. Значення асиметрії коливаються від 0,52 (вересень 18 UTC) до 1,24 (вересень 06 UTC). Для розподілу швидкості вітру в порту Іллічівськ характерний помірний і сильний ексцес як позитивний, так і негативний: 1,100 (вересень 06 UTC) і -0,370 (березень 18 UTC). Аналіз коефіцієнта варіації (σ_x) показав, що максимум 0,680 спостерігається в жовтні 00 UTC, а мінімум 0,486 - у квітні 12 UTC. В середньому значення коливаються близько 0,600.

Значення помилки середньоквадратичного відхилення σ_σ зменшується від січня до липня і коливається від 0,11 до 0,05, а з липня по грудень спостерігається більш складний хід цієї статистики. Помилки асиметрії σ_A для всіх місяців першої половини року, крім лютого, дорівнюють 0,14, а для другого півріччя вони становлять 0,04. Помилки ексцесу σ_E не перевищують 0,28-0,29 з січня по червень, а в наступні місяці становлять 0,03. За даними табл. 1.3 можна по-

бачити, що середнє значення швидкості і середньоквадратичне відхилення поступово збільшуються від липня до грудня. Максимальних величин ці параметри досягають у грудні 4,9 і 2,80 відповідно. У добовому ході відзначається тенденція до зростання значень \bar{x} і σ_x в денні години (12 UTC). До 18 UTC спостерігається зменшення цих параметрів. Максимальні значення асиметрії 1,24 припадають на ранковий строк спостережень (06 UTC), а мінімальні - на денний (12 UTC).

Помилка середньоквадратичного відхилення розраховано за формулою:

$$\sigma_\sigma = \frac{0,5\sigma\sqrt{2+A}}{\sqrt{N}}, \quad (1.6)$$

коефіцієнта асиметрії

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6}{N}}, \quad (1.7)$$

коефіцієнта ексцесу

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24}{N}}, \quad (1.8)$$

де N - обсяг вибірки,

σ_σ , σ_A , σ_E - помилки середньоквадратичного відхилення, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу відповідно.

По місяцях величина помилки збільшується від літніх до зимових, а протягом доби відзначається зростання σ_σ у денні години і падіння до вечора на 16 і 2 % відповідно. Зміни помилок ексцесу не спостерігається протягом всіх строків і становить 30 %. Відхилення решти параметрів від п'ятивідсоткового рівня значущості не значні і в цілому задовольняють точності обчислень. З вищесказаного можна укласти, що використання нормального закону для згладжування статистичних рядів швидкості вітру недоцільно. Тому в якості теоретичного закону розподілу зробимо спробу застосувати розподіл Джонсона.

Перевірка на відповідність вирівнювання вихідних рядів приземної швидкості вітру за законом розподілу Джонсона дає хороші результати, а параметри цього розподілу точно описують форму і сімейство кривих розподілу. В якості прикладу в табл. 1.4 наведені параметри розподілу Джонсона за перше півріччя. Аналіз параметрів розподілу Джонсона показав, що в більшості випадків розподіл вдалося підібрати при $\varepsilon = -0,6$. Межі варіювання цієї величини дорівнюють $-0,42 \dots -10,0$ (табл.1.4). Параметри γ і η , що визначають форму кривої розподілу, змінюються у межах $0,45 \dots 23,8$ та $0,94 \dots 6,25$ відповідно.

У більшості випадків γ перебільшує одиницю, що свідчить про належність кривої розподілу до сімейства кривих S_L . До сімейства S_B належать криві, що показують розподіл вітру за березень (06 та 18 UTC), коли γ менше одиниці (рис.1.6). Для трьох строків (травень, 06, 12 і 18 UTC) розподіл Джонсона підібрати не вдалося навіть після коригування параметрів ε та інших. Для терміну 12 UTC розподіл бімодальний, що свідчить про непокору розподілу Джонсона навіть при подальшому коригування параметрів.

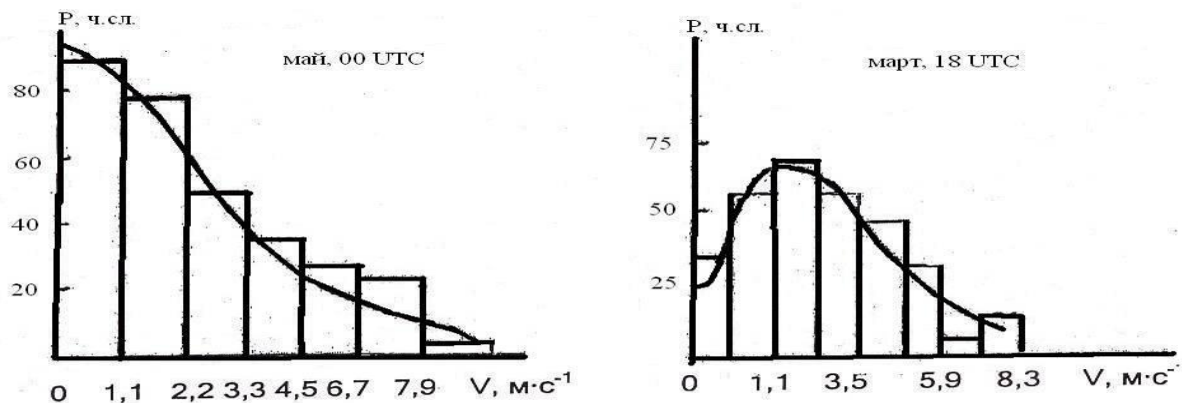


Рисунок 1.6 – Статистичний та теоретичний (за Джонсоном) розподіл швидкості вітру на метеорологічній станції Іллічівськ-порт

Для двох інших строків травня (00 і 18 UTC) імовірність Q менше 1%, тобто швидкість вітру в цьому місяці також практично не підпорядковується обраному законом. Аналіз табл. 1.4 показав, що інші ряди майже всі підкоряються розподілу Джонсона, крім січня, лютого та червня у 18 UTC.

Таблиця 1.4 - Значення параметрів розподілу Джонсона ε , λ , η , χ^2 , Q для швидкості вітру на ст. Іллічівськ за перше півріччя 1981-1990 рр.

Місяць	Строк, UTC	Параметри				
		ε	γ	η	χ^2	$Q\%$
I	00	-1,00	12,97	2,42	11,5	2,11
	06	-1,01	0,77	1,35	7,72	5,02
	12	-0,45	1,62	1,77	6,21	10,0
	18	-0,62	2,28	1,43	12,2	0,70
II	00	-0,64	4,53	1,85	10,9	0,44
	06	-0,63	5,31	1,66	11,3	1,00
	12	-0,80	2,75	1,71	9,34	1,15
	18	-0,85	1,32	1,27	11,0	0,90
III	00	-0,60	3,12	1,36	6,20	10,0
	06	-0,63	0,84	0,99	7,31	6,24
	12	-0,65	1,83	1,26	9,57	2,21
	18	-0,61	0,45	0,94	9,18	2,72
IV	00	-10,0	23,8	6,25	6,33	4,21
	06	-0,61	1,06	1,16	13,9	0,33
	12	-0,42	1,28	1,18	5,45	6,61
	18	-0,53	0,87	0,99	10,7	1,30
V	00	-1,30	3,94	2,25	13,5	0,90
	06	-	-	-	-	-
	12	-	-	-	-	-
	18	-0,55	3,82	1,98	10,3	0,63
VI	00	-1,93	9,40	2,57	12,2	1,65
	06	-0,55	0,92	1,20	5,52	1,93
	12	-0,65	1,52	1,60	1,23	5,30
	18	-0,63	12,9	1,89	9,42	0,91

Аналіз даних за друге півріччя, дозволяє зробити висновки, що при фіксованому значенні ε (від 0,6 до 1,2) величина Q варіює від 0,07 до 11,89 %. Тобто,

розподіл швидкості вітру підпорядковується розподілу Джонсона. Оцінюючи значення Q по місяцях, видно, що влітку теорія Джонсоновського розподілу підтверджується краще, ніж в осінні, виняток становлять лише строки 15 UTC листопад - (12 %) і 09 UTC. Значення λ дещо збільшуються в ранкові години, що свідчить про зменшення швидкостей вітру вранці частіше, ніж в інші строки. Параметр λ змінюється в досить широких межах від 12,05 (15 UTC, вересень) до 84,92 (15 UTC, липень). Причому, масштаби зміни випадкової величини λ більше в теплий період, ніж в холодне. Параметр η у всіх випадках знаходиться у межах від 1,0 до 2,5. Параметр γ сильно перевищує одиницю, що говорить про приналежність розподілу до сімейства S_L . До сімейства S_B відносяться криві, що показують розподіл швидкості вітру за 09 UTC, грудень ($\gamma = 0,97$) і 15 UTC, листопад ($\gamma = 0,97$). В цілому за півріччя параметр γ варіює в межах від 0,41 до 8,87.

Порівняльний аналіз параметрів цих розподілів за різними станціями північно-західного узбережжя Чорного моря дозволить виявити ряд закономірностей, які враховують не тільки сезонну і добову мінливість характеристик вітру, але і вплив фізико-географічних умов розташування метеорологічних станцій на режим вітру біля поверхні землі, як представлено в [53].

Таким чином, перевірка застосування закону розподілу Джонсона для вирівнювання рядів швидкості вітру в районі ст. Іллічівськ-порт з урахуванням річного і добового ходу цих параметрів дає задовільні результати. Практично у всіх випадках одномодальних розподілів, що не підкоряються гауссовському закону, для вирівнювання рядів швидкості приземного вітру можна використовувати S_L і S_B сімейства розподілів Джонсона.

2 ФОРМУВАННЯ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ УМОВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ТА ОЦІНКА ЇХ СПРИЯТЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЮ ШКІДЛИВИХ ДОМШОК НАД ОДЕСОЮ

2.1 Класифікація макроциркуляційних процесів Північно-Західного Причорномор'я, що сприяють посиленню приземного вітру

Особливості географічного положення України, синоптичних процесів і різноманітність кліматичних умов сприяють частому виникненню стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ) і створюють надзвичайну складність розподілу їх у просторі та часі. На сьогоднішній день проблема штормових вітрів є досить актуальною. Однією із умов успішного прогнозування сильних вітрів є знання характеристик вітрового режиму досліджуваної території та синоптичних умов, що їх обумовлюють [61-64]. Аналіз синоптичного матеріалу дозволяє виділити загальні закономірності таких процесів. Представлені нижче результати є продовженням робіт [11, 23, 25, 65-68] з пошуку кращої синоптичної класифікації, яка відображає повноту макромасштабних баричних процесів, що обумовлюють формування вітру, в тому числі і сильного, над півднем України та дозволяє якомога точніше його спрогнозувати.

Перше 20-річчя XXI століття є перехідним періодом від панування найбільш нестійких, провокуючих метеорологічно обумовлені стихійні лиха (у тому числі і викликані сильним вітром) південних меридіональних процесів до переважання меридіональних північних. У зв'язку з тим, що тривалість меридіональних південних процесів у даний час майже вдвічі більше середньої тривалості [69], ймовірність обумовлених ними природних катастроф залишається високою, а самі циркуляційні умови потребують ретельного вивчення з метою підвищення справджуваності прогнозів стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ).

Загальні властивості атмосферної циркуляції часто описують за допомогою різноманітних індексів, серед яких найбільш відомі індекси циркуляції К.-Г. Россбі [70] та О.М. Блінової [71]. Дещо пізніше О.Л. Кац [72-74] розробив типізацію, а також індекси зональної та меридіональної циркуляції, які детально розглянемо нижче.

М.А. Петросянц та Д.Ю. Гущина [75, 76] запропонували новий видозмінений індекс циркуляції, який дуже близький до індексу О.М. Блінової. За допомогою цього індексу обчислюється циркуляція швидкості зональної складової реального вітру, який відбиває великомасштабні особливості глобальної зональної циркуляції та дозволяє більш детально характеризувати особливості руху атмосфери у різних широтних зонах. В принципі М.А. Петросянцем і Гущиною Д.Ю. було введено два інтегральних індекси циркуляції як інтегральні характеристики поля вітру: 1) циркуляція вектору швидкості зональної складової вздовж кола широти і 2) циркуляція вектору швидкості вітру по контуру. Дані індекси введені для вивчення далеких зв'язків між процесами в тропіках і помірних широтах. Самі індекси циркуляції не несуть інформації про аномалії погоди у відповідних районах, але аномалія циркуляції вектору швидкості вітру може бути показником аномалій температури та опадів. Не дивлячись на привабливість цього індексу подальший його розгляд виходить за рамки статті.

У роботі [77] вперше проілюстрований зв'язок індексів циркуляції О.М. Блінової [71] та О.Л. Каца [72] з типами циркуляції Північної півкулі по Б.Л. Дзердзеєвському [69]. Оскільки дослідження в [77] виконані по вихідних рядах першої половини ХХ століття і можуть не відображати сучасних змін циркуляційних умов, то становить інтерес провести подібний аналіз.

Загалом існує декілька класифікацій великомасштабної циркуляції атмосфери Північної півкулі, серед яких найбільш відома синоптична класифікація великомасштабних атмосферних процесів Дзердзеєвського [69] і якій у 2016 р. виконується 70 років. Всі ці класифікації схематизують циркуляцію атмосфери, відкидаючи дрібні деталі баричного поля, що спрощує опис синоптичних процесів. Методи статистичного кластерного аналізу використовуються при ство-

ренні формальної класифікації [78], близької по фізичному змісту до класифікації Дзердзеєвського. Як відмічають автори формальної класифікації, частина типів і груп типів із синоптичної класифікації Дзердзеєвського спостерігається досить синхронно з типами із класифікації, побудованої по формальних алгоритмах розбиття на кластери спостережених баричних полів.

Нагадаємо [69], що в класифікації Дзердзеєвського тип великомасштабної атмосферної циркуляції для позатропічних широт Північної півкулі визначається положенням і характером основних синоптичних процесів у нижній тропосфері – переміщенням південних циклонів і траєкторій антициклонів, пов'язаних з арктичними вторгненнями. Ці процеси відображують відносно стійке у часі географічне положення висотних баричних улоговин і гребенів. Так звані елементарні циркуляційні механізми (ЕЦМ) розрізняються по числу та географічному положенню улоговин і гребенів у полі тиску середньої тропосфери і положенню траєкторій приземних баричних утворень. Число ЕЦМ, введених Б.Л. Дзердзеєвським, дорівнює 13. Незначні зміщення улоговин і гребенів у просторі і по сезонах доводить варіанти циркуляційних схем до 41. Цей набір дозволяє будь-який спостережений стан атмосфери віднести до конкретного типу циркуляції, так що зміни циркуляції в часі зводяться до зміни типів (протягом доби існує лише один тип). Типи циркуляції утворюють 15 груп, що розрізняються на рівні АТ-500 по кількості та напрямку відхилень переважаючого повітряного потоку від чисто зонального. Групи не приурочені до сезонів року.

Календар послідовної зміни ЕЦМ за 1899-2008 рр. представлений в [69], а з 2008 по 2014 рр. на ресурсі [81]. Класифікація та календар є найбільш детальними і тривалими у порівнянні з іншими класифікаціями.

Метою даного дослідження є аналіз взаємодії великомасштабної циркуляції атмосфери з несприятливими погодними умовами у Північно-Західному Причорномор'ї, які проявляються як сильний та дуже сильний вітер. У роботі використано інформацію з архіву АРМсин: приземні карти погоди, карти баричної топографії АТ-850, АТ-500, телеграми штормових сповіщень. Дослідження проводились за холодні сезони (жовтень-березень) 2011-2014 рр. з метою ви-

ключення шквалистих посилень вітру, обумовлених розвитком конвекції, які виникають переважно у теплу пору року. Таким чином, до розгляду брались лише випадки градієнтних вітрів, які спостерігались по території півдня України повсюдно; посилення вітру місцями не враховувалось.

Відомо [79, 80], що вплив штормових вітрів є значним для функціонування народногосподарського комплексу регіону Північно-Західного Причорномор'я. Для дослідження цього впливу відібрано п'ятдесят сім випадків посилення вітру до критерію сильного $\geq 15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та дуже сильного $\geq 25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ по території Одеської області, починаючи з жовтня по березень 2011–2014 років.

Основним фактором зміни швидкості вітру в холодну пору року є зміна баричного градієнту. За вказаний період зафіксовано 4 випадки посилення вітру до $25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та більше: 07.02.2012 р., 08.02.2012 р., 03.12.2012 р. та 23.03.2013 р. Слід зазначити, що під впливом штормових вітрів перебували виключно південні райони області, особливо станції, що знаходяться на узбережжі моря та лиманів (Білгород-Дністровський, Усть-Дунайськ, порт Південний, Паромна Переправа). Досить нерівномірно розподілились сильні вітри від сезону до сезону за роками. Так, у холодний сезон 2011-12 років зафіксовано 19 випадків небезпечних вітрів, 2012-13 рр. – 23 випадки та 2013-14 рр. – лише 15 випадків. Найбільш часто сильний вітер дме з північного сходу, півночі та північного заходу. Ці напрямки характерні для переміщення циклонічних вихорів з південного заходу, коли в зоні впливу теплового фронту посилюється вітер північно-східний, а після проходження холодного фронту – північно-західний та північний. На противагу цим напрямкам вітри південні, південно-західні та західні спостерігаються значно рідше. Дуже сильні вітри 07-08.02.2012 р. мали північно-східний напрямок, 23.03.2013 р. – північно-західний, а 03.12.2012 р. напрямок змінюється від 120 до 350 градусів.

Для визначення характеру макромасштабних синоптичних процесів, що обумовлюють виникнення штормових вітрів у регіоні Північно-Західного Причорномор'я, скористаємось типізацією О.Л. Каца [72-74]. Розрахунки проводи-

лись для першого сектору помірної зони – Атлантико-Європейського, який знаходиться в межах від 20° зах.д. до 80° сх.д. та від 35° до 70° півн.ш.

За формулами (2.1-2.3) визначаємо індекси зональної і меридіональної циркуляції та при співвідношенні меридіонального індексу до зонального отримаємо індекс загальної циркуляції (формула 2.3):

$$I_z = \frac{\sum_1^6 (n_z - n_c) \cdot b}{6 \cdot 3,5} \quad (2.1)$$

де n_z – число перетинів ізогіпсами шести меридіанів між 35 та 70° півн.ш., які направлені з заходу на схід; n_c – число перетинів меридіанів, які направлені зі сходу на захід; b – коефіцієнт, який дорівнює 4 гп. дам на карті АТ-500 гПа;

$$I_m = \left[\frac{n_{45} \cdot \frac{1}{\cos 45}}{120} + \frac{n_{55} \cdot \frac{1}{\cos 55}}{120} + \frac{n_{65} \cdot \frac{1}{\cos 65}}{120} \right] \cdot \frac{b}{3} \quad (2.2)$$

де $n_{45, 55, 65}$ – число перетинів ізогіпсами цих паралелей, незалежно від їх напрямку;

$$I_{zag} = \frac{I_m}{I_z} \quad (2.3)$$

де I_m та I_z – індекси меридіональної та зональної циркуляції відповідно. Якщо $I_{zag} \geq 0,75$, то циркуляція вважається меридіональною.

Відомо [74], що для зонального типу циркуляції характерна широтна орієнтація ізогіпс на карті АТ-500, а меридіональний (м) тип циркуляції поділяється на 4 форми: західна (зах), східна (сх), центральна (ц) та змішана (зм), які значно відрізняються між собою територіальним розміщенням висотних гребенів та улоговин.

Як і слід було очікувати, сильний вітер над півднем України в основному відмічався при меридіональному типі циркуляції атмосфери (77,2%), на зональний тип циркуляції доводиться 22,8% від загальної кількості випадків. Мериді-

ональний тип циркуляції, в свою чергу, здебільшого представлений змішаною (24,6%) та західною (22,8%) формами. Дещо рідше спостерігалась центральна форма циркуляції (17,5%) та східна (12,3%). Всі випадки посилення вітру до $25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та більше пов'язані виключно з меридіональною циркуляцією різних форм. Число індексу коливається від 0,76 до 2,11. Таким чином можна вважати, що меридіональний характер циркуляції атмосфери створює сприятливі умови для посилень вітру у Північно-Західному Причорномор'ї до критерію сильного та дуже сильного.

Досліджуючи вплив баричних об'єктів на формування сильного та дуже сильного вітру, виділено основні типи синоптичних ситуацій, які спричиняли штормові умови у Північно-Західному Причорномор'ї (табл. 2.1). Посилення вітру до 25 м/с та більше протягом холодних сезонів 2011-13 рр. пов'язано з виходом південних циклонів. Загальною ознакою механізму виникнення південних циклонів є меридіональний характер макроциркуляційних процесів, які впливають на формування сприятливих для місцевого циклогенезу термодинамічних умов. Слід зазначити, що всі розглянуті випадки характеризувались надзвичайно близьким розміщенням системи арктичного фронту до системи полярного, що призвело до посилення активності циклонічних вихорів.

Південні циклони найчастіше обумовлювали також сильний вітер (19 випадків), причому тип циркуляції атмосфери у 14 випадках був меридіональний, а у 5 – зональний. Пірнаючі циклони з району Скандинавії 14 разів спричиняли посилення вітру до штормових значень. Переміщення західних циклонів лише два рази супроводжувалось сильним вітром. Зона взаємодії циклону та антициклону різної географічної локалізації також суттєво впливала на формування сильних вітрів. Найчастіше це були блокуючі антициклони зі сходу – 11 випадків (як арктичного, так і сибірського антициклону). В 6 випадках спостерігається протилежна картина, коли антициклон розміщується над Західною Європою, а циклон на сході (переважно над Поволжям) та 5 випадків, коли антициклон знаходився на півночі, а циклон на півдні. Таким чином, периферійні процеси є

надзвичайно важливими при прогнозі штормових вітрів у Північно-Західному Причорномор'ї.

Таблиця 2.1 - Повторюваність (к. в.) синоптичних ситуацій при різних формах циркуляції атмосфери за холодний період 2011–2014 рр.

Тип синоптичної ситуації		Типи циркуляції				
		Зональний	Меридіональний			
			Західна	Центральна	Східна	Змішана
1		2	3	4	5	6
Західний циклон			1		1	
Південний циклон		5	1	3	2	8
Пірнаючий циклон		4	8		1	1
Зона взаємодії	Антициклон на сході, циклон на заході	1		5	2	3
	Антициклон на заході, циклон на сході		4			2
	Антициклон на півночі, циклон на півдні		2	2	1	

У табл. 2.2 представлені всі випадки сильного вітру, які спостерігались на півдні України в холодний сезон 2011-2014 рр., у відповідній групі циркуляційних умов по Кацу, Дзерdzeєвському або класифікації синоптичних процесів, розробленій на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ [65-68].

Сильний вітер загалом утворюється при синоптичних процесах, віднесених до 5 і 6 типу класифікації. Тип 5 – це периферійні атмосферні процеси з атмосферними фронтами. Підтип 5.1 – східний та північно-східний перенос по східній-південно-східній периферії антициклону. Швидкість вітру зростає під впливом чорноморської депресії та штормової зони ($\partial P/\partial n \geq 3,5$ гПа/111 км) з фронтом. Підтип 5.2 – східний і південно-східний перенос відбувається по південній-південно-західній периферії антициклону при проходженні арктичного чи полярного фронтів; в зоні підвищених градієнтів тиску без фронтів або при наявності розмитого фронту. Тип 6 – це циклонічні циркуляції з великими ба-

ричними градієнтами ($\partial P/\partial n \geq 2,5$ гПа/111 км). Підтип 6.1 – східна частина циклону або штормова зона між циклоном на заході, північному заході та антициклоном на сході.

Таблиця 2.2 - Поєднання повторюваності (%) ЕЦМ та підтипів синоптичних процесів з індексами Каца і V_{\max} .
Холодне півріччя 2011-2014 рр.

Тип ЕЦМ	Підтипи синоптичних процесів					
	5.1	5.2	6.1	6.2	6.3	6.4
5 а, 5 в				0,95 м зм 0,91 м зах 1,11 м сх 22		
6		0,76 м зах 0,79 м сх 3,5 16				
8 бз, 8 гз	0,67 зон 1,7 16			0,48 зон 1,18 м зах 3,5 18		
11 а, 11 б, 11 в, 11 г		1,64 м зм 2,11 м зах 3,5 26	1,30 м зм 1,45 м ц 7,0 1,71 м ц 1,13 м ц 25	0,59 зон 1,7 20	0,70 зон 0,97 м зм 3,5 22	1,50 м зм 0,55 зон 5,3 0,99 м ц 21
12 а	1,16 м зм 0,79 м зах 0,65 зон 5,3 20		1,10 м ц 1,03 м ц 0,99 м зм 5,3 20	1,32 м зм 0,97 м зах 1,08 м зах 0,98 м зах 1,39 м зах 10,5 22	0,97 м сх 0,75 м сх 0,72 зон 5,3 20	0,77 м зм 0,60 зон 0,77 м сх 5,3 27
12 бз		1,29 м ц 0,55 зон 3,5 20	0,80 м ц 0,95 зон 3,5 22	0,76 м зм 1,8 25	0,76 м зм 1,8 16	
12 вз		1,02 м зм 1,05 м зм 0,53 зон 5,3 20	1,16 м зах 1,7 16	0,94 м сх 1,8 22		
13 з	0,82 м зах 1,11 м зах 3,5 20	3,01 м ц 1,53 м ц 7,0 1,12 м ц 0,74 зон 22		0,95 м зах 1,8 21		2,85 м зм 1,8 22

Примітка. В кожній клітинці зліва – повторюваність (%), праворуч – індекси циркуляції Каца і значення V_{\max} , м·с⁻¹(внизу).

Підтип 6.2 – тил циклону, що переміщується зі швидкістю $\geq 40 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$. Підтип 6.3 представляє улоговину з фронтами, а підтип 6.4 – південний циклон, що здійснює перенос повітряних мас з півдня. Проте у його північній частині може спостерігатися вітер північно- і південно-східних напрямків, а в центрі циклону (з фронтами) – всіх напрямків, включаючи північно-західний. Сильний і дуже сильний вітер над півднем України відмічається при 6 типах (13 підтипах) ЕЦМ та 2 типах (6 підтипах) кафедральної класифікації. Згідно табл. 2 найбільша повторюваність сильного вітру (10,5%) доводиться на поєднання ЕЦМ 12а і підтипу 6.2 при меридіональному типі циркуляції по Кацу. Саме ЕЦМ 12а забезпечує 18 із 57 розглянутих випадків, у тому числі максимальну швидкість ($27 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) вітру в регіоні 03.12.2012 р., коли 11 станцій регіону фіксували швидкість $\geq 20 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Напрямок вітру на досліджуваній території змінювався по станціях від 170° (порт Південний) до 350° (Болград); проходив атмосферний фронт з хвилями (підтип 6.4). Також часто спостерігався сильний вітер при ЕЦМ 13з, переважно при меридіональних процесах, тобто при переміщенні південних циклонів.

Розглянемо одну із типових синоптичних ситуацій, яку формує тип ЕЦМ-11 і підтипи 5.2, 6.1. Так, 26-29 січня 2014 р. (рис. 2.1) несприятливі погодні умови в Азово-Чорноморському басейні та на прилеглих територіях зумовлювала взаємодія гребеня північно-західного антициклону з максимальним тиском 1053 гПа, який зміщувався з Прибалтики в район Москви, та улоговини південного циклону з мінімальним тиском 997 гПа, що виник на хвилі полярного фронту над Італією і зміщувався на схід Чорного моря.

Падіння тиску в передній частині циклону вздовж узбережжя Турції було незначним і становило 1,1-1,6 гПа/3 год, зростання тиску в тилівій частині в районі протоки Дарданели досягало 6,7 гПа/3 год за даними 09 (11) год 29.01.2014 р. Приземному циклону на карті АТ-850 відповідав висотний, окреслений однією замкненою ізогіпсою 132 дам над північними районами Егейського моря, на АТ-700 – висотна улоговина, вісь якої була орієнтована від британських островів через Центральну Європу на Балкани.

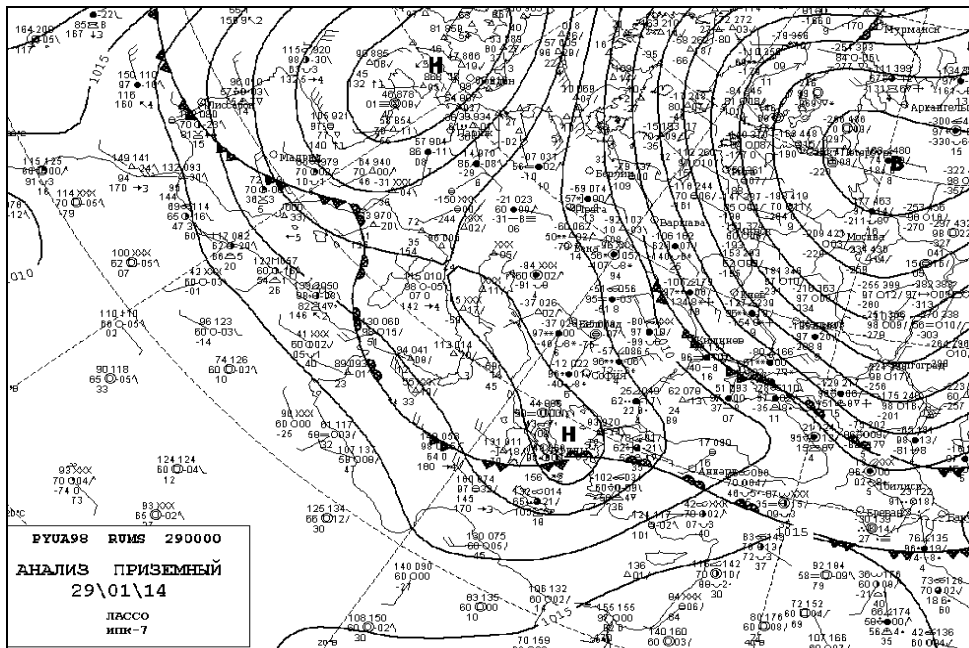


Рисунок 2.1 - Аналіз приземний за 29.01.2014 р., 00 ВСЧ

Граденти геопотенціалу висотної фронтальної зони над Азовським морем на карті ВТ 500/1000 становили близько 8-10 дам/1000 км. По передній частині циклону на південно-східні райони Чорного моря відбулась адвекція тепла зі східних районів Середземного моря, температура повітря над турецьким та кавказьким узбережжям Чорного моря о 18 (20) год 29 січня становила 14...18 °С, тоді як над Азовським морем знизилась до 9...14 °С. Циклон за добу перемістився з Мармурового моря на східні райони Чорного моря, при цьому тиск у центрі виріс до 1010 гПа. Наявність блокуючого антициклону підтримувала значні термічні та баричні (близько 5 гПа/111 км) градієнти біля земної поверхні над Азовським морем, які сприяли посиленню північно-східного вітру до критерію стихійного гідрометеорологічного явища. На акваторії морів швидкість вітру сягала 15...24 м·с⁻¹, в Генічеську, Бердянську та Маріуполі – 25...28 м·с⁻¹. Поєднання вітру з сильним снігом призвело до сильної хуртовини. Посилення вітру супроводжувалось небезпечними льодовими та згінно-нагінними явищами, швидким обмерзання суден [62]. СГЯ завдало збитків портам та підприємствам морської галузі, розташованим на узбережжі Азовського моря: припинялись вантажні операції та судноплавство, були пошкоджені лінії електропередач.

2.2 Повторюваність та структура струминних течій нижніх рівнів над Одесою з 2011 по 2015 рр.

Звісно [1-3, 8, 16, 23, 27], що сполучення послаблення швидкості приземного вітру за наявності температурної інверсії та інтенсивних потоків на висотах може заважати переміщенню повітря над територією, тому визначимо сучасний режим та умови формування струминних течій нижніх рівнів (СТНР) над Одесою.

Для дослідження залучалися дані радіозондування у строк 00 UTC над ст. Одеса-ГМО у 2011–2015 рр. та синоптичні карти з архіву пакету АРМСин 3.0. Виявлено, що протягом вказаного періоду виконано 915 радіозондувань, тобто здійснено лише 63 % від нормативної кількості спостережень. З аналізу наявності аерологічної інформації за вказане п'ятиріччя зроблені висновки щодо відсутності зміни забезпеченості даними з року в рік – від 62 до 68 %. Оскільки для аналізу доступні лише 63 % нічних строків зондування, що потрібно буде враховувати при дослідженні режиму СТНР.

За допомогою 915 радіозондів виявлено 87 випадків, коли швидкість вітру у нижньої тропосфері перевищувала 15 м/с, з яких 63 можна віднести до низько тропосферних течій, при яких вертикальний профіль швидкості вітру відповідав визначенню явища [23].

Більшість течій спостерігалася навесні, а саме 26 випадків або 38 % від кількості радіозондувань (рис. 2.2). В інші сезони їх повторюваність зменшується - взимку 18 випадків, а влітку і восени лише 10 і 11 течій.

Таким чином, повторюваність СТНР у період 2011-2015 рр. становила 8 %, що не відрізняється від її багаторічного значення – 8% [5], з максимумом у лютому і березні – 17 і 18 %, також вона була значною у грудні – 14 %. Повторюваність нижче середньої виявилася безперервно з травня по жовтень (від 1 до 7 %), тобто у місяці з циркуляційними процесами характерними для літа. Найнижчою кількістю низьких струменів відрізнялися липень та серпень, коли бу-

ло знайдено 1 та 5 випадків. Зменшення активності формування СТНР у січні, можливо, пов'язане з браком 26 % радіозондів у цей місяць.

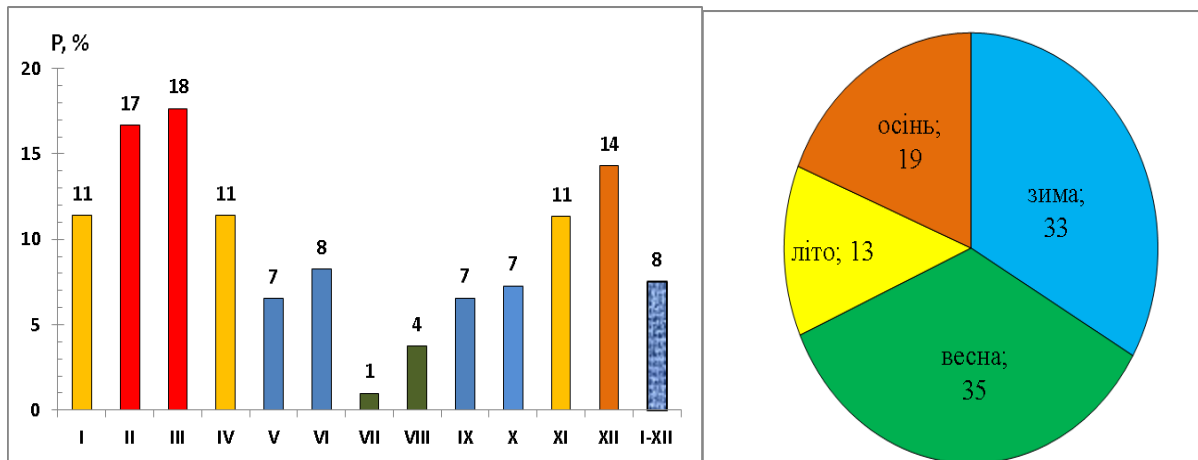


Рисунок 2.2 - Повторюваність СТНР на ст. Одеса-ГМО у 2011-2015 рр.

Отже формування низьких течій у 2011-2015 рр. характеризувалося більшою активністю навесні та взимку – 68 %, причому перевага формування струменів у холодне півріччя виявляється значною – 64 %.

Протягом періоду 2011-2015 рр. інтенсивність низькотропосферних струменів незначно слабкіше, ніж у 1975-1995 рр. Вона знизилася з 20 м/с до 18 м/с у середньому на рік. Відносно більш інтенсивні струмені у січні та лютому – 20 м/с (рис. 2.3), а максимальні значення швидкостей вітру на осі СТНР у досягли 30 м/с, тобто не досягли багаторічного максимуму – 33 м/с [8].

Отже, середня швидкість у межах холодного півріччя 2011-2015 рр. становила 18 м/с, а у теплому дещо менше – 17 м/с, що підтверджується результатами [35, 42]. Якщо проаналізувати сезонний розподіл інтенсивності СТНР за 2011-2015 рр., то виявиться формування найбільш інтенсивних течій в зимові місяці, а найменш інтенсивні – влітку. Тобто, зберігається з незначними відмінностями по окремих місяцях, характерний річний хід (рис. 2.3) швидкості вітру на осі течії.

Що стосується просторового розташування СТНР над Одесою, то вони у 2011-2015 рр. (рис. 2.3) спостерігалися вище на 510 м, ніж у 1975-1995 рр.

(табл. 2.1) та на 140 м у порівнянні з 2001-2010 рр., а з року у рік висота осі струменю змінювалася від 190 м до 1390 м, складаючи у середньому 1100 м.

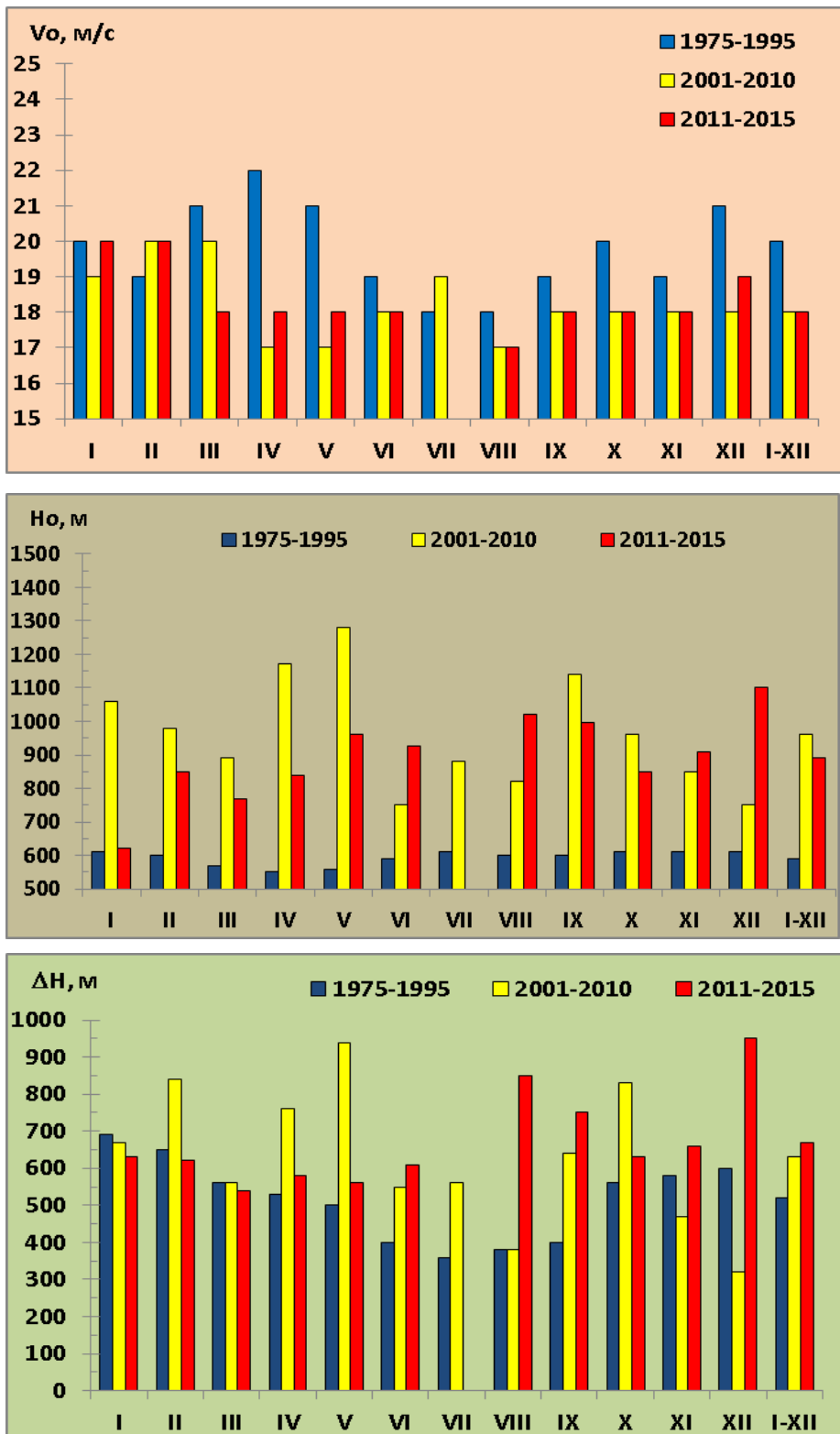


Рисунок 2.3 - Основні структурні параметри СТНР над Одесою

Відносно більш високими виявилися низькі течії у липні та січні – більш ніж 1200 м, а найнижчі – у січні (800 м), на відміну від 2001-2010 рр., коли найбільш високі СТНР формувалися з січня по травень (рис. 2.3). Обраний період характеризувався практично однаковими середніми значеннями висоти осі СТНР у холодне та тепле півріччя – 1060 м та 1080 м, відповідно. Подібний розподіл спостерігався у 1975-1995 рр. (600 м проти 590 м), але у 2001-2010 рр. більш високі течії виникали у тепле півріччя та з більш значною різницею – 1010 м проти 920 м

Стосовно потужності струменів можна відмітити її зростання у порівнянні з 1975-1995 рр. з 540 м до 630 м і 800 м у 2001-2010 та 2011-2015 рр. Причому у 2001-2010 рр. відносно більш потужні СТНР виникали з січня по травень і у жовтні, а в 2011-2015 рр. – з січня по квітень та з вересня по листопад. Значна потужність у липні визначено тим, що виявлена була лише одна СТНР за п'ять років, можливо через брак вихідної інформації (66 %) та невелику повторюваність низьких течій влітку.

Таким чином, протягом 2011-2015 рр. виявилось збереження активності формування СТНР у порівнянні з 1975-1995 рр. (8 %), але низькі струмені у середньому стали менш інтенсивними (на 1 м/с), але більш високими (на 510 м) та більш потужними (260 м). Від попереднього десятиріччя [35] період дослідження відрізнявся зменшенням повторюваності з 14 % до 8 %, збільшенням висоти осі СТНР (на 140 м) та збільшенням їх потужності (на 170 м) при зростанні інтенсивності течії на 1 м/с.

В процесі дослідження виявлено, що в цілому за всі місяці 2011-2015 рр. СТНР переважно утворювалися (66%) під впливом циклонічної циркуляції, причому її частка більш значна у холодне півріччя ніж у тепле – 69 % проти 62 % (рис. 2.4). Незалежно від сезону найчастіше низькотропосферні течії формувалися в улоговині (25 %), також значні частки припадали на гребінь антициклону та тил циклону – 18 та 19 %, відповідно.

Тепле півріччя також характеризувалося перевагою циклонічних струменів, що формувалися переважно в улоговині та тилу циклону (21 % і 14 %, від-

повідно). Антициклонічні СТНР створювалися найчастіше (19 %) у гребні та у передній частині антициклону (17 %). На решту частин баричних утворень приходилось менш ніж 7 %, а у центральній частині антициклону за п'ять років не знайдено жодної низької течії.

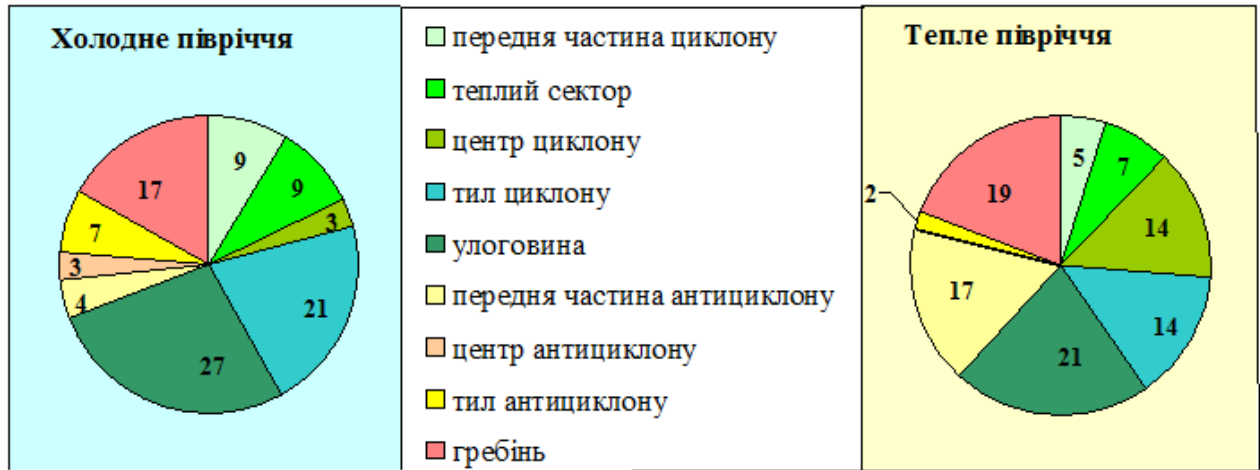


Рисунок 2.4 - Розподіл (%) формування СТНР над Одесою за частинами баричних утворень (2011-2015 рр.)

У холодне півріччя, а саме з жовтня по березень, найчастіше струмені утворювалися під впливом улоговини (27 %) та у тилівій частині циклону (21 %). Антициклонічні СТНР формувалися переважно (17 %) у гребні (рис. 3.1.). Частка інших частин баричних утворень не перевищувала 9 %, а найменшими виявилися центральні частини циклону та антициклону – по 3 %.

Отже, розподіл випадків формування СТНР за частинами баричних утворень у 2001-2015 рр., в загальному плані, також не відрізнялося від 1975-1995 рр. [6] та [19] – більша частина низьких течій формувалася у циклонічному полі, решті в антициклонічному, а на периферійні частини баричних утворень з великими градієнтами тиску (більше 1,5...2,0 гПа/100 км) приходилося 93 %.

Впродовж 2011-2015 рр. більшість низьких течій, що пов'язані з фронтальними розділами, утворювалися біля холодного фронту (71 %), з перевагою частки зафронтальних утворень, що розташовувалися у теплому секторі або у перехідних зонах між циклоном і антициклоном; 43 % та 41 % у холодне та тепле півріччя.

Для аналізу синоптичних умов, які сприяють утворенню СТНР, використовувалась типізація синоптичних процесів, яка розроблена на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ [23, 65].

Виявилося, що жодного разу СТНР не виникали при малоградієнтних периферійних процесах (тип 1), циклонічної циркуляції з невеликими градієнтами (тип 2) та у розмитих баричних полях (тип 4), отже, формуванню СТНР сприяли тип 3, 5 та 6 (табл. 2.3).

При антициклонічній циркуляції (тип 3), яка характеризується в загальному випадку послабленою швидкістю вітру, низхідними вертикальними рухами і малоохмарною погодою, створюються, сприятливі умови для виникнення нічних посилень вітру над шаром температурної інверсії.

Таблиця 2.3 - Повторюваність (к.в. / %) типів (підтипів) синоптичних процесів формування низьких течій над Одесою у 2011-2015 рр.

Типи синоптичних процесів	Підтипи синоптичних процесів	Півріччя			
		холодне		тепле	
		к.в.	%	к.в.	%
Антициклонічна циркуляція	3	2	3	3	8
	3.1	2	3	2	5
	3.2	0	0	1	3
	3.3	0	0	0	0
Периферійні процеси з проходженням фронтів	5	26	34	20	49
	5.1	9	12	19	48
	5.2	17	22	1	3
Циклонічна циркуляція з великими баричними градієнтами	6	49	64	17	43
	6.1	6	8	1	3
	6.2	15	19	2	5
	6.3	24	30	7	18
	6.4	4	6	7	18
Загальна кількість		77	100	40	100

При антициклонічній циркуляції (рис. 2.5) низькі течії над Одесою частіше утворювалися тепле півріччя (8 %) за всієї імовірністю через нічне радіаційне охолодження, а у холодне навпаки частка цього типу мінімальна – 3 %.

Розглядаючи тип 5 (периферійні процеси з проходженням атмосферних фронтів) можна помітити, що даний тип синоптичних процесів не є характерним для Одеси, але при ньому утворювалося половина (51 %) низьких течій теплого півріччя та більше третини холодного (34 %). Для холодної частини року більш сприяли формуванню СТНР підтип 5.2, а у теплу пору – підтип 5.1.

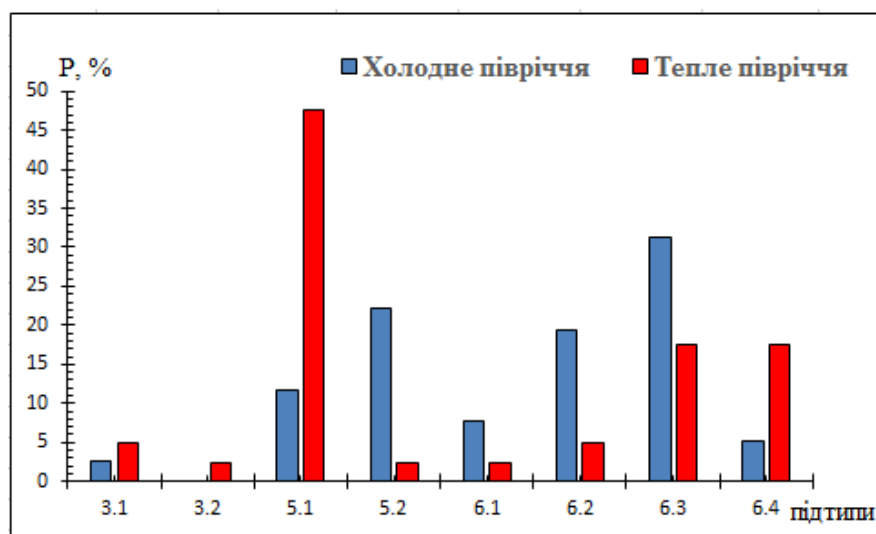


Рисунок 2.5 - Повторюваність (%) підтипів синоптичних процесів за наявності СТНР над Одесою (2011-2015 рр.)

Синоптичний тип 6, тобто циклонічна циркуляція з великим баричними градієнтами були часто пов'язані з низьких течій, особливо у холодне півріччя (64 %), коли відносна перевага припадала на підтип 6.3 та 6.2, а саме 31 % та 19 %, відповідно. У тепле півріччя з типом 6 пов'язані 43 % низьких течій, причому на підтипи 6.3 та 6.4 приходилося по 18 %.

Отже, переважно СТНР формувалися під впливом улоговини з фронтами, яка обумовлює вітри різних напрямків в залежності від своєї орієнтації, тому лише 3-5 % від загального числа низьких течій в антициклонічному полі може сприяти формуванню застою повітря над Одесою.

2.3 Аналіз типів синоптичних процесів, що сприяли утворенню штилів над Одесою у 2005-2016 рр.

Для аналізу синоптичних умов, які сприяють утворенню штилів впродовж 2005-2016 рр., використовувалась типізація синоптичних процесів, яка наведена [23, 65]. Для кожного випадку штиля визначений синоптичний тип і підтип, наявність або відсутність погодних явищ (рис. 2.6).

Так, протягом 2005-2016 р., в цілому, спостерігалася досить часта зміна процесів. Переважали периферійні процеси (24 випадки або 30 %); взимку частіше спостерігався західний та північно-західний перенос, а навесні - східний.

Часто через район дослідження переміщалися улоговини (тип 2) – 25 %. Антициклональна циркуляція та малоградієнтні і розмиті поля тиску сприяли ся безвітрю у 22,5 %.

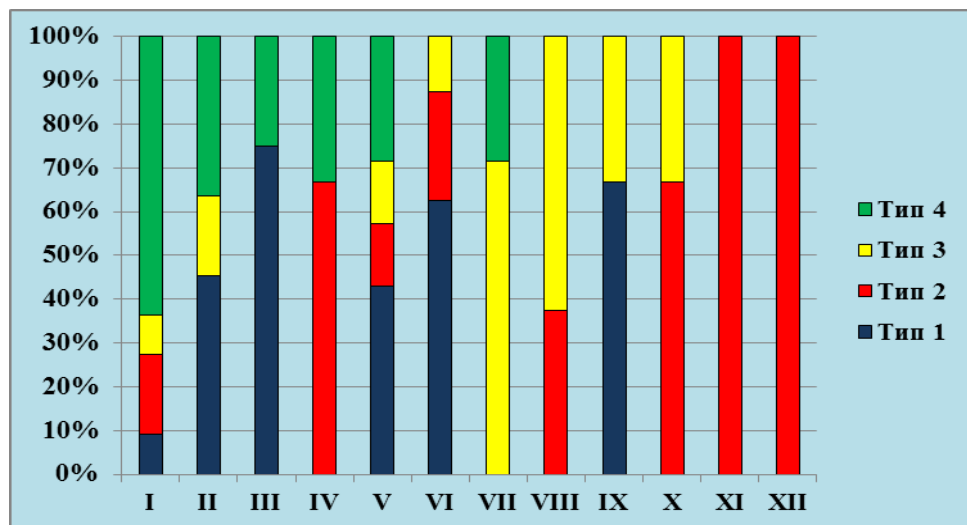


Рисунок 2.6 - Річний розподіл (%) синоптичних типів за наявністю штилю над Одесою у 2005-2016 р.

З жовтня по грудень та у квітні 2005-2016 рр. штилі переважно утворювалися під впливом циклонічної циркуляції (тип 2), але у вказані місяці було лише 6 штилів. Від січня по травень значна частка штилів виникала у малоградієнтних баричних полях, з максимумом вказаного типу у січні (підтип 4.2). Пе-

риферійні процеси впливали на послаблення вітру у лютому-березні (45 % і 75 %), травне-червні (43 % і 63 %) та вересні (67 %), з перевагою підтипу 1.3.

Антициклональна циркуляція формувала штилі влітку (71 та 63 % у липні та серпні), а також помітно впливала на цей процес у вересні та жовтні – 33 %.

Отже, взимку 2005-2016 р. штилі спостерігалися переважно формувалися при слабковираженому баричному полі (підтип 1.4), а саме у сідловині. Штилі виникали, в основному, по одному строку на добу в ясну погоду, при цьому вітер на протязі дня міг зростати та досягати 10 м/с і сприяти забрудненню атмосфери.

Влітку і восени помітно переважає антициклональний тип погоди. Причому, ці типи синоптичних процесів відрізняються найбільшою тривалістю, що значно збільшує вагу поля підвищеного тиску в циркуляції липня та серпня. Найбільшу повторюваність мав підтип 3.1, а саме вплив гребеня Азорського антициклону, що орієтуючись з заходу на схід розповсюджувався до півдня України. Також влітку штилі спостерігалися в слабковиражених баричних полях (тип 4). Саме влітку при ясній погоді і штилі створюються сприятливі умови для накопичення шкідливих домішок в атмосфері. Весною штилі частіше утворюються при підтипі 1.3, коли місце має периферійні процеси і слабковиражене баричне поле. Частіше всього виникали при зливах, що в свою чергу не сприяли забрудненню повітря.

Таким чином, формуванню штилів у 2005-2016 р. найбільш сприяли периферійні процеси та циклонічна циркуляція. Слабковиражені баричні поля (особливо їх центральні частини) і антициклонічна циркуляція також формували значну частку безвітря. Жодного разу не спостерігалось при штилі типів 5 та 6, які характеризувалися значними баричними градієнтами.

3 РОЗРОБКА ТА ОСНОВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПРОГНОЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ НАД ОДЕСОЮ

3.1 Загальна характеристика екологічного стану Одеси та сучасна система спостережень за забрудненням повітря

Охорона довкілля та раціональне використання природних ресурсів залишається однією з найбільших актуальних проблем Одеського регіону. Поряд з дуже вигідним транспортно-географічним розташуванням, Одещина має сприятливі умови, що в цілому формують високий природно-ресурсний потенціал регіону.

Кліматичні особливості Одеського регіону [50], значне збільшення автомобільного парку, його старіння та поганий стан доріг, збільшення інтенсивності потоку на дорогах стали причиною високого рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Інтенсивність забруднення атмосфери автомобільним транспортом безперервно збільшується із-за зростання кількості приватного автотранспорту. Основні причини цього є в тому, що викиди від усіх видів транспорту у 4 разів більше, ніж від промислових підприємств і складають 83,9 % від сумарної кількості викидів.

Негативний вплив на довкілля міста мають викиди шкідливих речовин у повітря, які утворювались внаслідок виробничої діяльності підприємств. У м. Одесі розташовано майже 152 найбільш потужних підприємств. Основний вклад у викиди від стаціонарних джерел вносять підприємства Держхіму, Держнафтогазу, Мінпромислової політики, Міненерго. Найбільш значними забруднювачами являються: ВАТ «Одесагаз», Припортовий завод м. Южного, ВАТ «Лукойл»- Одеський Нафтопереробний завод, ЗАТ «Одесцемент», ТЕЦ-1, Одеський морський порт [82].

Негативно впливають на екологічну обстановку в регіоні підприємства, які виробляють та розподіляють електроенергію, газ та воду, підприємства переробної промисловості, підприємства діяльності транспорту та зв'язку. Промисловими підприємствами Одеси в атмосферу викидається метану (55%), оксиду вуглецю (13,8%), НМЛОС (11,4%), оксиду азоту (0,04%), діоксиду азоту (9,0%), діоксиду сірки (4,7%), пилу (5,0%), сажі (0,3%). На долю специфічних шкідливих речовин (сірководню, формальдегіду, фенолу, фтористого водню та ін.) припадає 0,1 % сумарних викидів; саме ці викиди із-за високої токсичності особливо впливають на стан забруднення повітря в місті, на здоров'я людей, стан рослинного та тваринного світу. Під дією процесів, що відбуваються у пограничному шарі атмосфери (1,0 – 1,5 км), шкідливі речовини, які викидаються джерелами забруднення, розповсюджуються у цьому шарі атмосфери, утворюючи поле концентрацій інгредієнтів у приземному шарі.

Рівень забруднення повітря (ІЗА=15,1) вищий за середній по Україні (ІЗА по Україні дорівнює 8,1). На підприємствах, продукція яких користується попитом (теплоенергетика, частково - харчова промисловість, морські порти, переробка нафти), відзначається тенденція до збільшення викидів. Це – Припортовий завод, ТЕЦ-1, Одеський морський торговельний порт.

Найбільший рівень забруднення повітря основними та специфічними речовинами відмічається у північній та північно-західній промислових частинах міста (ПСЗ №№ 10, 18, 17). Тут концентрації основних речовин вище, ніж в інших районах міста. В північній та північно-західній частинах міста, розташованих в понижуванні рельєфу, знаходяться основні джерела забруднення міста (ВАТ “Лукойл” Одеський нафтопереробний завод, ТЕЦ, ЗАТ “Одесцемент”, ЖБВ та ін. заводи). Тут дуже велика запиленість повітря. Аерозольні частинки сірки, пилу та інших шкідливих речовин від промислових викидів погіршують видимість та перешкоджають проникненню до приземного слою атмосфери сонячної радіації.

Спостереження за станом атмосферного повітря м. Одеса проводяться по 8-ми контрольно-вимірювальних постах, які розташовані у різних районах міс-

та Одеси (рис. 3.1) та характеризуються різним рівнем антропогенного навантаження. Слід зазначити, що пост № 8 розташований в узбережній зоні Чорного моря на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів на значній відстані від промислових підприємств та автошляхів. Тому значення концентрацій забруднюючих речовин, які вимірюються на цьому пості, можна вважати фоновими.



Рисунок 3.1 - Схематичне зображення постів спостереження за забрудненням атмосфери м. Одеса

Пости №№ 10, 15 та 17 розташовані у північній та північно-західній частинах міста (вул. Чорноморського козацтва - №10, Херсонський сквер - №15, автовокзал - №17), де знаходяться основні джерела викидів небезпечних речовин: нафтопереробний, цементний, лакофарбувальний заводи та інші. Пости №№ 16, 18, 19 розташовані у тих районах міста, де найбільший рух автотранспорту: ріг Олександрійського проспекту та вул. В. Арнаутської - №16, 1-а ст. Люстдорф-

ської дороги - №19, вул. Балківська - №18. Окремо необхідно відзначити місце розташування КВП № 20, який знаходиться на розі Італійського бульвару та вул. Канатної. Це район, де немає промислових підприємств, але на цих вулицях спостерігається великий рух автотранспорту, особливо у час пік. Пост розташований на деякій відстані (приблизно 30 м) від автошляхів.

3.2 Зв'язок формування підвищеного рівню забруднення повітря з метеорологічними та синоптичними умовами над Одесою з червня по грудень 2011 р.

Для характеристики впливу метеорологічних умов на якість атмосферного повітря над використані дані Гідрометцентру Чорного і Азовського морів про вміст в атмосферному повітрі м. Одеса основних забруднюючих домішок та характеристики вітру і температури повітря на восьми постах спостереження за забрудненням (ПСЗ) за 2011 рік з червня по грудень місяць. Пости розташовані в різних частинах Одеси і характеризуються різним ступенем забруднення повітря у межах міста.

Подальші дослідження ґрунтувалися на виявленні повторюваності підвищених рівнів забруднення повітря. В якості характеристики забруднення повітря у дослідженні використовувалися дані концентрації оксиду вуглецю (СО). Незважаючи на те, що ця домішка відноситься до 3-го класу небезпеки, вона є основним маркером забруднення. Гранично допустима концентрація для СО складає 5,0 мг/м³.

По всім постам, як у зимовий, так і у літній сезони, найбільше перевищення ГДК оксиду вуглецю у м. Одеса складало 8 мг/м³. За весь період не зафіксовано подвійного перевищення ГДК (табл. 3.1).

Як видно з таблиці на шести із восьми ПСЗ спостерігались високі концентрації оксиду вуглецю. Однак їх розподіл у часі був досить нерівномірний. Так найчастіше високий вміст СО фіксувався у червні (9 випадків) на постах № 16

та 19, у липні (9 випадків) - на постах № 10 та 15. Ці 2 місяці характеризувались найбільшим числом випадків перевищення ГДК оксиду вуглецю.

Таблиця 3.1 – Дати спостережень та значення перевищення вмісту оксиду вуглецю (мг/м³) по ПСЗ м. Одеса у 2011 р.

№ поста	Місяці														
	VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		
	дата	мг/м ³	дата	мг/м ³	дата	мг/м ³	дата	мг/м ³	дата	мг/м ³	дата	мг/м ³	дата	мг/м ³	
№8									18	7	10	7			
№10	29	6	1	5											
			4	5											
			6	6											
			12	5											
			25	7											
			27	6											
			28	5											
29	5														
№15	29	6	1	5	26	5	7	7							
			4	5			8	5							
			6	6			27	8							
			12	5	22	7									
			25	7											
			27	6											
			28	5											
29	5														
№16	1	5	26	5											
	6	5													
	7	5													
	15	6													
№18													2	5	
													5	5	
№19	3	5					19	7							
	20	5					13	5							
	21	5													
	30	5					28	7							

Відомо [53], що у літні місяці на півдні України фіксуються високі температурні показники та тривалий час відсутні опади. Такі погодні процеси сприя-

ють накопиченню домішок у повітрі. В інші місяці спостерігались лише поодинокі випадки високих концентрацій. Пост № 8, який знаходиться у курортній зоні Одеси, також зафіксував у жовтні та листопаді вміст СО на рівні 7 мг/м^3 , що є скоріше винятком для цього поста спостережень.

Місяці жовтень, листопад та грудень виявилися найбільш спокійними у плані забруднення атмосфери. Це можна пояснити підвищеною здатністю атмосфери до розсіювання домішок за рахунок активізації циклонічних процесів у цей період. Поряд з цим жодного разу не спостерігається перевищення граничнодопустимих концентрацій більше ніж на двох постах спостережень.

Велику роль у формуванні рівня забруднення атмосфери протягом року грають приземні та піднесені інверсії температури повітря. Для випадків перевищення ГДК оксиду вуглецю розглянуто вертикальну структуру атмосфери за допомогою даних радіозондування атмосфери у 00 UTC на ст. Одеса-ГМО.

Інверсія характеризується висотою нижньої межі інверсійного шару, його товщиною і так званою глибиною інверсії, тобто різницею температур на верхній та нижній межах шару. Параметри інверсій за досліджуваний період приведені у табл. 3.2.

Слід зазначити, що затримуючий інверсійний шар спостерігався у всі дні, коли був зафіксований високий вміст забруднюючої домішки у повітрі над Одесою, за винятком декількох. Переважали приземні інверсії, потужність яких коливалася в межах від 200 м до 400 м, лише 5 грудня 2011 р. приземна інверсія поширилась до висоти 600 м, а також спостерігалась висотна інверсія потужністю 500 м. Різниця температури на нижній та верхній межі інверсійного шару змінювалась від $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ до $4,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Інверсії формувались у різних баричних полях. Атмосферні динамічні процеси здійснюють суттєвий вплив як на локальні значення концентрації, так і на загальний вміст СО в атмосфері. У багатьох випадках походження повітряної маси дозволяє пояснити зміни газового складу атмосфери, які спостерігаються. Для аналізу умов забруднення атмосфери застосовують синоптичні методи, що враховують комплекс метеорологічних умов та синоптичних ситуацій,

які визначають розповсюдження та накопичення домішок. При малоактивному розвитку процесів і застійних явищах (слабкий вітер) створюються умови, що найбільш сприяють забрудненню. Якщо ж атмосферні процеси активні, то приземні шари повітря швидко очищаються.

Таблиця 3.2 – Характеристики інверсій температури над Одесою у 2011 р.

Дата	Тип інверсії	Параметри інверсії			Характеристики вітру біля землі
		ΔH , м	ΔT , °C	γ , °C	dd, °V, м/с
03.06	Приземна	380	4,1	-1,1	315 / 1
07.06	Приземна	180	2,9	-1,6	270 / 2
15.06	Приземна	210	2,2	-1,0	315 / 2
20.06	Приземна	210	2,4	-1,1	270 / 1
	Піднесена	240	0,2	-0,1	
21.06	Приземна	210	0,8	-0,4	300 / 3
29.06	Приземна	410	0,5	-0,1	180 / 1
30.06	Приземна	250	0,4	-0,2	штиль
01.07	Приземна	190	2,3	-1,2	225 / 2
06.07	Приземна	390	1,6	-0,4	180 / 2
12.07	Приземна	200	0,9	-0,5	штиль
14.07	Приземна	210	2,0	-0,9	360 / 1
15.07	Приземна	410	2,4	-0,6	320 / 1
25.07	Приземна	360	1,7	-0,5	штиль
26.07	Приземна	200	3,6	-1,8	360 / 1
27.07	Приземна	200	0,4	-0,2	штиль
	Піднесена	360	1,6	-0,5	
29.07	Приземна	190	1,0	-0,6	360 / 1
30.07	Піднесена	220	0,0	-0,0	20 / 3
26.08	Приземна	340	2,3	-0,7	340 / 3
30.08	Приземна	230	1,1	-0,5	45 / 1
19.09	Приземна	230	0,8	-0,3	90 / 1
02.12	Приземна	230	0,8	-0,3	275 / 2
	Піднесена	350	2,7	-0,8	
	Висотна	340	1,4	-0,4	
5.12	Приземна	600	3,9	-0,7	250 / 4
	Висотна	500	0,1	-0,7	

Розглянувши циркуляцію повітряних мас біля поверхні землі (табл. 3.3), можна відзначити, що переважно малоградієнтні баричні поля та периферійні процеси створювали умови для накопичення домішок.

Таблиця 3.3 – Розподіл синоптичних процесів при високих рівнях концентрації оксиду вуглецю над Одесою у 2011 р.

Дата	Характер баричного поля
03.06; 15.06 26.08; 19.09	південно-західна периферія антициклону
07.06; 26.07 02.12; 29.07	гребінь
21.06	східна периферія антициклону
14.07; 15.07	малоградієнтне поле підвищеного тиску
20.06; 25.07; 30.08;	сідловина
30.06	східна периферія циклону
01.07; 06.07; 27.07; 30.07; 5.12	улоговина
29.06; 12.07	малоградієнтне поле зниженого тиску

Характеристики вітрового режиму (напрямок та швидкість) належать до метеорологічних чинників, що найбільше впливають на концентрації забруднюючих домішок в приземному шарі атмосфери. Вплив напрямку вітру на вміст домішок в повітрі великих міст найкраще простежується, коли джерела викидів шкідливих речовин сконцентровані в межах однієї або кількох промислових зон, розташованих за містом. Так, в Одесі значна частина забруднюючих речовин надходить у повітря від пересувних джерел, автомобільного транспорту, які розосереджені по всьому місту, тому виявлення небезпечних напрямків вітру для міста є складним завданням.

Проведено порівняння швидкостей вітру на постах спостереження № 8 та № 20. Як видно з рис. 3.1, пост № 20 знаходить поблизу дуже складної транспортної розв'язки та міської забудови. Вплив напрямку вітру на забруднення міського повітря визначається не лише розташуванням джерел викидів, а також рельєфом і місцевою циркуляцією. Варто відзначити, що міські вулиці зі щільною висотною забудовою, спричиняють зміни швидкості і напрямку вітру, а також стають причиною утворення місцевих циркуляцій. Отже, незалежно від пори

року швидкість вітру на ПЗС № 20 (рис. 3.2) значно менше швидкості вітру на посту № 8, за винятком окремих випадків.

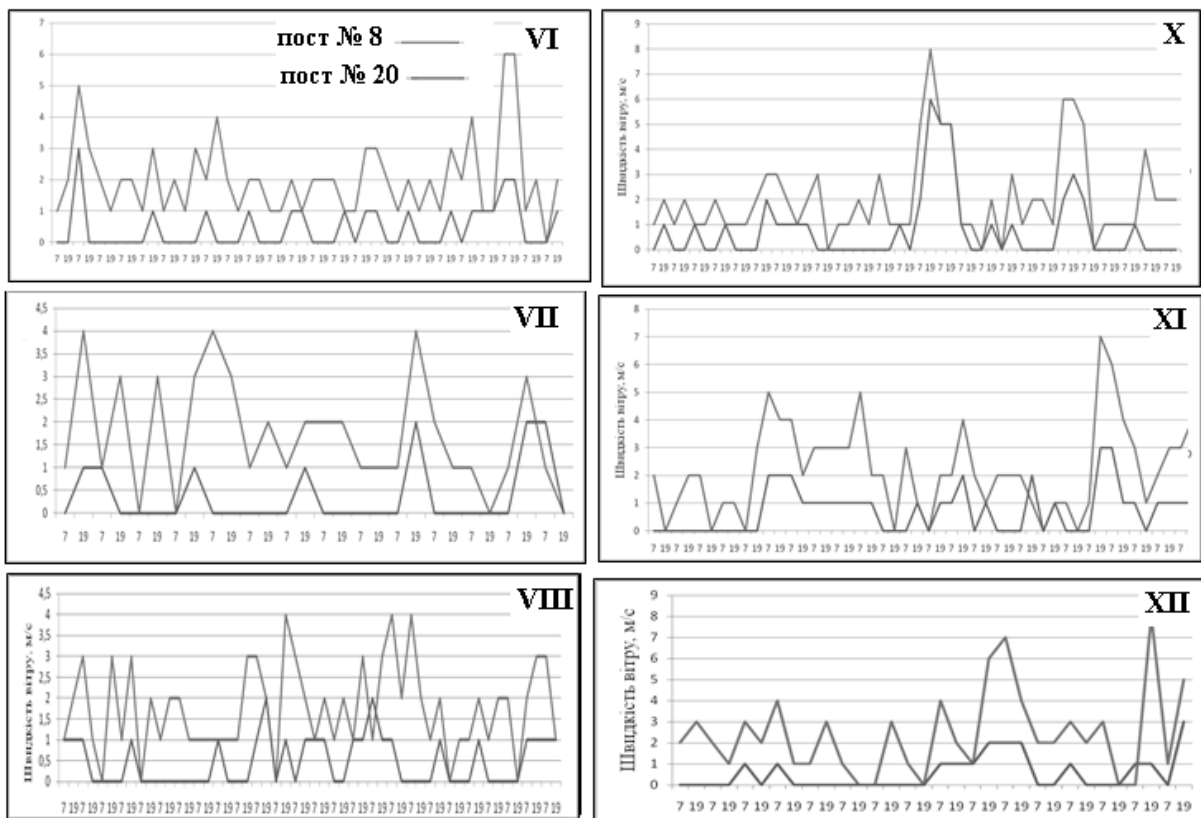


Рисунок 3.2 - Графік зміни швидкості вітру на ПЗС № 8 та 20 м Одеса у 2011 р

Так за період з червня по вересень на посту № 20 швидкість вітру не перевищувала 2 м/с, з настанням осіннього сезону швидкість вітру незначно зросла і становила до 3 м/с і лише в окремі дні жовтня вітер був 5-6 м/с.

Отже, чіткий зв'язок між швидкістю вітру та концентраціями домішки оксиду вуглецю в атмосфері Одеси не простежується. Відсутність такої залежності є наслідком великої кількості пересувних джерел забруднення територією міста. Міські вулиці зі щільною висотною забудовою, спричинюють зміни швидкості і напрямку вітру, а також стають причиною утворення місцевих циркуляцій та штильових умов. Швидкість вітру на посту № 20 характеризується великою кількістю штильових умов та слабкими швидкостями вітру до 2-3 м/с. Вміст оксиду вуглецю в повітрі зростає при штилевій та швидкості 1 м/с.

Перевищення граничнодопустимих концентрацій оксиду вуглецю спостерігається на 6 із 8 постів спостережень, але їх розподіл у часі та просторі досить нерівномірний. Осінній сезон у порівнянні з літнім характеризується меншою кількістю таких випадків, що пояснюється активізацією циркуляційних процесів атмосфери, та, як слід, підвищеною провітрюваністю атмосфери.

Розглянувши циркуляцію повітряних мас біля поверхні землі, можна відзначити, що переважно малоградієнтні баричні поля та периферійні процеси створювали умови для накопичення домішок.

3.3 Приземний вітер та його вплив на забруднення повітряного басейну в окремих районах Одеси у 2011-2015 рр.

Сучасні міста займають великі території і тому зміни концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі визначаються мезо- та макромасштабними процесами і пов'язаними з ними метеорологічними умовами [1, 2, 18, 19]. За результатами багатьох досліджень процесів розповсюдження та накопичення в атмосфері домішок на концентрацію останніх найбільше впливають режим вітру і температурна стратифікація [2]. Вплив цих метеорологічних умов проявляється по-різному в залежності від типу джерела викидів. Наприклад, за рахунок викидів від високих джерел забруднення повітря зменшується при слабких вітрах і збільшується при так званій «небезпечній» швидкості вітру $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [2, 23]; за результатами інших досліджень «небезпечними» є швидкості в діапазоні $4\text{-}6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [66]. При низьких джерелах викидів підвищення рівня забруднення відмічається при слабких вітрах $0\text{-}1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [23]. Очевидно, що при значних швидкостях вітру на розповсюдження домішок суттєво впливає також і напрямок вітру, особливо в тих містах, де джерела викидів сконцентровані в одній їх частині.

Для виявленні ступеню узгодженості режиму вітру на окремих контрольно-вимірювальних постах м. Одеси і оцінки впливу напрямку та швидкості вітру на концентрацію різних забруднюючих речовин в зимовий та літній сезони.

використані дані чотириразових (01, 07, 13, 19 год.) спостережень за 2011-2015 рр. на трьох контрольно-вимірювальних постах (№№ 8, 15, 16), розташованих в різних районах Одеси. Для порівняльного аналізу вітрового режиму використані розраховані повторюваності швидкостей і напрямків вітру та побудовані рози вітрів за літні та зимові місяці.

Для оцінки рівнів забруднення повітряного басейну м. Одеса, відповідно до методики [83], для кожної речовини обчислювалася середньодобова концентрація (СДК) за літні та зимові місяці 2011-2015 рр., а потім розраховувалася кількість випадків (у відсотках), коли СДК перевищувала відповідні гранично допустимі концентрації (ГДК), які для певних забруднюючих речовин набувають таких значень: пил – 0,15, діоксид сірки – 0,05, оксид вуглецю – 3,0, діоксид азоту – 0,04, фенол – 0,003, сажа – 0,05 мг/м³. Зроблено також порівняльний аналіз рівнів забруднення повітря на постах сумісно з режимними характеристиками вітру.

Нагадаємо, що обрані контрольно-вимірювальні пости розміщені в різних частинах міста, а саме: пост № 8 у безпосередній близькості до берегової лінії на Французькому бульварі; пост № 15 – у Херсонському сквері, пост № 16 – на розі Олександрівського проспекту та вул. Вел. Арнаутської, тобто ці два пости знаходяться в тих районах міста, де найбільш інтенсивний рух автотранспорту.

Отже, розглянемо перш за все режимні характеристики вітру влітку. Почнемо з напрямку вітру. На рис. 3.3а представлені рози вітрів для вказаних вище пунктів спостережень. Видно, що переважаючі напрямки на постах різні: на посту № 15 – це північно-східний, повторюваність якого складає близько 30%; на посту № 16 – південний (близько 17%); пост № 8 характеризується більш-менш рівномірним розподілом всіх напрямків, повторюваність яких коливається приблизно від 10 до 16% з мінімальною кількістю північно-східного вітру (7,8%). Штилі в районі поста № 8 відмічаються лише в 2,9% випадків; на посту № 15 штилі відсутні, а пост № 16 відрізняється наявністю штилів у 27% випадків.

Щодо швидкості вітру, то влітку переважаючою є градація 2-3 м·с⁻¹; на постах № 8 та 15 повторюваність такої швидкості вітру перевищує 50%, а для поста № 16, як відмічалось вище, досить характерна безвітряна погода.

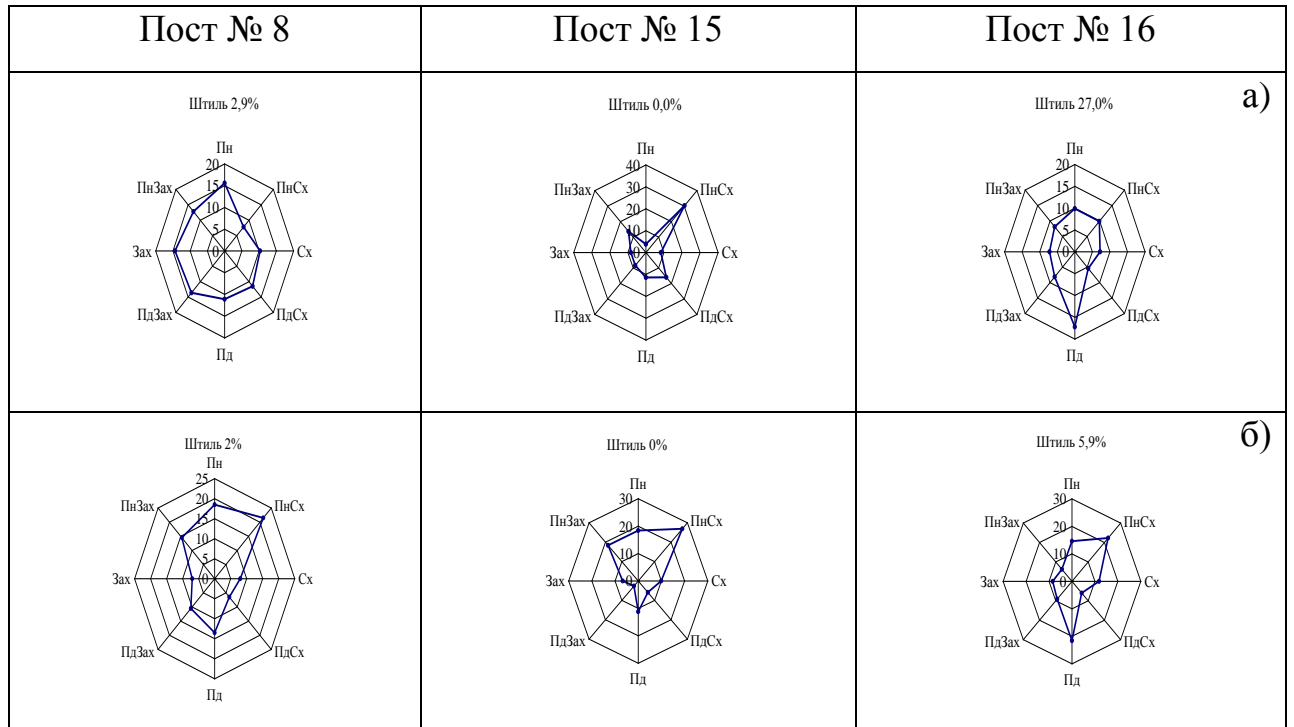


Рисунок 3.3 - Розподіл напрямків вітру за румбами на контрольно-вимірювальних постах м. Одеса:

а) літній сезон, б) зимовий сезон

Таким чином, із аналізу випливає, що в літній сезон розглянуті пости суттєво розрізняються домінуючими напрямками, а за режимом швидкості вітру особливим є пост № 16, де велика повторюваність штилів.

Вітровий режим у зимовий період відрізняється від літнього як за переважаючими напрямками, так і за швидкістю вітру, хоча для поста № 15 переважаючим напрямком, як і влітку, залишається північно-східний, повторюваність якого складає майже 27%. У районі поста № 16 поряд з південним напрямком (21%), характерним для літа, досить часто спостерігається також північно-східний вітер (понад 22%).

Якщо врахувати вітри інших напрямків, то можна відмітити наступне: на постах № 8 та 15 найчастіше фіксуються вітри північної чверті, тобто північно-західного, північного та північно-східного напрямку (їх частка становить майже 54 і 64% для постів № 8 та 15 відповідно); пост № 16 відрізняється тим, що приблизно в 49% випадків спостерігаються вітри північно-східної чверті. Такий розподіл напрямків вітру за румбами наглядно демонструє рис. 3.3б.

Розподіл швидкості вітру за градаціями на розглянутих постах взимку дещо відрізняється від літнього сезону. Так, в районі поста № 16 значно менше штилів (всього 6% проти 27% влітку); на посту № 8 кількість штилів як у літній, так і в зимовий сезон не перевищує 3%, а в районі поста № 15 штилі взагалі відсутні.

На всіх трьох постах найбільша повторюваність швидкості вітру припадає на градацію $2-3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Максимальна повторюваність цієї градації в зимовий період зафіксована на посту № 16. Однак слід зазначити, що в порівнянні з літнім сезоном взимку вітер сильніший. Наприклад, на постах № 8 та 15 реєструвалися швидкості вітру $> 6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (біля 19% на посту № 8), але швидкості $\geq 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ спостерігалися лише на посту № 8, тобто на морському узбережжі (3,4%); на інших постах взимку зафіксовані лише поодинокі випадки посилень вітру $\geq 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Перш ніж перейти до оцінки зв'язку режиму вітру з рівнем забруднення повітря, ще раз підкреслимо, що вплив напрямку вітру на вміст домішок в повітрі великих міст найкраще простежується, коли джерела викидів шкідливих речовин сконцентровані в межах однієї або кількох промислових зон, розташованих за містом. І хоча підприємства Одеси розміщуються більш-менш компактно у північно-західній частині міста, добре відомо [1, 2, 84-88], що в Одесі значна частина забруднюючих речовин надходить у повітря від пересувних джерел, які розосереджені по всьому місту, тому, очевидно, що виявлення небезпечних напрямків вітру для міста є непростим завданням.

Спад промислового виробництва в Україні в останні роки призвів до зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел, але рівень забруднення зростає за рахунок різних видів транспорту, особливо

автотранспорту [88]. Структура викидів автомобільного транспорту представлена великою кількістю забруднюючих речовин – це оксиди вуглецю і азоту, пил, сажа тощо.

Розглянемо рівні забруднення повітряного басейну Одеси за даними спостережень на трьох вище вказаних постах. На рис. 3.4 представлені діаграми, які показують повторюваність (у % від загальної кількості спостережень) середньодобових концентрацій, що перевищують ГДК в зимовий період.

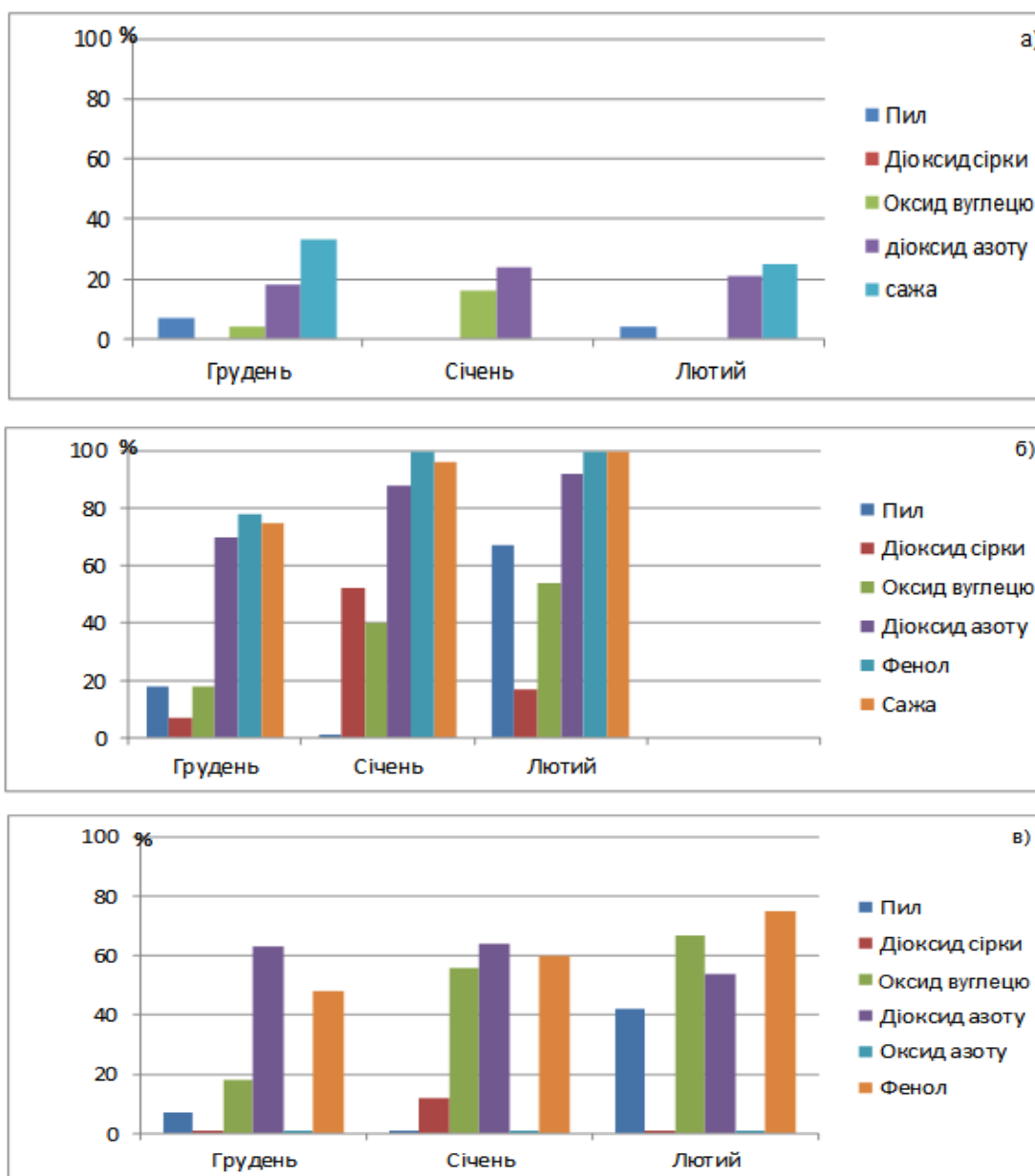


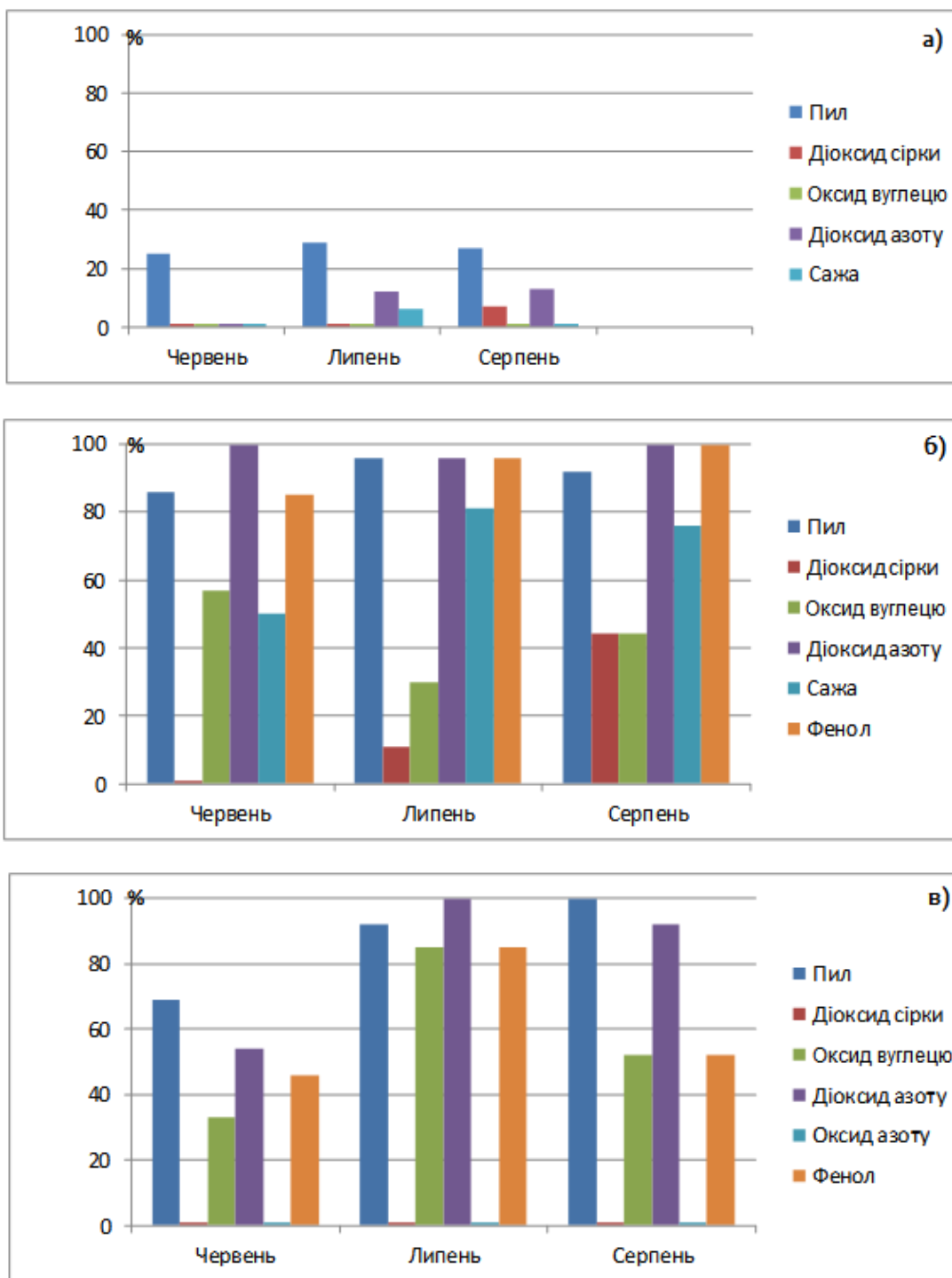
Рисунок 3.4 - Повторюваність середньодобових концентрацій, які перевищують ГДК у зимовий період: а) пост № 8, б) пост № 15, в) пост № 16

Найбільш низький рівень забруднення відзначається в районі поста № 8, при цьому для таких домішок як діоксид сірки перевищень взагалі немає, а концентрація пилу лише у грудні та лютому перевищує ГДК в 7 та 4% випадків відповідно. Протягом всього зимового періоду спостерігаються підвищені концентрації діоксиду азоту (до 24% випадків від кількості вимірювань), а в грудні та лютому ще і сажі (до 33%); дані спостережень для сажі за січень відсутні. Слід відзначити, що середньодобова концентрація такої небезпечної речовини, як оксид вуглецю перевищує ГДК лише у грудні та січні в 4 % та 16% випадків відповідно.

Що стосується постів, які розташовані в районі Херсонського скверу і на вул. Великій Арнаутській, то бачимо велику кількість перевищення ГДК для більшості домішок, що розглядаються. Наприклад, на посту № 15 зафіксовано практично стовідсоткове перевищення ГДК для фенолу в січні та лютому, в грудні також відмічається велика кількість днів з перевищенням ГДК (78%).

В районі поста № 16 повторюваність випадків перевищення ГДК для цієї речовини змінюється від 48% у грудні до близько 75% - у лютому. На цих постах відмічається також підвищений вміст діоксиду азоту, фенолу та сажі в усі місяці зимового періоду. Перевищення ГДК пилу було зафіксовано тільки в грудні та лютому до 67% на посту №15 та 42% на посту №16 у лютому місяці. Діоксиду сірки найбільш високий рівень відзначався в січні на обох постах - до 52% на посту №15. Перевищення ГДК по оксиду вуглецю було зафіксовано в усі місяці сезону; найменший рівень відзначався в грудні до 18%, а найбільший – в лютому до 67%.

У літній період (рис. 3.5) найменш забруднене атмосферне повітря в районі поста № 8, при цьому для таких домішок як оксид вуглецю перевищень взагалі немає, а перевищення діоксиду сірки спостерігається тільки в серпні і лише у 7% випадків. У серпні також в 13% випадків перевищені концентрації діоксиду азоту. Можна зробити висновок, що відсутність промислових підприємств і метеорологічні умови сприяють низькому рівню забруднення повітря навколо поста № 8 як у зимовий, так і в літній періоди.



с

Рисунок 3.5 - Повторюваність середньодобових концентрацій, які перевищують ГДК у літній період: а) пост № 8, б) пост № 15, в) пост № 16

На постах № 15 та 16 концентрації більшості домішок, що розглядаються, були вищими гранично допустимих. Так, на посту № 15 зафіксоване практично

стовідсоткове перевищення ГДК для діоксиду азоту протягом всього літнього періоду. В районі поста № 16 перевищення цієї речовини змінюється від 54% у червні до 100% у липні. На цих постах також підвищений вміст пилу в усі місяці літнього сезону. Середньодобова концентрація оксиду вуглецю більша гранично допустимої на посту № 16 у липні в 85% випадків, а діоксиду сірки та оксиду азоту перевищень взагалі не має. Перевищення ГДК фенолу найбільше відмічається у липні (85%), на посту № 15 - у серпні (100%), сажі (81%) - у липні. Перевищення ГДК оксиду вуглецю найбільше зафіксовано у червні (57%).

Дослідження показують, що в розповсюдженні домішок в атмосфері велику роль відіграє вітер. Спробуємо виявити залежність концентрацій домішок в атмосфері від напрямку вітру. Аналіз рівнів забруднення повітря за даними трьох постів показав, що концентрацій всіх видів домішок на території міста збільшуються з віддаленням від берегової смуги в глибину суші як у зимовий, так і в літній період. Цей результат є природним, оскільки основні джерела забруднення повітря (промислові підприємства та наземний транспорт) практично відсутні в прибережній зоні міста на посту № 8, де швидкість вітру вища у порівнянні з іншими постами, а повторюваність штилів, як зазначалося, не перевищує 3%.

Розрахунки, зроблені для поста №15, показують, що для всіх речовин підвищені концентрації спостерігаються при північно-східних вітрах в квітні та жовтні; в липні при північно-східних та північно-західних напрямках вітру, а в січні при напрямках північної чверті. Як приклад, наведемо розрахунки для січня та квітня (табл. 3.4).

Щодо впливу напрямку вітру на концентрації домішок для поста № 16, то виявити певну залежність не вдалось, що можна пояснити розміщенням поста в центральній частині міста з інтенсивним рухом транспорту на перехресті доріг.

Отже, наявність на географічній карті Одеси морського узбережжя та щільної міської забудови спричинює зміни швидкості і напрямку вітру, а також стає причиною утворення місцевих циркуляцій, які в свою чергу суттєво впливають на забруднення міського повітря.

Для виявлення ролі синоптичних умов в формуванні підвищених рівнів забруднення використані типи синоптичних ситуацій. Для кожного дня всіх зимових та літніх місяців, коли концентрація таких речовин, як оксид вуглецю, діоксид азоту та фенол перевищувала ГДК на двох або трьох постах, аналізувалася синоптична ситуація з використанням приземних карт і визначався тип цієї ситуації відповідно до [23, 84].

Таблиця 3.4 – Повторюваність (ч. в/%) перевищення ГДК шкідливих домішок в залежності від напрямку вітру.
Пост №15

Домішки	Румби								Загальне ч.в.
	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх	
Січень									
Пил	4/6.5	4/6.5	2/3.2	2/3.2	3/4.8	1/1.6	-	5/8.1	62
SO ₂	3/2.4	5/4.0	2/1.6	4/3.2	5/4.0	1/0.8	2/1.6	4/3.2	124
CO	5/8.1	6/9.7	1/1.6	5/8.1	7/11.3	1/1.6	3/4.8	6/9.7	62
NO ₂	8/6.5	7/5.6	2/1.6	7/5.6	7/5.6	1/0.8	3/2.4	12/9.7	124
С ₆ H ₆ O	8/6.5	9/7.3	2/1.6	7/5.6	6/4.8	1/0.8	2/1.6	10/8.1	124
Сажа	8/12.9	8/12.9	2/3.2	7/11.3	7/11.3	1/1.6	3/4.8	13/21.0	62
Квітень									
Пил	-	14/23.3	1/1.7	7/11.7	1/1.7	2/3.3	1/1.7	3/5.0	60
SO ₂	-	7/5.8	-	3/2.5	1/0.83	2/1.7	1/0.83	3/2.5	120
CO	-	19/31.6	3/5.0	7/11.7	3/5.0	4/6.7	1/1.7	5/8.3	60
NO ₂	-	18/15.0	2/1.7	7/5.8	4/3.3	4/3.3	1/0.83	3/2.5	120
С ₆ H ₆ O	-	23/19.2	3/2.5	8/6.6	4/3.3	5/4.2	2/1.7	5/4.2	120
Сажа	-	18/30.0	1/1.7	7/11.7	2/3.3	4/6.7	2/3.3	4/6.7	60

Результати сумісного аналізу синоптичних карт і даних про концентрацію вказаних речовин за зимовий та літній періоди показують, що для більшості забруднюючих речовин, як в зимовий так і літній сезони, перевищення ГДК спостерігається при синоптичній ситуації Кц = 7, тобто в баричних утвореннях, що спостерігаються 1,5 доби і більше при швидкості вітру менше 4 м/с. Для зимового періоду (січень, лютий) в 32 та 21% випадків відповідно, для літнього пе-

ріоду в усі місяці: у червні - 51%, у липні та серпні - 25 і 56% випадків відповідно від загальної кількості спостережень. Цей результат пов'язаний зокрема з тим, що для території України характерна велика повторюваність периферійних процесів з малоградієнтними полями тиску. При ситуації $K_c=6$ (рис. 3.6), якій відповідають передня частина циклону (улововина при переносі із південно-східного сектора, особливо при адвекції тепла) та малорухомий і невеликий за площею циклон, в якому циркулює одна і та ж повітряна маса з вітром змінних напрямків, перевищення середньодобової ГДК фіксується також в усі місяці зимового та літнього періоду крім січня.

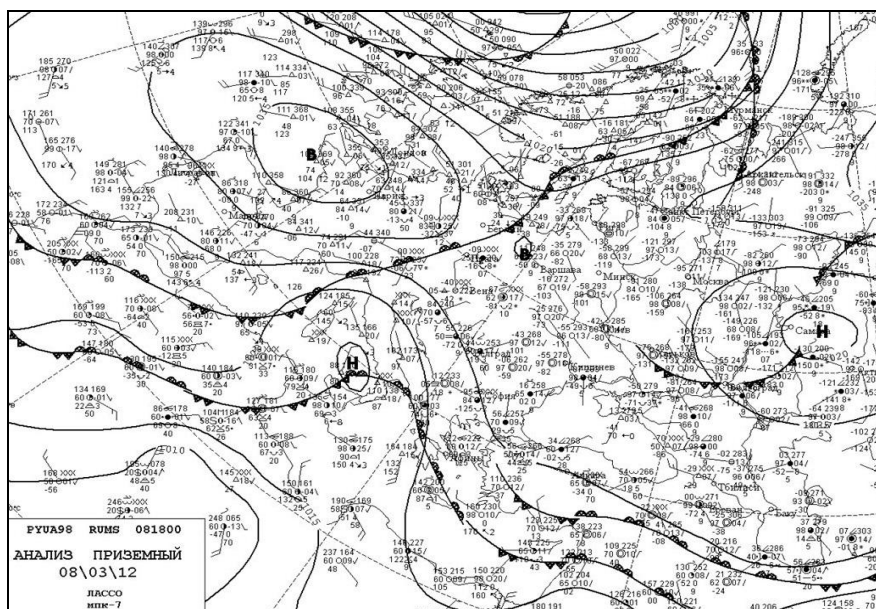


Рисунок 3.6 - Приземна карта баричного поля при синоптичній ситуації $K_c=6$

Отже, особливості розташування Одеси на географічній карті, близькість морського узбережжя та щільної міської забудови створює умови для зміни швидкості і напрямку вітру, а також стає причиною утворення місцевих циркуляцій, які в свою чергу суттєво впливають на забруднення міського повітря.

Вітровий режим у літній та зимовий сезони розрізняється як за переважними напрямками, так і за швидкістю вітру. На постах № 8 та 15 найчасті-

ше фіксуються вітри північної чверті, тобто північно-західного, північного та північно-східного напрямку. На посту № 15 північно-східний вітер є домінуючим, як у літній, так і в зимовий сезон. Пост № 16 відрізняється тим, що поряд з південним напрямком, досить часто спостерігається також північно-східний вітер. На всіх трьох постах найбільша повторюваність швидкості вітру припадає на градацію $2-3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Штилі в районі поста № 8 відмічаються лише в 3% випадків, на посту № 15 штилі відсутні, а для поста № 16 характерні штилі до 27% у літній сезон.

Концентрації всіх видів домішок на території міста збільшуються з віддаленням від берегової смуги в глибину суші як у зимовий, так і в літній період при периферійних процесах з малоградієнтними полями тиску, у передніх частинах циклонів та в малорухомих і невеликих за площею циклонах з однією і тією ж повітряною масою. Відсутність промислових підприємств і метеорологічні умови сприяють низькому рівню забруднення повітря навколо поста № 8. На постах № 15 та 16 спостерігається перевищення ГДК для більшості домішок, що розглядаються.

На посту №15 концентрації всіх речовин підвищуються при північно-східних вітрах в квітні та жовтні, в липні при північно-східних та північно-західних напрямках вітру, а в січні при напрямках північної чверті. Залежність концентрації домішок від напрямку вітру для поста № 16 виявити не вдалось, що можна пояснити розміщенням поста в центральній частині міста з інтенсивним рухом транспорту на перехресті доріг.

3.4 Розробка альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над Одесою

Альтернативний метод короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення температури над Одесою має перевагу відносно гідродинамічних методів через можливість при його застосуванні враховувати більшу кіль-

кість предикторів, в тому числі таких, які можна описати лише якісно. Він дозволяє також об'єктивним шляхом оцінити сутність впливу окремих факторів та їх комплексу на досліджуване явище, тобто у даному випадку виявлена емпірико-статистична залежність між наявністю інверсії та різними предикторами методом дискримінантного аналізу. За результатами розрахунків дискримінантних функцій та виходячи з фізичних міркувань, сформовано перелік 8 потенційних предикторів, які впливають на утворення застоїв повітря над містом:

1. ΔP_0 – лапласіан тиску біля поверхні землі (гПа) для визначення характеру приземного баричного поля ($\Delta P_0 > 0$ – циклонічний, $\Delta P_0 < 0$ – антициклонічний) та для врахування знаку вертикальних рухів;

2. p^c – значення концентрації ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$) забруднюючих речовин у попередню добу;

3. V_0 і V_{925} – швидкість вітру ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) біля поверхні землі і на рівні 925 гПа;

4. dd_0 і dd_{925} – напрямок вітру (град) біля поверхні землі і на рівні 925 гПа;

5. $dd_0 - dd_{925}$ – різниця між напрямками вітру (град) біля поверхні землі і на рівні 925 гПа;

6. ΔV – різниця швидкості вітру ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) на рівні 925 гПа та біля поверхні землі;

7. ΔT – різниця температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) біля поверхні землі та на рівні 925 гПа.

8. $\bar{\gamma}$ – середній вертикальний градієнт температури в шарі 0-500 м ($^{\circ}\text{C}/100$ м);

Предиктор ΔP_0 розраховується за прогностичними картами з завчасністю 24 год., предиктори $\bar{\gamma}$, V_{925} , dd_{925} , ΔV , ΔT – за даними радіозондування над Одесою у строк 00 UTC, а предиктори V_0 , dd_0 та p^c – за даними поста спостереження №15, який розташований у Херсонському сквері, тобто у районі основних джерел викидів шкідливих речовин.

Сукупність предикторів повинна повніше описувати вихідний стан атмосфери, тому необхідно обрати тільки основні, найбільш фізично обґрунтовані і достатньо сильно пов'язані з предиктантом, оскільки збільшення числа предикторів може зменшувати прогностичну ефективність методу.

Перед побудовою дискримінантних функцій проведено вибір найбільш інформативних предикторів за параметром Махалонобіса (Δ^2). Таким чином до

кінцевого списку увійшли 14 предикторів, які використовувалися при побудові всіх дискримінатних функцій незалежно від типу інверсій, сезону, синоптичної ситуації і завчасності прогнозу.

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \sum_k^g n_k (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_i)(\bar{x}_{jk} - \bar{x}_j) - \text{відстань Махаланобіса,}$$

\bar{x}_{ik} – середнє значення i -го предиктора в k -ій групі.

Тут m - число змінних; n_k – обсяг k -ої вибірки; d_{ij} – елемент зворотної ко-варіаційної матриці $\|k\|$, якій розраховується наступним чином:

$$K = \frac{\sum_{k=1}^g S_k}{\sum_{k=1}^g n_{k-g}},$$

де $S_k = \{S_{jl}^k\} = \sum (x_{ijk} - \bar{x}_{ik}) \cdot (x_{ilk} - \bar{x}_{jk})$ ($j=L=1, m; k$ - номер групи).

Далі знаходять коефіцієнти регресії b_i та вільний член a :

$$b_i = \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot \bar{x}_{jk}; \quad a = - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m d_{jl} \cdot \bar{x}_{jk} \cdot \bar{x}_{ik}$$

і будують дискримінантну функцію в заключному вигляді:

$$F_k = \sum_{j=1}^m b_j x_{ijk} + a \quad (k = 1, 2).$$

Дискримінантні функції (3.1) – (3.4), які отримані для прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери (перевищення рівня ГДК на посту № 15)

над промисловою зоною Одеси із завчасністю 24 год в залежності від сезону, мають вигляд:

Січень:

$$F = 3,6 \cdot 10^{-4} p^c - 1,8 \cdot 10^{-4} V_0 - 1,1 \cdot 10^{-5} \bar{\gamma} + 4,8 \cdot 10^{-5}; \quad (3.1)$$

Квітень:

$$F = 5,2 \cdot 10^{-4} p^c - 2,5 \cdot 10^{-4} V_0 + 2,3 \cdot 10^{-5} \Delta V + 3,2 \cdot 10^{-5}; \quad (3.2)$$

Липень:

$$F = 3,5 \cdot 10^{-4} p^c - 3,3 \cdot 10^{-4} V_0 - 8,7 \cdot 10^{-5} \Delta P_0 - 5,1 \cdot 10^{-5}; \quad (3.3)$$

Жовтень:

$$F = 4,1 \cdot 10^{-4} p^c - 2,9 \cdot 10^{-4} V_0 - 3,8 \cdot 10^{-5} \Delta P_0 + 4,3 \cdot 10^{-5}; \quad (3.4)$$

де, якщо $F > 0$, то очікується накопичення домішок, а якщо $F < 0$, очікується їх розсіювання.

З метою вдосконалення прогностичних можливостей альтернативного методу отримані дискримінантні рівняння (3.5) і (3.6) з урахуванням типу синоптичного процесу, при якому накопичуються домішки. Так, для прогнозу умов забруднення повітря в липні при антициклонічному полі (тип 3) і при наявності периферійних процесів (тип 1) використовують формули:

$$F = 5,2 \cdot 10^{-4} p^c - 4,3 \cdot 10^{-4} \Delta P_0 + 2,9 \cdot 10^{-5}; \quad (3.5)$$

$$F = 6,1 \cdot 10^{-4} p^c - 7,1 \cdot 10^{-4} V + 4,1 \cdot 10^{-5}; \quad (3.6)$$

де, якщо $F > 0$, то прогнозується накопичення домішок, а якщо $F < 0$, то розсіювання.

Ефективність альтернативного методу прогнозу метеорологічних умов забруднення випробувана на залежному (липень 2011-2015 рр.) та незалежному (липень 2009 р.) матеріалі. Одержані результати свідчать про те, що ефективність пропонованого методу знаходиться на рівні сучасних регіональних прогнозів [87].

Наведемо загальні рекомендації щодо застосування цього методу:

1. Запропонований метод можна використовувати при прогнозі метеорологічних умов забруднення на 24 години протягом всіх сезонів.
2. При альтернативному прогнозі можна застосовувати дані про концентрацію забруднюючих речовини у попередню добу не тільки на посту № 15.
3. Процедурі прогнозу інверсій за цим методом повинна передувати оцінка макросиноптичної ситуації, тому що у випадку різко виражених активних фронтів і значних баричних градієнтів (більше 2-3 гПа/100 км) розрахунок за дискримінантними функціями не виконується.

Для оцінки якості альтернативного прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою на сучасному метеорологічному та синоптичному матеріалі розраховані основні критерії для січня, квітня, липня та жовтня 2011-2015 рр. Всі відомості про успішність методу прогнозів представлені у табл. 3.5.

У цілому загальна справджуваність (U , %) альтернативного методу прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою була високою та становила 87 % у січні та квітні – 80 %, липні – 92 % та жовтні – 85 %, тобто прогностична методика працює добре на незалежному матеріалі протягом останнього десятиріччя.

Як видно з табл. 3.5, справджуваність прогнозу наявності умов забруднення ($U_{я}$, %) вище ніж загальна та досягала 88-94 %. Справджуваність прогнозу відсутності метеорологічних умов забруднення ($U_{б.я.}$, %) у липні та жовтні практично дорівнювала $U_{я}$, але вона була нижче у липні на 5 %.

Попередженість наявності ($P_{я}$, %) метеорологічних умов забруднення протягом всіх періодів дослідження перевищувала 80 %. Відсутність умов накопичення домішок ($P_{б.я.}$, %) попереджалася найкраще у липні (93 %).

Розрахунки критерію надійності М.О.Багрова показали, що він приймав мінімальне значення (0,71) у жовтні, а у решті місяці він становив від 0,77 до 0,88, тобто прогностична методика надійна.

Таблиця 3.5 – Критерії якості альтернативного прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою (2011-2015 рр.)

Прогноз	Спостерігалось		Сума	U	U + П
	явище	без явища			
січень					
Явище	72	10	82	88	177
Без явища	9	60	69	87	173
Сума	81	70	151		
П	89	86			
			T=0,75	H=0,77	
квітень					
Явище	69	9	78	88	176
Без явища	10	62	72	86	173
Сума	79	71	150		
П	87	87			
			T=0,75	H=0,78	
липень					
Явище	75	5	80	94	184
Без явища	8	67	75	89	182
Сума	83	72	155		
П	90	93			
			T=0,83	H=0,88	
жовтень					
Явище	65	12	77	84	170
Без явища	11	67	78	86	171
Сума	76	79	155		
П	86	85			
			T=0,70	H=0,71	

Застосування для оцінки якості прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одеси критерію якості прогнозів Пірсі-Обухова (Т) виявило, що він приймав лише додатні значення (від 0,70 до 0,83), тобто попередженість явища (П_я) перевищувала відношення помилкових прогнозів явища до фактичного числа днів без явищ.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання науково-дослідної роботи одержані такі результати за окремими розділами.

Розділ 1

1. Порівняння середньомісячних швидкостей вітру на станціях Одеської області за 2005-2015 та 1961-1990 рр. виявило послаблення швидкості вітру над всім регіоном, за виключенням Дунайської ГМО у вересні та Білгород-Дністровського протягом всього року.

2. Суттєвих змін в напрямку вітру на станціях Одеської області не виявлено, але в на ст. Одеса-ГМО на 3%-5 % збільшилася частка північно-західного, південно-західного та північно-західного вітру. Над станціями Сарата та Сербка помітно зменшилася частка північного вітру за рахунок зростання північно-східного та східного.

3. Штилі на ст. Одеса спостерігалися нечасто та переважно влітку, а саме на рік приходилось 2,5 % від спостережень. Більшість штилів (69 %) над Одесою супроводжувалася приземними затримуючими шарами різної інтенсивності (інверсії або ізотермії). Значна частина (23 %) безвітря формувалась при сполученні приземних температурних інверсій та туману або серпанку, тобто утворювалися сприятливі умови для накопичення шкідливих домішок.

4. Утворенню штилів у 2005-2016 р. найбільш сприяли периферійні процеси та циклонічна циркуляція. Слабковиражені баричні поля (особливо їх центральні частини) і антициклонічна циркуляція також формували значну частку безвітря. Жодного разу не спостерігалось при штилі типів 5 та 6, які характеризувалися значними баричними градієнтами.

5. Перевірка застосування закону розподілу Джонсона для вирівнювання рядів швидкості вітру в районі ст. Іллічівськ-порт з урахуванням річного і добового ходу цих параметрів дає задовільні результати. Практично у всіх випадках одномодальних розподілів, що не підкоряються гауссовському законом, для

вирівнювання рядів швидкості приземного вітру можна використовувати S_L і S_B сімейства розподілів Джонсона.

Розділ 2

1. Сильні та дуже сильні вітри найчастіше спостерігаються у південних та центральних районах області, особливо на станціях, що знаходяться на узбережжі морів та лиманів (Білгород-Дністровський, Усть-Дунайськ, порт Південний, Паромна Переправа).

2. Меридіональний характер циркуляції атмосфери (77,2%) створює сприятливі умови для посилень вітру у Північно-Західному Причорномор'ї до критерію сильного та дуже сильного, на зональний тип циркуляції доводиться 22,8% від загальної кількості. Меридіональний тип циркуляції представлений переважно змішаною (24,6%) та західною (22,8%) формами за типізацією Каца.

3. Виділено основні типи синоптичних ситуацій (5, 6) кафедральної типізації, які спричиняли сильні вітри. Найчастіше сильний вітер спостерігався при переміщенні циклонічних вихорів з півдня (тип ЕЦМ 12а, 13з) та в зоні взаємодії між антициклонами і циклонами.

4. Період 2011-2015 рр. можна характеризувати незначним зменшенням кількості низьких течій над Одесою у порівнянні з 1975-1995 рр., які у середньому стали менш інтенсивними (на 1 м/с), але більш високими (на 170 м) та більш потужними.

3. В 2011-2015 рр. переважно утворювалися циклонічні низькі течії, за виключенням літа. Жодного разу СТНР не виникали при малоградієнтних периферійних процесах (тип 1), циклонічної циркуляції з невеликими градієнтами (тип 2) та у розмитих баричних полях (тип 4). Отже, формуванню СТНР сприяли тип 3, 5 та 6, тому лише 3%-5 % від загального числа низьких течій в антициклонічному полі може сприяти формуванню застою повітря над Одесою.

Розділ 3

1. Отже, чіткий зв'язок між швидкістю вітру та концентраціями домішки оксиду вуглецю в атмосфері Одеси не простежується через наявність великої кількості пересувних джерел забруднення територією міста. Швидкість вітру на

посту № 20 характеризується великою кількістю штильових умов та слабкими швидкостями вітру до 2-3 м/с. Вміст оксиду вуглецю в повітрі зростає при штилевій та швидкості 1 м/с.

2. Восени у порівнянні з літом виявилось меншою випадків перевищення ГДК через активізацію циркуляційних процесів. В цілому, над Одесою переважно малоградієнтні баричні поля та периферійні процеси створювали умови для накопичення домішок.

3. Концентрації всіх видів домішок на території міста збільшуються з віддаленням від берегової смуги в глибину суші як у зимовий, так і в літній період при периферійних процесах з малоградієнтними полями тиску, у передніх частинах циклонів та в малорухомих і невеликих за площею циклонах з однією і тією ж повітряною масою. Відсутність промислових підприємств і метеорологічні умови сприяють низькому рівню забруднення повітря навколо поста № 8. На постах № 15 та 16 спостерігається перевищення ГДК для більшості домішок, що розглядаються. На посту №15 концентрації всіх речовин підвищуються при північно-східних вітрах в квітні та жовтні, в липні при північно-східних та північно-західних напрямках вітру, а в січні при напрямках північної чверті.

4. При оцінці якості нового альтернативного методу прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою встановлена доцільність його використання у теперішній час, та його можна рекомендувати для вдосконалення прогнозування роботи оперативних прогностичних підрозділів Північно-Західного Причорномор'я.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Хоменко Г. В. Характеристика впливу температурно-вітрового режиму нижньої тропосфери на процеси розповсюдження шкідливих домішок над Одесою. Сборник научных трудов по материалам конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований - 2010». Одеса: Черноморье, 2010. С. 7-8.
2. Івус, Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Хоменко Г. В., Гурська Л. М. Метеорологічні та синоптичні умови забруднення атмосферного повітря міста Одеса. Український гідрометеорологічний журнал, 2012. Вип. 10. С. 28-35.
3. Івус, Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Хоменко Г. В., Гурская Л. М. Формирование ночных задерживающих слоев над юго-западом Украины в 2001-2010 гг. Материалы II международной научно-практической конференции «Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований». –10-11.10.2013. Том. 4. С. 16-19.
4. Агайар Э. В. Оценка статистических характеристик ветрового режима в районе ст. Южный-порт и Ильичевск. Український гідрометеорологічний журнал, 2013. Вип. 12. С. 150-156.
5. Агайар Э. В. Применение закона распределения Джонсона для выравнивания рядов скорости ветра у поверхности земли. Вісник Одеського Державного Екологічного Університету, 2013. Вип. 16. С. 83-90.
6. Івус Г. П., Хоменко Г. В., Зубкович С. О. Використання фронтального параметра для визначення зон небезпечного вітру. Вісник Одеського державного екологічного університету. 2013. Вип. 16. С. 67-75.
7. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б. Осінні низькі струмені над північно-західним Причорномор'ям. Український гідрометеорологічний журнал, 2013. Вип. 12. С. 131-141.

8. Агайар Е. В. Струйные течения нижнего уровня атмосферы при слабом ветре у поверхности земли. Український гідрометеорологічний журнал, 2014. № 15. С. 37-42.
9. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Замфіров О. В. Коротка характеристика вітрового режиму півдня Одеської області у 2005-2013 рр. Вестник ГМЦ ЧАМ, 2014. № 2 (17). С. 73-79.
10. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Гурська Л. М. Універсальні сімейства розподілу Джонсона та їх використання для аналізу часових рядів швидкості приземного вітру. Український гідрометеорологічний журнал, 2015. №16. С. 59-66.
11. Ivus G. P., Zubkovych S. A., Agayar E. V., Gurskaya L. M. To the question about typification of synoptic processes over the territory of Ukraine. International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences, 2015. Vol. 3. No. 01. P.21-27.
12. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Дмитренко А. П., Сухов О. О. Характеристика вітрових аномалій над Україною у тепле півріччя. Scientific Journal «ScienceRise», 2016. № 7/1(24). С. 11-15.
13. Ivus G. P., Ahayar E. V., Hurska L. M., Semergey-Chumachenko A. B., Zubkovich S. O. The classification of macrocirculation processes of the Northwest Black Sea region, which contribute to surface wind strengthening. Bull. J. Meteor&Hydro, 2016. 21. P. 1-2.
14. Ивус Г. П., Хоменко Г. В., Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Э. В., Гурская Л. М., Ковальков И. А., Зубкович С. А. Типизация синоптических процессов над территорией Украины в эпоху глобальных климатических изменений. <http://atmospheric-circulation.ru/wp-content/uploads/2015/12/Zubkovich.pdf> (дата звернення 01.03.2017 р.)
15. Ivus G. P., Kovalkov I. A., Semergei-Chumachenko A. B., Popova L. O. Change in wind speed over the Odessa region. in SWorld Journal, Issue №12 (Scientific world, Ivanovo, 2017) – URL: <http://www.sworldjournal.com/e-journal/j12.pdf> (date:03/04/2017) - page 36-41- Article CID Number: j12-057, DOI: 10.21893/2227-6920.2017-12.057 (дата звернення 30.11.2017 р.)

16. Івус Г. П., Агайар Е. В., Семергей-Чумаченко А. Б., Дмитренко А. П. Формування низьких струменів над півднем України у тепле півріччя. Тези доповідей Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду. Одеськ. держ. екол.-ний ун-т. Одеса: ТЕС, 2017. С. 253-254.

17. Івус Г. П., Агайар Е. В., Семергей-Чумаченко А. Б., Дмитренко А. П. Синоптичні процеси при утворенні низькотропосферних течій над півднем України у тепле півріччя. Український гідрометеорологічний журнал, 2017. № 19. С. 38-48.

18. Glushkov A. V., Khetselius O. Yu, Agayar E. V., Buyadzhi V. V., Romanova A. V., Mansarliysky V. F. Modelling dynamics of atmosphere ventilation and industrial city's air pollution analysis: New approach. 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 92, 012014, doi:10.1088/1755-1315/92/1/012014 (дата звернення 12.12.2017 р.).

19. Сніжко С. І., Шевченко О. Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста: Монографія. К.: Видавництво географічної літератури "Обрії", 2011. 297 с.

20. Шевченко О. Г. Вплив інверсій на рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва. Український гідрометеорологічний журнал, 2011. №8. С. 5-10.

21. Шевченко О. Г. Особливості часових змін концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі міст України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2016. Вип. 2. С. 24-29.

22. Кіптенко Є. М. Козленко Т. В. Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України. Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія, 2007. № 13. С. 208–216.

23. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди: підручн. Одеса: ТЕС, 2012. 407 с.

24. Клімат України. К.: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.

25. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Зубкович С. А. Статистичні характеристики швидкості вітру над сходом України у січні на фоні кліматичних

змін. Фізична географія та геоморфологія. К.: ВГЛ «Обрії», 2009. Вип. 57. С. 23-28.

26. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Ваховська Г. О. Динаміка формування приземного вітру в районі Севастополя за 20-річний період. Український гідрометеорологічний журнал, 2010. Вип. 6. С. 80-88.

27. Івус Г. П. Умови утворення та прогноз слабкого вітру біля поверхні землі і інверсій температури в районі Одеси. К.: НМК з гідрометеорології Міністерства України, 1998. 112 с.

28. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б. Зв'язок струменевих течій нижніх рівнів над Одесою з слабким вітром біля поверхні землі: У зб.: «Аеросиноптичні умови виникнення слабкого вітру та інверсій в районі м. Одеса та методи їх прогнозування». К.: Держкомгідромет, 1998. С. 10–11.

29. Луц Н. В. Многолетняя изменчивость скорости ветра в Восточном Приазовье. Метеорология и гидрология, 2001. №2. С. 98-102.

30. Репетин Л. Н. Климатические изменения ветрового режима северного побережья Черного моря. Тези доповідей другої міжнародної науково-технічної конференції „Навколишнє природне середовище – 2007: актуальні проблеми екології та гідрометеорології; інтеграції освіти і науки”. Одеса:ТЕС, 2007. С. 173-174.

31. Пишняк Д. В., Івус Г. П., Шпиг В. М., Будак И. М. Расчет доступной потенциальной энергии на основе данных региональной модели атмосферы WRF-AFW. Український гідрометеорологічний журнал, 2010. Вип. 6. С. 130-138.

32. Пишняк Д. В., Івус Г. П., Шпиг В. М., Будак И. М. Мезомасштабная доступная потенциальная энергия фронтального раздела как характеристика его конвективной и грозовой активности. Вісник Одеського державного екологічного університету, 2014. Вип. 17. С. 67-77.

33. Ковальков І. А., Івус Г. П. Причини виникнення сильного вітру на Одеському узбережжі 31 травня 2013 року. Матеріали міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2014. С. 174-175.

34. Панченко В. О., Хоменко Г. В. Умови забруднення атмосферного повітря в місті Одеса. Матеріали міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2014. С. 191-192.

35. Пономаренко В. В., Семергей-Чумаченко А. Б. Річна динаміка формування низькотропосферних течій над Одесою в 2001-2010 рр. Матеріали міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2014. С. 197-198.

36. Плужніченко А. В., Івус Г. П., Гурська Л. М. Вплив циркуляції атмосфери на погодні умови Північно-Західного Причорномор'я. Матеріали міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2014. С. 195-196.

37. Шкареда О. А., Нажмудінова О. М. Характеристика повторюваності небезпечних опадів над Одеською областю. Матеріали міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2014. С. 219-220.

38. Поліщук А. В., Івус Г. П., Гурська Л. М. Вплив циркуляції атмосфери на погодні умови Північно-Західного Причорномор'я. Матеріали XIV наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2015. С. 166-167.

39. Ivus G. P., Semergey-Chumachenko A. B., Zubkovych S. A. Statistical analysis of the surface wind speed over Eastern Ukraine in the changing climate. Conference abstracts international conference "Global and regional climate change". Kyiv, Ukraine 16-19 November 2010. P. 16-17.

40. Ковальков І. А., Івус Г. П. Умови виникнення мезомасштабних утворень на фоні хвиль Россбі. Матеріали XIV наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2015. С. 169-170.

41. Дмитренко А. П., Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б. Параметри низькотропосферних струменів над Україною у тепле півріччя. Матеріали XIV

наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2015. С. 167-168

42. Вініченко О. А., Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б. Струминні течії нижніх рівнів півдня України у тепле півріччя. Матеріали наукової студентської конференції ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2015. С. 228-230.

43. Дмитренко А. П., Івус Г. П. Утворення вітрових аномалій над Україною в тепле півріччя. Матеріали XV наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2016.

44. Пруднікова Г. О., Семергей-Чумаченко А. Б. Синоптичні умови формування та структура низьких течій над Одесою у 2011-2015 рр. Матеріали XV наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2016. С. 167-168.

45. Попова Л. О., Семергей-Чумаченко А. Б. Еволюція параметрів вітру над Одеською областю. Збірник статей студентської наукової конференції ОДЕКУ, 2016. С. 255-257.

46. Плотніков Д. О., Гурська Л. М. Метеорологічні фактори забруднення атмосферного повітря м. Харків пилом у 2001-2005 роках. Збірник статей студентської наукової конференції ОДЕКУ, 2016. С. 243-245.

47. Попова Л. О., Івус Г. П., Хоменко Г. В., Семергей-Чумаченко А. Б. Змінення швидкості вітру над Одеською областю. Збірник тез Всеукраїнської науково-методичної конференції Одеський державний екологічний університет. Одеса, ТЕС. 2017. 31-33с.

48. Попова Л. О., Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б. Розподіл швидкості вітру над Одеською областю на фоні кліматичних змін. Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 2017. С. 180-181.

49. Руденко О. О., Семергей-Чумаченко А. Б. Характеристика безвітрових періодів над Одесою. Збірник статей за матеріалами студентської наукової конференції ОДЕКУ 12-14 квітня 2017 р. С. 255-258.

50. Смекалова Л. К., Швер Ц. А. Климат Одессы – Л.: Гидрометеиздат, 1983. 216 с.

51. Волков А. І. Ранжування території Одеської області за рівнем техногенного навантаження на повітряний басейн. Український гідрометеорологічний журнал, 2012. №11. С. 5-12.

52. Антонович В. Д. Особенности временных рядов скорости ветра // Труды ГГО. 1979. Вып. 425. С. 42-46.

53. Ауоров В. В., Ивус Г. П., Сельсо Пасос Альберди, Фернандо Мединилья Наполес. Применение распределений Джонсона при выравнивании данных о состоянии атмосферы над западным районом о. Куба. Метеорология, климатология и гидрология. 1991. Вып. 27. С. 10–19.

54. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. 395 с.

55. Анапольская Л. Е. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки. Метеорология и гидрология, 1978. Вып. 7. С. 11-17.

56. Запевалов А. С., Христофоров Г. Н. Изменчивость поля скорости ветра в прибрежной зоне Черного моря. Метеорология и гидрология, 1999. Вып. 4. С. 77-83.

57. Школьний Є. П., Лосва І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.]. – Одеса, 1999. 600 с.

58. Кондратюк В. И. Об устранении неоднородности в рядах ветра. Труды ГГО, 1984. Вып. 485. С. 130-134.

59. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 296 с.

60. Кендалл М. Дж., Стюард А. Теория распределений. М.: Наука, 1986. 588 с.

61. Воскресенская Е. Н., Наумова В. А., Евстигнеев М. П., Евстигнеев В. П. Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне. Тр. УкрНИГМИ, 2009. Вып. 258. С. 189 - 200.

62. Савтер Л. А. Стихійні гідрометеорологічні явища, що спостерігались на акваторії Чорного та Азовського морів в 2014 р. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2014. №2(17). С.13-16.

63. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Гурська Л. М., Бородкіна М. В., Черней Д. С. Характеристика сучасного вітрового режиму у північному Причорномор'ї. Зб. статей за матеріалами студентської наук. конф. ОДЕКУ 14-17 квітня 2009. Одеса:ОДЕКУ, 2009. С. 15-20.

64. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. Київ, Державний комітет України з гідрометеорології, 2004. 31 с.

65. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В. До проблеми типізації синоптичних процесів над півднем України в сучасних умовах. Причорноморський екологічний бюлетень, 2009. № 2(32). С. 25-33.

66. Івус Г. П., Агайар Е. В., Гурська Л. М., Зубкович С. В. До питання про типізацію синоптичних процесів над територією України. Вісник ОДЕКУ, 2015. Вип. 19. С. 41-47.

67. Ivus G. P., Zubkovych S. O., Khomenko G. V., Kovallkov I. A. Conditions of formation of dangerous wind zones on the territory of Ukraine // European Applied Science, Europaische Fachhochschule, 2014. Ed.10. P. 59-64.

68. Івус Г. П., Гурська Л. М., Плужніченко А. В. Вплив циркуляції атмосфери на погодні умови Північно-Західного Причорномор'я. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2014. №2(17). С. 80-87.

69. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М.:Воентехиниздат, 2009. 372с.

70. Rossby C. G. et al. Relations between variations in the intensity on the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semlpermanent centers of action. J. Mar. Res., 1939. Vol. 2. P. 38-55.

71. Блинова Е. Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы. Докл. АН СССР, 1943. Т. 39. № 7. С. 284-287.

72. Кац А. Л. Об изучении и оценке общей циркуляции атмосферы. Метеорология и гидрология, 1954. №6. С. 13-18.
73. Кац А. Л. Индекс циркуляции как показатель зональных и меридиональных синоптических процессов. Метеорология и гидрология, 1959. № 5. С. 3-8.
74. Кац А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л.:Гидрометеиздат, 1960. С. 47с.
75. Петросянц М. А., Гущина Д. Ю. Крупномасштабное воздействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана. Метеорология и гидрология, 1998. № 5. С. 5-24.
76. Гущина Д. Ю., Аракелян Т. Г., Петросянц М. А. Связь интенсивности циркуляции в циклонах умеренных широт с аномалиями температуры воздуха и осадков. Метеорология и гидрология, 2008. № 11. С. 5-20.
77. Дзержевский Б. Л., Монин А. С. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы и индекс циркуляции. Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1954. № 6. С. 562-574.
78. Золотокрылин А. Н., Коняев К. В., Эзау И. Н. Сравнение синоптической и формальной классификации крупномасштабной циркуляции атмосферы Северного полушария. Метеорология и гидрология, 1998. № 12. С. 34-44.
79. Наумова В. А., Воскресенская Н. Е., Евстигнеев М. П., Евстигнеев В. П. Штормовые волны в Азово-Черноморском бассейне как региональный отклик на крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера. Мат. конф. «Глобальні та регіональні зміни клімату». Київ, 2010. С. 43 - 45.
80. Савтер Л. А. Опис гідрометеорологічних умов, які мали найбільш істотний вплив на виробничу діяльність основних господарських галузей у 2011 році. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2014. №2(17). С. 13-16.
81. Колебания циркуляции атмосферы северного полушария в XX – начале XXI века. URL:<http://www.atmospheric-circulation.ru> (дата звернення 05.05.2016 р.)

82. Список промислових підприємств г. Одеси на 1 января 2016 г.
URL:<http://omr.gov.ua/ru/enterprises/> (дата звернення 10.12.2017 р.)
83. Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий. РД 52.04.78-86. М.: Гидрометеопиздат, 1993. 103 с.
84. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Хоменко Г. В., Пуфтієнко К. В. Якісна оцінка потенціалу забруднення атмосфери в районі Одеси навесні та восени 2001-2010 рр. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2011. № 2 (13). С. 25-34.
85. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Гурська Л. М., Федоткіна К. С. Зв'язок забруднення атмосфери з аеросиноптичними чинниками над Одесою. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2011. № 2 (13). С. 47-52.
86. Івус, Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Мезевіч А. Ф. Оцінка забруднення атмосферного повітря над Одесою пилом та діоксидом сірки у січні 2003-2007 рр. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2009. №1(9). С. 70-77.
87. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. К.: УкрНДГМІ, 2002. Вип. 250. С. 288–297.
88. Хоменко Г. В., Панченко В. О. До питання про екологічну чистоту повітряного басейну м. Одеса. Вестник ГМЦ ЧАМ, 2016. №1(19). С. 57-61.