

УДК 551.58

№ держ. реєстр. 0116U008374

Інв. №

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
(ОДЕКУ)

65016 м. Одеса, вул. Львівська, 15, тел. 35-73-71

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи ОДЕКУ

\_\_\_\_\_ д. геогр. н., проф. Тучковенко Ю.С.  
2017.06.02

**ЗВІТ**

**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
**«Особливості формування регіональних кліматів Східно-Європейського**  
**сектору під впливом атмосферних процесів у Північній півкулі»**

заключний

Науковий керівник, к.геогр.н.

Е.М. Серга

Рукопис закінчено «31» травня 2017 р.

Результати цієї роботи розглянуті Науково-технічною радою ОДЕКУ  
Протокол №2 від «28» вересня 2017 р.

## СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник К.геогр.н., доцент	<hr/> 2017.05.31	Серга Е.М. (Загальне керівництво, вступ, Підрозділи: 1.3, 2.1, 2.2, 3.1, 3.3, 3.4, 4.1, 4.2, 4.3, 5.2, 5.3 висновки )
Д.техн.н., професор	<hr/> 2017.05.31	Школьний Є.П. (Підрозділи: 1.1, 1.2, 3.2, 3.4, 4.3, 5.1, 5.3, висновки)
К. геогр.н.	<hr/> 2017.05.31	Суценко А.І. (Збір та підготовка матеріалу, Підрозділи: 2.2, 4.1)
К.геогр.н., доцент	<hr/> 2017.05.31	Галіч Є.А. (Підрозділ: 3.5, висновки)
Нормоконтролер	<hr/> 2017.06.02	Малацковська С.В.

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР (заключний): 258с., 106 рисунків, 64 таблиць, 38 джерел.

Метою даного звіту є визначення районів інтенсивних енергетичних взаємодій в системі атмосфера-океан та на поверхнях 850 гПа і 700 гПа. Розробка статистичної моделі далеких зв'язків в системі атмосфери і океану.

За допомогою кластерного аналізу визначені та описані однорідні зони в полях гідрометеорологічних характеристик у приповерхневому шарі атмосфери та на висотах у нижньої та середньої тропосфери у Північній Атлантиці, отримані їх статистичні показники.

За допомогою компонентного аналізу проведено параметризацію процесів взаємодій підстильної поверхні й атмосфери, а також станів повітря у нижньої та середньої тропосфери в вузлах сітки точок у Північній Атлантиці та Східної Європи. Визначені кластери з однотипними векторами ситуацій у полях отриманих параметрів стану атмосфери, приведені їх основні характеристики.

З використанням нелінійної фізико-статистичної моделі встановлений ступінь зв'язку між визначеними однорідними регіонами Північної Атлантики та Східної Європи.

ПОЛІНОМИ, УТВОРЮЮЧІ ФУНКЦІЇ, КЛАСТЕР, ВЕКТОРИ СТАНІВ, ПІВНІЧНА АТЛАНТИКА, СХІДНА ЄВРОПА, РЕПРЕЗЕНТАТИВНИЙ ВЕКТОР, МІЖРІЧНА ВНУТРІШНЬОКЛАСТЕРНА ДИСПЕРСІЯ, ОБЕРНЕНІ ЗВ'ЯЗКИ, ФАКТОРИ, ВІДГУКИ.

*Умови одержання звіту: за договором, 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15, ОДЕКУ.*

## ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
1	ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ БАГАТОФАКТОРНОЇ СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ З ОБЕРНЕНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ.....	8
1.1	Вимоги, що ставляться до статистичної моделі.....	8
1.2	Алгоритм побудови системи рівнянь нелінійної регресії методом імовірнісної апроксимації.....	10
1.3	Удосконалена модель нелінійної регресії з оберненими зв'язками	16
2	ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛІВ КЛАСТЕРІВ У ПОЛЯХ ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	25
2.1	Універсальний ітераційний метод кластеризації даних.....	25
2.2	Кластерний аналіз полів вихідних характеристик у районах Північної Атлантики.....	34
3	ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРІВ СТАНУ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ, У ПІВНІЧНІЙ АТЛАНТИЦІ.....	82
3.1	Загальні положення .....	82
3.2	Алгоритм компонентного аналізу.....	83
3.3	Опис вихідних даних і аналіз дисперсій перших трьох головних компонентів.....	90
3.4	Комплексний аналіз факторів, що впливають, у районі Північної Атлантики.....	95
3.5	Структура полів приземного тиску північної акваторії Тихого океану.....	149
3.5.1	Характеристика вихідних даних.....	149
3.5.2	Методи дослідження статистичної структури полів приземного тиску.....	150
3.5.3	Поля середніх значень та мінливості.....	153
3.5.4	Компонентний аналіз полів приземного тиску та температури.....	162
4	ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕДУРИ ПІДГОТОВКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВІДГУКИ КЛІМАТІВ У РЕГІОНАХ СХІДНОЇ ЄВРОПИ....	181
4.1	Фізико-географічні особливості Східноєвропейського регіону.....	181
4.2	Основні аспекти процедури формування відгуків.....	183
4.3	Комплексний аналіз відгуків кліматів у районі Східної Європи.....	183
5	АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНОЇ ЗНАЧИМОСТІ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ І ЇЇ АДЕКВАТНОСТІ.....	211
5.1	Критерії оцінки статистичної значимості параметрів моделі.....	211
5.2	Статистична значимість параметрів моделі із завчасністю 1 – 4 місяці (фактори, що впливають, в листопаді).....	213
5.3	Оцінка адекватності моделі.....	247

ВИСНОВКИ .....	253
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	255

## ВСТУП

Починаючи з кінця другої половини ХХ сторіччя питання дослідження клімату Землі придбали особливу гостроту. Пов'язано це, у першу чергу, з передбачуваним посиленням парникового ефекту й, відповідно, підвищенням глобальної температури повітря. Свідченням особливого інтересу до глобального потепління і його наслідків з'явилося прийняття в червні 1992 року Рамкової Конвенції по зміні клімату (Ріо-де-Жанейро), що у силу важливості розв'язуваних проблем була ратифікована рядом держав, що взяли на себе певні зобов'язання, у тому числі: підвищувати ефективність і інтенсивність наукових досліджень із питань глобальних і регіональних змін клімату, а так само питань оцінки екологічних і соціально-економічних наслідків глобального потепління. В 1997 році в Кіото був прийнятий Кіотський протокол, головною задачею для кожної Сторони якого з'явилося недопущення перевищення встановлених об'ємів викидів парникових газів. На двадцять першої сесії конференції Сторін Рамкової Конвенції в Парижі (грудень 2015 р.) була прийнята Паризька угода, яке була підписана більш ніж 170 країнами у квітні 2016 року, де як загальна мета позначена стримування підвищення середньої температури на Землі в межах 2 °С к 2100 року від рівня доіндустріальної епохи, а також додаток зусиль по стримуванню цього показника в межах 1,5 °С.

Гіпотези про зміну клімату обумовили необхідність більш детального розгляду механізмів взаємодії компонентів кліматичної системи - атмосфери, океану, кріосфери, діяльного шару суші й біосфери, як з якісної, так і кількісної сторони.

Процеси, що протікають усередині кліматичної системи, мають різноманітні обернені зв'язки і їх навряд чи можна назвати лінійними. Під впливом цих процесів у кліматичній системі збуджуються складні власні коливання різних часових масштабів. Для опису станів кліматичної системи:

минулого, теперішнього й майбутнього, з урахуванням зовнішніх впливів, необхідні складні фізико-математичні моделі [1].

Задачі, які ставляться перед моделюванням, опис самих моделей, їх переваги й недоліки, результати практичного застосування, докладним чином розглянуті у великій кількості наукових праць [наприклад, 2 - 5]. Основний висновок, що зізнається розробниками й користувачами існуючих гідродинамічних кліматичних моделей полягає у тому, що на сучасному етапі розвитку науки немає ідеальної моделі, яка однаково добре описує й прогнозує кліматичні величини, а найкращі показники дає "середня" по ансамблі модель. Для порівняльної оцінки моделей створений ряд міжнародних програм, таких як CMIP (Coupled Model Intercomparison Project), AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project), PMIP (Paleoclimate Model Intercomparison Project) і інші, що дозволяють досліджувати систематичні помилки, що виникають у результаті роботи окремих моделей [2, 3].

Незважаючи на перевагу застосування гідродинамічних моделей у дослідженні клімату, для кількісного опису зв'язків між факторами, що впливають, і відгуками, а також вивчення властивостей кліматичної системи, доцільно використовувати апарат математичних моделей з розряду ймовірносно-статистичних [6]. У виборі такого апарата перевагу віддають регресійним (наприклад, у гідродинаміко-статистичному прогнозуванні, для статистичної інтерпретації за допомогою множинної регресії результатів інтегрування гідродинамічних моделей атмосфери від ансамблю початкових станів [7] або ж у якості одного з підходів до задачі "даунскейлінга" [4]) і нейромережевим моделям [8, 9].

# 1 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ БАГАТОФАКТОРНОЇ СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ З ОБЕРНЕНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

## 1.1 Вимоги, що ставляться до статистичної моделі

Як і в багатьох інших науках, у метеорології при розробці методів метеорологічних прогнозів, а також при рішенні задач фізичного аналізу атмосферних процесів, будуються статистичні моделі, що відбивають взаємозв'язок метеорологічних величин з факторами, що впливають, у вигляді лінійних рівнянь множинної регресії.

Використання в такого роду моделях поліномів першого порядку в певній мері виправдане тим, що розрахунок коефіцієнтів апроксимуючого полінома більше високих порядків за допомогою методу найменших квадратів пов'язаний з великими обчислювальними труднощами. Однак, з фізичної точки зору, припущення про лінійність взаємозв'язків між параметрами атмосфери й інших компонентів кліматичної системи навряд чи може знайти переконливе обґрунтування. Тому нелінійні статистичні моделі є більше кращими.

Кліматичний режим тієї або іншої території описується рядом кліматичних характеристик. Ці характеристики, по-перше, обумовлюють у більшості випадків тими самими факторами й, по-друге, мають статистичний зв'язок один з одним. Ці обставини дають підстави використати статистичну модель, що має вид системи нелінійних регресійних рівнянь для опису відгуків параметрів, що характеризують регіональні клімати, на кліматоутворюючі процеси. Принципи побудови такої моделі викладені в роботах [10,11]. Уперше такого роду модель була реалізована при дослідженні особливостей характеристик мікроструктури теплих приморських туманів і їх зв'язку зі станом атмосфери [12].



Як і в роботах [13,14,15], будемо описувати  $l$  характеристик регіонального клімату  $\hat{y}_l$ , системою нелінійних рівнянь регресії третього порядку виду

$$\hat{y}_l = a_0^{(l)} + \sum_{i=1}^m a_i^{(l)} x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i \leq j)}}^m a_{ij}^{(l)} x_i x_j + \sum_{\substack{i,j,s=1 \\ (i \leq j \leq s)}}^m a_{ijs}^{(l)} x_i x_j x_s + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} y_v, \quad (l = \overline{1, k}). \quad (1.1)$$

У них  $a_0^{(l)}, a_i^{(l)}, a_{ij}^{(l)}, a_{ijs}^{(l)}$  - коефіцієнти регресії при відповідних порядках факторів  $x$ , що впливають. Останній член рівності (1.1) характеризує внесок обернених зв'язків, тобто статистичних зв'язків між характеристиками регіональних кліматів (параметрами на виході моделі). Особливості цих взаємозв'язків визначають коефіцієнти обернених зв'язків  $\alpha_v$ .

Фактори  $x$ , що впливають, в моделі є ортогональними, центрованими й нормованими. Це дає підставу прийняти гіпотезу про їх нормальний розподіл. Параметри на виході моделі - центровані й нормовані [10,11].

Спочатку передбачається, що структура рівнянь, що які є складовими моделі, є однаковою. Надалі цю умову буде знято, оскільки методика побудови моделі містить алгоритми перевірки статистичних гіпотез про значимості факторів, що впливають, і їх порядків. Отже, у кінцевому виді структура кожного з рівнянь системи може виявитися зовсім різною.

Побудова поліномів, що складають систему (1.1), здійснюється на основі методу імовірнісної апроксимації.

## 1.2 Алгоритм побудови системи рівнянь нелінійної регресії методом імовірнісної апроксимації

Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів здійснюється за умови мінімуму дисперсії похибки апроксимації  $D_\varepsilon = \overline{\varepsilon^2} - (\overline{\varepsilon})^2$  функції  $y_l(x)$ , де  $\varepsilon_l(x) = y_l(x) - \hat{y}_l(x)$ .

У роботі [11] показано, що умова для визначення коефіцієнта  $a_0$  відсутня, тому вводиться додаткова умова рівності нулю середньої похибки апроксимації ( $\overline{\varepsilon} = 0$ ).

Тоді проводячи операції диференціювання над системою рівнянь

$$\left. \begin{array}{l} \overline{\varepsilon} = 0, \\ \frac{\partial \overline{\varepsilon^2}}{\partial a_0}, \\ \frac{\partial \overline{\varepsilon^2}}{\partial a_p} \quad (p = \overline{1, m}), \\ \frac{\partial \overline{\varepsilon^2}}{\partial a_{ps}} \quad (p, s = \overline{1, m}), \\ \frac{\partial \overline{\varepsilon^2}}{\partial a_{psr}} \quad (p, s, r = \overline{1, m}), \\ \frac{\partial \overline{\varepsilon^2}}{\partial \alpha_\mu} \quad (\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l) \end{array} \right\} \quad (1.2)$$

умови можна переписати в наступному виді

$$\left. \begin{aligned}
 z_0^{(l)} &= M[\hat{y}_l], & (l = \overline{1, k}), \\
 z_p^{(l)} &= M[\hat{y}_l x_p], & (p = \overline{1, m}), \\
 z_{ps}^{(l)} &= M[\hat{y}_l x_p x_s], & (p, s = \overline{1, m}), \\
 z_{psr}^{(l)} &= M[\hat{y}_l x_p x_s x_r], & (p, s, r = \overline{1, m}), \\
 r_{l\mu} &= M[\hat{y}_l y_\mu], & (\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l).
 \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Ліві частини рівності (1.3) не залежать від виду полінома (1.1), і визначаються значеннями апроксимуючої функції й законом розподілу випадкового вектора  $x$ .

На підставі (1.3), ураховуючи особливості величин  $y_l$  і компонент вектора  $x$ , можна побудувати систему утворюючих функцій [11]:

$$z_0^{(l)} = a_0^{(l)} + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i \leq j)}}^m a_{ij}^{(l)} M[x_i x_j] = 0, \quad (1.4)$$

$$z_p^{(l)} = \sum_{i=1}^m a_i^{(l)} M[x_i x_p] + \sum_{\substack{i,j,t=1 \\ (i \leq j \leq t)}}^m a_{ijt}^{(l)} M[x_i x_j x_t x_p] + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p], \quad (p = \overline{1, m}), \quad (1.5)$$

$$z_{ps}^{(l)} = a_0^{(l)} M[x_p x_s] + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i \leq j)}}^m a_{ij}^{(l)} M[x_p x_s x_i x_j] + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p x_s], \quad (1.6)$$

$$(p \leq s = \overline{1, m}),$$

$$\begin{aligned}
z_{psr}^{(l)} &= \sum_{i=1}^m a_i^{(l)} M[x_i x_p x_s x_r] + \sum_{\substack{i,j,t=1 \\ (i \leq j \leq t)}}^m a_{ijt}^{(l)} M[x_i x_j x_t x_p x_s x_r] + \\
&+ \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p x_s x_r], \quad (p \leq s \leq r = \overline{1, m}),
\end{aligned} \tag{1.7}$$

$$\begin{aligned}
r_{l\mu} &= \sum_{i=1}^m a_i^{(l)} M[y_\mu x_i] + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i \leq j)}}^m a_{ij}^{(l)} M[y_\mu x_i x_j] + \sum_{\substack{i,j,t=1 \\ (i \leq j \leq t)}}^m a_{ijt}^{(l)} M[y_\mu x_i x_j x_t] + \\
&+ \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v y_\mu], \quad (\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l),
\end{aligned} \tag{1.8}$$

яка дає можливість одержати оцінки шуканих коефіцієнтів системи рівнянь (1.1) за умови, що знайдено коефіцієнти обернених зв'язків  $\alpha_v^{(l)}$ . Вони мають такий вигляд:

$$a_0^{(l)} = -\sum_{p=1}^m a_{pp}^{(l)}, \quad (l = \overline{1, k}), \tag{1.9}$$

$$a_{pp}^{(l)} = \frac{z_{pp}^{(l)}}{2} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k a_v^{(l)} \frac{z_{pp}^{(v)}}{2}, \quad (p = \overline{1, m}), \tag{1.10}$$

$$a_{ps}^{(l)} = z_{ps}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ps}^{(v)}, \quad (p < s = \overline{1, m}), \tag{1.11}$$

$$a_p^{(l)} = z_p^{(l)} - 3a_{ppp}^{(l)} - \sum_{j=1}^{p-1} a_{jjp}^{(l)} - \sum_{j=p+1}^m a_{pjj}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_p^{(v)}, \quad (p = \overline{1, m}), \tag{1.12}$$

$$a_{ppp}^{(l)} = \frac{1}{6} \left[ z_{ppp}^{(l)} - 3z_p^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} (z_{ppp}^{(v)} - 3z_p^{(v)}) \right], \quad (p = \overline{1, m}), \quad (1.13)$$

$$a_{pss}^{(l)} = \frac{1}{2} \left[ z_{pss}^{(l)} - z_p^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} (z_{pss}^{(v)} - z_p^{(v)}) \right], \quad (p < s = \overline{1, m}), \quad (1.14)$$

$$a_{pps}^{(l)} = \frac{1}{2} \left[ z_{pps}^{(l)} - z_s^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} (z_{pps}^{(v)} - z_s^{(v)}) \right], \quad (p < s = \overline{1, m}), \quad (1.15)$$

$$a_{psr}^{(l)} = z_{psr}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{psr}^{(v)}, \quad (p < s < r = \overline{1, m}). \quad (1.16)$$

У наведених співвідношеннях (1.4) – (1.8)  $M$  означає операцію математичного сподівання. Коефіцієнти обернених зв'язків можна визначити, якщо використати утворюючу функцію (1.8) і підставити в її праву частину значення коефіцієнтів  $a_p^{(l)}, a_{ps}^{(l)}, a_{psr}^{(l)}$  з формул (1.9) - (1.16). Тоді одержимо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k A_{\mu v}^{(l)} \alpha_v^{(l)} = B_{\mu}^{(l)}, \quad (\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l) \quad (1.17)$$

або в матричній формі рівняння

$$A^{(l)} \alpha^{(l)} = B^{(l)}. \quad (1.18)$$

У ньому  $A^{(l)} = \{A_{\mu\nu}^{(l)}\}_{(k-1)(k-1)}$  - квадратична матриця порядку  $(k-1)$  утвориться з  $k$  - мірної матриці шляхом виключення стовпця й рядка з номером  $l$ . Елементи цієї матриці визначаються за допомогою співвідношення

$$\begin{aligned}
A_{\mu\nu}^{(l)} = & r_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \sum_{p=1}^m \{ [(m+4)z_p^{(\nu)} - \sum_{j=1}^{p-1} z_{jjp}^{(\nu)} - \sum_{\substack{j=p+1 \\ (p<m)}}^m z_{pjj}^{(\nu)}] z_p^{(\mu)} + z_{pp}^{(\nu)} z_{pp}^{(\mu)} + \\
& + \frac{z_{pp}^{(\nu)} z_{pp}^{(\mu)}}{3} - z_p^{(\nu)} z_{pp}^{(\mu)} \} - \frac{1}{2} \sum_{\substack{p,s=1 \\ (p<s)}}^m [(z_{ps}^{(\nu)} - z_p^{(\nu)}) z_{ps}^{(\mu)} + (z_{pps}^{(\nu)} - \\
& - z_s^{(\nu)}) z_{pps}^{(\mu)} + 2z_{ps}^{(\nu)} z_{ps}^{(\mu)}] - \sum_{\substack{p,s,r=1 \\ (p<s<r)}}^m z_{psr}^{(\nu)} z_{psr}^{(\mu)}, \quad (\mu, \nu = \overline{1, k}; \nu, \mu \neq l).
\end{aligned} \tag{1.19}$$

У рівності (1.18)  $\alpha^{(l)}$  - вектор з координатами

$$\alpha^{(l)} = \begin{pmatrix} \alpha_1^{(l)} \\ \alpha_2^{(l)} \\ \dots \\ \alpha_{l-1}^{(l)} \\ \alpha_{l+1}^{(l)} \\ \dots \\ \alpha_k^{(l)} \end{pmatrix}, \tag{1.20}$$

а  $B^{(l)}$  - вектор мірності  $(k-1)$

$$B^{(l)} = \begin{pmatrix} B_1^{(l)} \\ B_2^{(l)} \\ \dots \\ B_{l-1}^{(l)} \\ B_{l+1}^{(l)} \\ \dots \\ B_{k-1}^{(l)} \end{pmatrix}, \quad (1.21)$$

координати якого визначаються за формулою

$$\begin{aligned} B_\mu^{(l)} = & r_{\mu l} - \frac{1}{2} \sum_{p=1}^m \{ [(m+4)z_p^{(l)} - \sum_{j=1}^{p-1} z_{jjp}^{(l)} - \sum_{\substack{j=p+1 \\ (p < m)}}^m z_{pjj}^{(l)}] z_p^{(\mu)} + z_{pp}^{(l)} z_{pp}^{(\mu)} + \\ & + \frac{z_{pp}^{(l)} z_{pp}^{(\mu)}}{3} - z_p^{(l)} z_{pp}^{(\mu)} \} - \frac{1}{2} \sum_{\substack{p,s=1 \\ (p < s)}}^m [(z_{pss}^{(l)} - z_p^{(l)}) z_{pss}^{(\mu)} + (z_{pps}^{(l)} - z_s^{(l)}) z_{pps}^{(\mu)} + \\ & + 2z_{ps}^{(l)} z_{ps}^{(\mu)}] - \sum_{\substack{p,s,r=1 \\ (p < s < r)}}^m z_{psr}^{(l)} z_{psr}^{(\mu)}, \quad (\mu, \nu = \overline{1, k}; \nu, \mu \neq l). \end{aligned} \quad (1.22)$$

З рівності (1.19) випливає, що матриця  $A^{(l)}$  - симетрична. Якщо  $|A^{(l)}| \neq 0$ , то рішення рівняння (1.18), що надає всі необхідні коефіцієнти обернених зв'язків  $\alpha_\nu^{(l)}$ , має вигляд

$$\alpha^{(l)} = [A^{(l)}]^{-1} B^{(l)}. \quad (1.23)$$

### 1.3 Удосконалена модель нелінійної регресії з оберненими зв'язками

У первісному варіанті моделі передбачалося, що коефіцієнти рівнянь при значимих факторах і відповідних їх порядках, які отримані до процедури "просіювання", що здійснюється за допомогою критерію Фишера, залишаються незмінними й повністю формують статистичні зв'язки з відгуками, а незначущі фактори вносять незначний вклад у загальну дисперсію відгуку й ними можна зневажити.

Вирази для визначення значень критерію Фишера мають вигляд:

- для оцінки загальної значимості факторів

$$F = \frac{D_x[\hat{y}_l]}{\sum_{i=1}^{m-t} \chi_i^t[\hat{y}_l]},$$

де  $D_x[\hat{y}_l]$  – дисперсія відгуку, обумовлена впливом всіх факторів;  $\chi_i^t[\hat{y}_l]$  – дисперсія  $i$ -го фактору (дисперсії ранжирувані в порядку збільшення),  $t = \overline{1, m-1}$ ;

- для оцінки статистичної значимості членів нелінійних рівнянь регресії, які мають другий і третій порядок

$$F = \frac{\chi_p^t[\hat{y}_l]}{\chi_i^{(t-1)}[\hat{y}_l]}, \quad t = 2, 3; \quad p, i = \overline{1, m}.$$

Однак висунута гіпотеза про спільність значимих факторів для відгуків, що беруть участь у моделі, накладає обмеження на її використання для більш широкого кола статистичних задач, які розв'язуються в області гідрометеорології й кліматології. Так, наприклад, при розгляді як відгуки



характеристик регіональних кліматів великих територій, фактори, що впливають на них, можуть значно розрізнятися. У цьому випадку виникає ситуація, коли виявляється зовсім різною не тільки зовнішня структура рівнянь у системі, але й структура усередині кожного з них. При цьому застосування моделі в первісному виді (без переоцінки параметрів системи рівнянь із урахуванням виключення незначущих факторів, і незначущих порядків значимих і незначущих факторів) може привести до некоректних результатів, тому що: по-перше, коефіцієнти різних порядків значимих факторів і коефіцієнти обернених зв'язків, які є сполучними ланками в системі рівнянь, містять у собі значну кількість різних порядків незначущих факторів і незначущі порядки значимих факторів; по-друге, у результаті ймовірності виникнення ситуації розбіжності частини із загальної сукупності значимих факторів  $l$ -го і  $\mu$ -го рівнянь, з'являються члени поліномів без участі обернених зв'язків.

Як наслідок, виникає необхідність розглянути максимальну кількість можливих ситуацій, пов'язаних з різними варіантами формування вибірок значимих факторів (загальних  $l$ -го і  $\mu$ -го рівнянь і власних для кожного з них) роздільно для кожного порядку й для кожного з рівнянь системи. Різноманітність варіацій гіпотетичних ситуацій із загальними значимими факторами, у свою чергу, визначає необхідність перетворення утворюючих функцій, і, відповідно, співвідношень для розрахунку коефіцієнтів рівнянь і обернених зв'язків.

Після виконання цих процедур модель можна представити, як модифіковану версію багатofакторної нелінійної регресійної моделі.

На першому етапі, при збереженні гіпотези про те, що всі члени вихідної вибірки потенційно є загальними факторами, що впливають, для  $l$ -го і  $\mu$ -го відгуків, здійснюється відбір значимих факторів за допомогою відповідних критеріїв (наприклад, критерію Фишера). Оцінюється ступінь нелінійності

факторів (у результаті, наприклад, може виявитися, що  $p$ -й фактор може бути значимим у 3-му порядку, але незначущим у перших двох) і значимість кожного елемента оберненого зв'язку. На другому етапі здійснюється розрахунок коефіцієнтів системи рівнянь, побудова апроксимуючих поліномів і визначення модельних значень відгуків.

Основні принципи необхідних перетворень і співвідношення для розрахунку оцінок коефіцієнтів рівняння (1) у кінцевому виді для другого етапу побудови моделі викладені нижче (докладний висновок цих співвідношень через громіздкість не приводиться).

Для зручності введемо позначення для кількості членів у множинах значимих факторів:  $q$ - першого порядку,  $\tau$ - другого,  $\eta$ - третього,  $\rho$  - об'єднаної множини, що складає зі співпадаючих факторів першого й третього порядку. Індеси  $g, \xi, p, s, r, w, \gamma, \iota, \beta$  – позначення номерів різних факторів у вихідній вибірці.

Коефіцієнти  $a_0, a_{gg}, a_{g\xi}$  не залежать від коефіцієнтів при першому й третьому порядку змінних у рівняннях регресії (1) (коефіцієнт  $a_0$  залежить тільки від коефіцієнта  $a_{gg}$ ). Коефіцієнти першого й третього порядків, відповідно до утворюючих функцій [11], є взаємозалежними. У зв'язку із цим, потрібно одержати вирази для розрахунку коефіцієнтів обернених зв'язків і коефіцієнтів рівняння (1) при можливих варіантах формування вибірок з номерами значимих факторів при вищевказаних порядків.

Із властивостей величин  $x_i$ , зазначених вище, випливає, що  $M[x_i x_j]$ , де  $M$  - операція математичного сподівання, може приймати значення  $\{0;1\}$ ,  $M[x_i x_j x_p x_s] - \{0;1;3\}$ ,  $M[x_i x_j x_k x_p x_s x_r] - \{0;1;3;15\}$ .

При відсутності загальних значимих факторів першого ( $q$ ) і третього ( $\eta$ ) порядків вирази для утворюючих функцій приймають вид:

$$z_p^{(l)} = \sum_{i=1}^q a_i^{(l)} M[x_i x_p] + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p], \quad (p = \overline{1, q}),$$

$$z_{psr}^{(l)} = \sum_{i=1}^{\eta} \sum_{\substack{j=1 \\ (i \leq j \leq t)}}^{\eta} \sum_{t=1}^{\eta} a_{ijt}^{(l)} M[x_i x_j x_t x_p x_s x_r] + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p x_s x_r], \quad (p \leq s \leq r = \overline{1, \eta}).$$

При наявності загальних значимих факторів першого й третього порядків, вид утворюючих функцій для шуканих коефіцієнтів при цих факторах залежить від кількості останніх.

Розглянемо перетворення виразів для розрахунку коефіцієнтів рівняння (1.1) при різних ситуаціях. Співвідношення для елементів матриці  $A^{(l)}$  й вектора  $B^{(l)}$ , необхідні для визначення коефіцієнтів обернених зв'язків, приводяться тільки для одного випадку. Однак їх можна одержати, використовуючи виведені нижче кінцеві вирази для розрахунку коефіцієнтів рівняння (1).

**I.** Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів третього порядку у випадку відсутності збігів у сукупностях значимих факторів першого й третього порядку в окремо взятому рівнянні системи (1.1).

У цьому випадку коефіцієнти рівняння й коефіцієнти обернених зв'язків при відповідних порядках визначаються незалежно друг від друга.

**1.** За умови  $q \geq 1; \eta = 1$ . Для коефіцієнтів першого й третього порядку:

$$a_t^{(l)} = z_t^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_t^{(v)}, \quad (t = \overline{1, q}); \quad a_{ppp}^{(l)} = \frac{1}{15} \left[ z_{ppp}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ppp}^{(v)} \right], \quad (p = \overline{1, \eta}).$$

Далі вид співвідношень коефіцієнтів першого порядку для умов 2 і 3 залишається без змін.

2. За умови  $q \geq 1; \eta = 2$ .

Для коефіцієнтів третього порядку:

$$a_{ppp}^{(l)} = \frac{1}{12} \left[ z_{ppp}^{(l)} - z_{pss}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ppp}^{(v)} + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{pss}^{(v)} \right], \quad (p > s = \overline{1, \eta});$$

$$a_{sss}^{(l)} = \frac{1}{12} \left[ z_{sss}^{(l)} - z_{ssp}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{sss}^{(v)} + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ssp}^{(v)} \right], \quad (s > p = \overline{1, \eta});$$

$$a_{pss}^{(l)} = \frac{1}{12} \left[ 5z_{pss}^{(l)} - z_{ppp}^{(l)} - 5 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{pss}^{(v)} + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ppp}^{(v)} \right], \quad (s > p = \overline{1, \eta}).$$

3. За умови  $q \geq 1; \eta \geq 3$ .

Для коефіцієнтів третього порядку:

$$a_{ppp}^{(l)} = \frac{1}{15} \left[ z_{ppp}^{(l)} - \frac{1}{4} \left( 5 \sum_{j=1}^{p-1} z_{jjp}^{(l)} - \sum_{j=1}^{p-1} z_{ppp}^{(l)} + 5 \sum_{j=p+1}^{\eta} z_{ppj}^{(l)} - \sum_{j=p+1}^{\eta} z_{jjj}^{(l)} \right) - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ppp}^{(v)} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{4} \left( 5 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_v^{(l)} z_{jjp}^{(v)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_v^{(l)} z_{ppp}^{(v)} + 5 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=p+1}^{\eta} \alpha_v^{(l)} z_{ppj}^{(v)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=p+1}^{\eta} \alpha_v^{(l)} z_{jjj}^{(v)} \right) \right], \quad (p = \overline{1, \eta});$$

$$a_{pss}^{(l)} = \frac{1}{2} \left[ z_{pss}^{(l)} - \frac{1}{5} z_{ppp}^{(l)} - \frac{1}{30} \left( 5 \sum_{j=1}^{p-1} z_{jjp}^{(l)} - \sum_{j=1}^{p-1} z_{ppp}^{(l)} + 5 \sum_{j=p+1}^{\eta} z_{ppj}^{(l)} - \sum_{j=p+1}^{\eta} z_{jjj}^{(l)} \right) - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{pss}^{(v)} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{5} \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ppp}^{(v)} + \frac{1}{30} \left( 5 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_v^{(l)} z_{jjp}^{(v)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_v^{(l)} z_{ppp}^{(v)} + 5 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=p+1}^{\eta} \alpha_v^{(l)} z_{ppj}^{(v)} - \right.$$

$$\left. \left. - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=p+1}^{\eta} \alpha_v^{(l)} z_{jjj}^{(v)} \right) \right], \quad (s > p = \overline{1, \eta}).$$

**II.** Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів третього порядку у випадку наявності збігів у сукупностях значимих факторів першого й третього порядків в окремо взятому рівнянні системи.

*Ситуація 1.* Збіг тільки одного в сукупностях значимих факторів першого й третього порядків, тобто загальній вибірці належить тільки один елемент ( $\rho=1$ ). Позначимо його через  $w$ . Тоді для коефіцієнтів першого й третього порядків маємо:

$$a_w^{(l)} = \frac{1}{2} \left[ 5z_w^{(l)} - z_{www}^{(l)} - 5 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_w^{(v)} + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{www}^{(v)} \right];$$

$$a_{www}^{(l)} = \frac{1}{6} \left[ z_{www}^{(l)} - 3z_w^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{www}^{(v)} + 3 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_w^{(v)} \right].$$

*Ситуація 2.* Збіг двох у сукупностях значимих факторів першого й третього порядків, тобто вибірці, що складається із загальних факторів, належить два елементи ( $\rho=2$ ). Тоді для коефіцієнтів першого й третього порядків маємо:

$$a_w^{(l)} = \frac{1}{2} \left\{ 6z_w^{(l)} - \sum_{j=1}^{w-1} z_{jjw}^{(l)} - \sum_{j=w}^{\rho} z_{wjj}^{(l)} - 6 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_w^{(v)} + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=1}^{w-1} \alpha_v^{(l)} z_{jjw}^{(v)} + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \sum_{j=w}^{\rho} \alpha_v^{(l)} z_{wjj}^{(v)} \right\},$$

$$(w = \overline{1, \rho});$$

$$a_{www}^{(l)} = \frac{1}{6} \left[ z_{www}^{(l)} - 3z_w^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{www}^{(v)} + 3 \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_w^{(v)} \right], \quad (w = \overline{1, \rho});$$

$$a_{wss}^{(l)} = \frac{1}{2} \left[ z_{w\gamma\gamma}^{(l)} - z_w^{(l)} - \sum_{\substack{\nu=1 \\ (\nu \neq l)}}^k \alpha_\nu^{(l)} z_{w\gamma\gamma}^{(\nu)} + \sum_{\substack{\nu=1 \\ (\nu \neq l)}}^k \alpha_\nu^{(l)} z_w^{(\nu)} \right], \quad (w < \gamma = \overline{1, \rho}).$$

*Ситуація 3.* Збіг трьох і більше в сукупностях значимих факторів першого й третього порядку, тобто загальній вибірці належить більше двох елементів ( $\rho \geq 3$ ). Тоді для коефіцієнтів першого й третього порядків маємо:

$$a_w^{(l)} = \frac{1}{2} \left\{ (\rho + 4) z_w^{(l)} - \sum_{j=1}^{w-1} z_{jjw}^{(l)} - \sum_{j=w}^{\rho} z_{wjj}^{(l)} - \sum_{\substack{\nu=1 \\ (\nu \neq l)}}^k \alpha_\nu^{(l)} [(\rho + 4) z_w^{(\nu)} - \sum_{j=1}^{w-1} z_{jjw}^{(\nu)} - \sum_{j=w}^{\rho} z_{wjj}^{(\nu)}] \right\},$$

$$(w = \overline{1, \rho});$$

$$a_{w\gamma\beta}^{(l)} = z_{w\gamma\beta}^{(l)} - \sum_{\substack{\nu=1 \\ (\nu \neq l)}}^k \alpha_\nu^{(l)} z_{w\gamma\beta}^{(\nu)}, \quad (w < \gamma < \beta = \overline{1, \rho}).$$

Визначення коефіцієнтів  $a_{www}^{(l)}$ ,  $a_{wss}^{(l)}$  – аналогічно Ситуації 2.

**III.** Вище представлені вирази для розрахунку коефіцієнтів системи рівнянь (1), які мають відношення тільки для різних випадків збігу значимих факторів  $l$ -го рівняння зі значимими факторами  $\nu$ -го й  $\mu$ -го рівнянь. Якщо ж значимі фактори  $l$ -го рівняння не збігаються з  $\nu$ -м і  $\mu$ -м, то з виразів для визначення коефіцієнтів виключаються члени, що визначають вплив обернених зв'язків. Використовуючи відповідну систему утворюючих функцій, можна одержати кінцеві формули для визначення коефіцієнтів системи поліномів третього порядку при не співпадаючих у різних рівняннях значимих факторів. У такому випадку, коефіцієнти обернених зв'язків розраховуються тільки для співпадаючих у рівняннях факторів. Як приклад приводиться загальний вид виразу для розрахунку елементів матриці  $A^{(l)}$  для Ситуації 3, за

УМОВИ  $\rho \geq 3$ ;  $(q - \rho) \geq 1$ ;  $(\eta - \rho) \geq 3$ ;  $\tau \geq 2$

$$\begin{aligned}
A_{\mu\nu}^{(l)} = & r_{\mu\nu} - \sum_{i=1}^{q-\rho} z_i^{(\nu)} z_i^{(\mu)} - \frac{1}{2} \sum_{g=1}^{\tau} z_{gg}^{(\nu)} z_{gg}^{(\mu)} - \sum_{\substack{g=1 \\ (g < \xi)}}^{\tau} \sum_{\xi=1}^{\tau} z_{g\xi}^{(\nu)} z_{g\xi}^{(\mu)} - \frac{1}{15} \sum_{p=1}^{\eta-\rho} \left\{ z_{ppp}^{(\nu)} - \frac{1}{4} \left( \sum_{j=1}^{p-1} [5z_{jjp}^{(\nu)} - \right. \right. \\
& \left. \left. - z_{ppp}^{(\nu)}] + \sum_{j=p+1}^{\eta-\rho} [5z_{ppj}^{(\nu)} - z_{jjj}^{(\nu)}] \right) \right\} z_{ppp}^{(\mu)} - \frac{1}{2} \sum_{\substack{p=1 \\ (p < s)}}^{\eta-\rho} \sum_{s=1}^{\eta-\rho} \left\{ z_{pss}^{(\nu)} - \frac{1}{5} z_{ppp}^{(\nu)} - \frac{1}{30} \left( \sum_{j=1}^{p-1} [5z_{jjp}^{(\nu)} - z_{ppp}^{(\nu)}] + \right. \right. \\
& \left. \left. + \sum_{j=p+1}^{\eta-\rho} [5z_{ppj}^{(\nu)} - z_{jjj}^{(\nu)}] \right) \right\} z_{pss}^{(\mu)} - \frac{1}{2} \sum_{\substack{p=1 \\ (p < s)}}^{\eta-\rho} \sum_{s=1}^{\eta-\rho} \left\{ z_{pps}^{(\nu)} - \frac{1}{5} z_{sss}^{(\nu)} - \frac{1}{30} \left( \sum_{j=1}^{s-1} [5z_{jjs}^{(\nu)} - z_{sss}^{(\nu)}] + \right. \right. \\
& \left. \left. + \sum_{j=s+1}^{\eta-\rho} [5z_{ssj}^{(\nu)} - z_{jjj}^{(\nu)}] \right) \right\} z_{pps}^{(\mu)} - \sum_{\substack{p=1 \\ (p < s < r)}}^{\eta-\rho} \sum_{s=1}^{\eta-\rho} \sum_{r=1}^{\eta-\rho} z_{psr}^{(\nu)} z_{psr}^{(\mu)} - \\
& - \frac{1}{2} \sum_{w=1}^{\rho} \left\{ \left[ (\rho + 4) z_w^{(\nu)} - \sum_{j=1}^{w-1} z_{jjw}^{(\nu)} - \sum_{j=w}^{\rho} z_{wj}^{(\nu)} \right] z_w^{(\mu)} + \frac{z_{www}^{(\nu)} z_{www}^{(\mu)}}{3} - z_w^{(\nu)} z_{www}^{(\mu)} \right\} - \\
& - \frac{1}{2} \sum_{\substack{w=1 \\ (w < \gamma)}}^{\rho} \sum_{\gamma=1}^{\rho} [(z_{w\gamma\gamma}^{(\nu)} - z_w^{(\nu)}) z_{w\gamma\gamma}^{(\mu)} + (z_{ww\gamma}^{(\nu)} - z_{\gamma}^{(\nu)}) z_{ww\gamma}^{(\mu)}] - \sum_{w=1}^{\rho} \sum_{\substack{\gamma=1 \\ (w < \gamma < \beta)}}^{\rho} \sum_{\beta=1}^{\rho} z_{w\gamma\beta}^{(\nu)} z_{w\gamma\beta}^{(\mu)}, \\
& (\mu, \nu = \overline{1, k}; \nu, \mu \neq l).
\end{aligned}$$

Вектор вільних членів  $B_{\mu}^{(l)}$  для  $l$ -го рівняння можна одержати з виразу для матриці  $A_{\mu\nu}^{(l)}$  якщо замінити індекс  $\nu$  на індекс  $l$ , за умови, що  $(\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l)$ .

Таким чином, оптимальна вдосконалена регресійна модель буде мати вигляд системи рівнянь

$$\hat{y}_l = a_0^{(l)} + \sum_{i=1}^{\xi} a_i^{(l)} x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ (i \leq j)}}^{\xi} \sum_{j=1}^{\eta} a_{ij}^{(l)} x_i x_j + \sum_{i=1}^{\gamma} \sum_{\substack{j=1 \\ (i \leq j \leq s)}}^{\beta} \sum_{s=1}^w a_{ijs}^{(l)} x_i x_j x_s + \sum_{\substack{\nu=1 \\ (\nu \neq l)}}^k \alpha_{\nu}^{(l)} \hat{y}_{\nu}, \quad (l = \overline{1, k})$$

де  $\{\zeta, \xi, \eta, \gamma, \beta, w\} \in R_x$ ,  $R_x$  – вихідна множина факторів, що впливають;  $\hat{y}_v$  – модельне значення  $v$ -го значимого відгуку,  $k$  – кількість значимих відгуків для  $l$ -го рівняння (відгуку).



## 2 ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛІВ КЛАСТЕРІВ У ПОЛЯХ ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

### 2.1 Універсальний ітераційний метод кластеризації даних

Однієї з вимог, які пред'являються до факторів, що впливають, є їх ортогональність [10, 11]. Крім того, при побудові статистичних моделей завжди прагнуть здійснити процедуру стиску інформації про фактори, що впливають, що зменшує громіздкість моделей і приводить до одержання більше достовірних значень її параметрів.

С метою стиску інформації про фактори, що впливають, які являють собою безпосередні характеристики тепло- і вологообміну в приповерхньому шарі, а також характеристики тепло-, вологовмісту й циркуляційних властивостей повітря на поверхнях 850 гПа й 700 гПа перед включенням їх у модель були використані методи багатомірного статистичного аналізу: кластерний і компонентний.

*Універсальний ітераційний метод кластеризації даних (УІМКД).*

Перше застосування кластерний аналіз знайшов у соціології. Назва кластерний аналіз походить від англійського слова cluster – гроно, скупчення. Уперше в 1939 був визначений предмет кластерного аналізу й здійснений його опис дослідником Тріоном [16]. Головне призначення кластерного аналізу - розбиття множини досліджуваних об'єктів і ознак на однорідні у відповідному розумінні групи або кластери. Це означає, що вирішується задача класифікації даних і виявлення відповідної структури в ній. Методи кластерного аналізу можна застосовувати у різноманітних випадках, навіть у тих випадках, коли мова йде про просте угруповання, у якій усе зводиться до утворення груп по кількісній подібності. Велике достоїнство кластерного аналізу в тім, що він

дозволяє здійснювати розбиття об'єктів не по одному параметру, а по цілому наборі ознак. Крім того, кластерний аналіз на відміну від більшості математико-статистичних методів не накладає ніяких обмежень на вид розглянутих об'єктів і дозволяє розглядати множину вихідних даних практично довільної природи.

Кластерний аналіз дозволяє розглядати досить великий обсяг інформації і різко скорочувати, стискувати великі масиви різних даних, робити їх компактними й наочними. Важливе значення кластерний аналіз має стосовно до сукупностей часових рядів, що характеризують фізичні процеси. Тут можна виділяти періоди, коли значення відповідних показників були досить близькими, а також визначати групи часових рядів, динаміка яких найбільш схожа.

Кластерний аналіз можна використовувати циклічно. У цьому випадку дослідження здійснюється доти, поки не будуть досягнуті необхідні результати. При цьому кожний цикл тут може надавати інформацію, що здатна сильно змінити спрямованість і підходи подальшого застосування кластерного аналізу. Цей процес можна представити системою із оберненим зв'язком. У задачах прогнозування досить перспективне поєднання кластерного аналізу з іншими кількісними методами (наприклад, з регресійним аналізом). Як і будь-який інший метод, кластерний аналіз має певні недоліки й обмеження: зокрема, склад і кількість кластерів залежить від обраних критеріїв розбиття. При зведенні вихідного масиву даних до більш компактного виду можуть виникнути певні перекручування, а також можуть втрачатися індивідуальні риси окремих об'єктів за рахунок заміни їх характеристиками узагальнених значень параметрів кластера. При проведенні класифікації об'єктів ігнорується дуже часто можливість відсутності в розглянутій сукупності яких-небудь значень кластерів.

Існує велика кількість літератури, де докладно описані різні методи проведення кластерного аналізу [16, 17, 18, 19, 20, 10, 21]. Однак ідеального алгоритму не існує й потенційно не може існувати [22]. Можна створити досить

якісний алгоритм, що дасть добре зрозумілі результати, наприклад, у медицині, але при застосуванні в інших галузях науки, отримані результати можуть бути сумнівними.

В 2003 році був розроблений алгоритм УАІМКА (Універсальний адаптивний ітераційний метод кластерного аналізу) [23], що добре показав себе при кластеризації територій, порівнянних з територією України, але при застосуванні його для більших просторів виникли деякі труднощі, пов'язані з виявленням невеликої кількості великих кластерів з потенційно неоднорідними районами. Тому початкові кластери доводилося «дробити», за допомогою цього ж методу, після чого можна було якісно обґрунтувати, з фізичної точки зору, отриману кластеризацію. Крім усього, іноді значимі коефіцієнти кореляції, які використалися як критерій в УАІМКА, могли б викликати неоднозначне тлумачення. Крім того, використання внутрішньокластерних і міжкластерних дисперсій для визначення відмінностей або ж таких критеріїв, як індекс Данна, індекс **Calinski-Harabasz**, індекс Девіса-Болдуїна і т.д. при кластеризації гідрометеорологічних даних, не завжди доречно, відповідно, так само як і критерію Фішера (у вигляді відношення сумарної дисперсії до такої яка зменшується по ранжируваному ряду або ж відносини дисперсій двох випадкових величин) в якості єдиного, що визначає ті ж самі відмінності, так як в залежності від розглянутої характеристики, що знаходиться під впливом одного глобального процесу, можна отримати, наприклад, один кластер там, де їх декілька, що може викликати помилкові судження про фізику процесу.

У зв'язку з вищесказаним, ми вибрали дещо інший підхід до критеріїв кластеризації, акцентувавши увагу на виявленні неоднорідності кластерів за допомогою відомих параметричних і непараметричних критеріїв Фішера, Крамера-Уелча і Лемана-Розеблатта, застосування яких в математичній статистиці до незалежних безперервних випадкових величин з невідомими законами розподілу є найбільш аргументованим [24, 25, 26, 27, 28].

Відомо [29, 30], що найвищий ступінь однорідності досягається, якщо

обидві вибірки взяті з однієї генеральної сукупності, тобто справедлива нульова гіпотеза  $H_0: F(x) = G(x)$  при всіх  $x$ . Відсутність однорідності означає, що вірна альтернативна гіпотеза:  $H_1: F(x) \neq G(x)$ , хоча б при одному значенні аргументу  $x$ . Якщо гіпотеза  $H_0$  прийнята, то вибірки можна об'єднати в одну, якщо ні, те не можна.

Перш ніж приступити більш детально до розгляду згаданих критеріїв, необхідно сказати, що гідрометеорологічні величини в більшості випадків не підкоряються нормальному закону розподілу, і є незалежними безперервними випадковими величинами.

Критерії Фишера й Крамера-Уелча досить добре розглянуті в [10, 31]. Тому приведемо лише кінцеві формули які їх визначають:

а) критерій Фишера: 
$$F = \frac{S_x^2}{S_y^2};$$

б) критерій (статистика) Крамера-Уелча: 
$$T = \frac{\sqrt{mn}(\bar{x} - \bar{y})}{\sqrt{nS_x^2 + mS_y^2}},$$

де  $S_x^2$  - незміщена дисперсія випадкової величини  $x$ ,  $S_y^2$  - незміщена дисперсія випадкової величини  $y$ ;  $\bar{x}$  і  $\bar{y}$  - середні значення випадкових величин  $x$  і  $y$ ;  $m$  і  $n$  - об'єми випадкових вибірок  $x$  і  $y$ .

Необхідно відзначити, що застосування критерію Крамера-Уелча не менш обгрунтовано, чим застосування критерію Стьюдента. Додаткова перевага - не потрібно рівності дисперсій  $S_x^2$  і  $S_y^2$  [26, 27]. Тому, для перевірки однорідності математичних сподівань (гіпотеза  $H_0$ ) доцільно застосовувати критерій Крамера-Уелча [26, 29].

Критерії перевірки гіпотез про дисперсії на відміну від гіпотез про середні

досить чутливі до будь-яких відхилень від припущень, в умовах яких вони були отримані. І також відсутня або суперечлива інформація щодо потужності відповідних критеріїв [24].

Невідхилення гіпотез, що перевіряються, про рівність середніх і (або) рівності дисперсій ще не говорить про приналежності вибірок однієї й тієї ж генеральної сукупності. Це свідчить лише про можливу рівність числових характеристик, але не законів розподілу. Вибір же критеріїв перевірки гіпотез щодо законів розподілу, що відповідають двом вибіркам, більш скромний. Як правило, на практиці використовується або критерій Смирнова, або критерій Лемана-Розенблатта [30]. Перевага використання даних критеріїв для перевірки однорідності докладно обговорювалася в [28, 30]. В [24, 29] було показано, що для критерію типу омега-квадрат ( $\omega^2$ ) немає вираженого ефекту відмінності між номінальними й реальними рівнями значимості. Тому рекомендовано для перевірки однорідності функцій розподілу (гіпотеза  $H_0$ ) застосовувати статистику  $A$  типу омега-квадрат, а при відсутності методичного, табличного або програмного забезпечення для статистики Лемана-Розенблатта, рекомендовано використати критерій Смирнова.

Розглянемо критерій Лемана-Розенблатта, згідно тому, як він представлений в [24, 29, 30].

Статистика критерію типу омега-квадрат для перевірки однорідності двох незалежних вибірок має вигляд:

$$A = \frac{mn}{m+n} \int_{-\infty}^{\infty} (F_m(x) - G_m(x))^2 dH_{m+n}(x),$$

де  $H_{m+n}(x)$  – емпірична функція розподілу, побудована по об'єднаній вибірці.

Легко бачити, що

$$H_{m+n}(x) = \frac{m}{m+n} F_m(x) + \frac{n}{m+n} G_n(x).$$

Згідно [28] значення статистики залежить лише від рангів елементів вибірки.

Статистика  $A$  типу омега-квадрат була запропонована Е. Леманом [32] в 1951 р., вивчена М. Розенблаттом [33] в 1952 р., а потім і іншими дослідниками. Вона залежить лише від рангів елементів двох вибірок в об'єднаній вибірці. Нехай  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$  - перша вибірка,  $x'_1 < x'_2 < x'_3 < \dots < x'_m$  - відповідний варіаційний ряд,  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  - друга вибірка,  $y'_1 < y'_2 < y'_3 < \dots < y'_n$  - варіаційний ряд, що відповідає другій вибірці. Оскільки функції розподілу незалежних вибірок безперервні, то з імовірністю  $p=1$  всі вибіркові значення різні, співпадання відсутні. Статистика  $A$  представляється у вигляді [30]:

$$A = \omega^2 = \frac{1}{mn(m+n)} \left[ m \sum_{i=1}^m (r_i - i)^2 + n \sum_{j=1}^n (s_j - j)^2 \right] - \frac{4mn-1}{6(m+n)},$$

де  $r_i$  - ранг  $x'_i$  і  $s_j$  - ранг  $y'_j$  у загальному варіаційному ряді, побудованому по об'єднаній вибірці.

Правила прийняття рішень при перевірці однорідності двох вибірок на основі статистики типу омега-квадрат ( $\omega^2$ ), так само як і статистики Смирнова, на основі критичних значень залежно від рівнів значимості і об'ємів сукупностей випадкових величин наведені в таблицях [34].

В розробленому методі (УІМКД), як вихідна інформація виступає матриця  $X = (x_{ij})_{m \times n}$ , яка містить  $m$  векторів-рядків мірності  $n$  і характеризує статистичні ряди об'ємом  $n$  у  $m$  пунктах, які й повинні бути кластеризовані. Як апріорна інформація, на відміну від інших методів, так само як і в УАІМКА, задається тільки мінімальна кількість векторів  $\tau$ , які можуть скласти кластер.

Ітераційний процес в алгоритмі УІМКД складається з ряду кроків:

1-й крок: Розраховується квадратна матриця порядку  $m$  евклідових відстаней між всіма векторами матриці  $X$

$$D = (D_{ij})_{m \times m}, \quad D_{ij} = \sqrt{\sum_{s=1}^n (x_{js} - x_{is})^2}. \quad (2.1)$$

Матриця  $D$  є симетричною. На головній діагоналі цієї матриці розташовуються нулі.

2-й крок: У кожному рядку матриці  $D$  здійснюється ранжирування її елементів, тобто її елементи розташовуються в порядку зростання. У результаті одержимо матрицю  $D^l$  виду

$$D^l = \begin{pmatrix} 0 & d_{12}^{(p)} & d_{13}^{(p)} & d_{14}^{(p)} & \dots & d_{1m}^{(p)} \\ 0 & d_{22}^{(p)} & d_{23}^{(p)} & d_{24}^{(p)} & \dots & d_{2m}^{(p)} \\ 0 & d_{32}^{(p)} & d_{33}^{(p)} & d_{34}^{(p)} & \dots & d_{3m}^{(p)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & d_{m2}^{(p)} & d_{m3}^{(p)} & d_{m4}^{(p)} & \dots & d_{mm}^{(p)} \end{pmatrix}. \quad (2.2)$$

У ній здійснюється перенумерація елементів кожного рядка ( $p$  - номер стовпця, у якому розташовується елемент кожного рядка матриці (2.2) у матриці  $D$  ( $p = \overline{1, m}$ )).

Нехай, припустимо, ми вмовилися, що мінімальне число векторів, які можуть скласти кластер дорівнює  $\tau$ . Тоді аналізу піддається блок матриці (2.2), що складає з перших  $\tau = \mathcal{G}$  стовпців (на першому етапі, наприклад,  $\mathcal{G} = 3$ ).

3-й крок: Здійснюється порівняння евклідових відстаней  $D_{lj}$  ( $l, j = \overline{1, m}$ ) з евклідовими відстанями  $d_{l3}^{(p)}$ . Якщо  $D_{lj} \leq d_{l3}^{(p)}$  ( $l = \overline{1, m}$ ), то  $j$ -й вектор може розглядатися як потенційний центр кластера, у який входить  $l$ -й вектор (з

урахуванням значення індексу  $p$ ).

4-й крок: Для кожного такого  $j$ -го вектора визначається кількість  $l$ -х векторів (число входжень  $S_j$ ), для яких він може бути центром кластера.

5-й крок: Із загального числа  $j$ -х векторів виділяються ті, для яких  $S_j \geq \tau$  (у нашому прикладі  $S_j \geq 3$ ). Інші потенційні центри кластерів, для яких ця умова не виконується, ліквідуються.

6-й крок: Визначається число  $j$ -х векторів, що залишилися, як центрів кластерів. Нехай їх число дорівнює  $r$  ( $j = r$ ).

7-й крок: Із загального числа  $m$ -х векторів установлюються ті, які потрапили в  $s$ -й ( $V_s$ ) і  $q$ -й ( $V_q$ ) кластери одночасно ( $s, q = \overline{1, r}$ ;  $l \neq s, q$ ) й здійснюється їх розведення по кластерах за вирішальним правилом:  $X_l \in V_s$ , якщо  $D_{ls} < D_{lq}$ , при цьому  $S_q = S_q - 1$ .

8-й крок: Повторюються процедури зазначені в 5-тім і 6-тім кроках.

9-й крок: Знаходяться евклідові відстані  $\check{D}_{sq}$  між центрами  $s$ -го ( $V_s$ ) й  $q$ -го ( $V_q$ ) кластерів.

10-й крок: Знаходиться максимальна з відстаней між векторами, що входять в  $s$ -й кластер  $D_{ts}$  і  $q$ -й кластер  $D_{fq}$  ( $t = \overline{1, s_s}$ ;  $f = \overline{1, s_q}$ ). Нехай це буде  $D_{fq}$ .

11-й крок: Евклідова відстань  $D_{fq}$  порівнюється з відстанями між центрами кластерів  $\check{D}_{sq}$ . Якщо  $\check{D}_{sq} < D_{fq}$ , то при  $S_s \geq S_q$  ліквідується  $q$ -й кластер. Якщо  $S_q > S_s$ , то ліквідується  $s$ -й кластер.

12-й крок: Здійснюється формування ряду попередніх центрів кластерів  $z_j$ .

13-й крок: Здійснюється розподіл по кластерах векторів вихідної вибірки відповідно до вирішального правила  $X \in V_j$  якщо  $D_{xz_j} < D_{xz_k}$ .



14-й крок: Визначається кількість векторів  $S_j$ , що ввійшли в кожний  $j$ -й кластер  $V_j$ .

15-й крок: Розраховуються середні вектори для кожного  $j$ -го кластера  $R_j$ .

16-й крок: Для кожної пари  $s$ -го й  $q$ -го кластерів на основі  $R_j$  визначаються значення критерію Фишера  $F_j$  й статистики Крамера-Уелча  $t_j$  (критерій Стьюдента).

17-й крок: Отримані значення критерію Фишера  $F_j$  й критерію Стьюдента  $t_j$  порівнюються із критичними значеннями на рівні значимості  $\alpha = 0,05$   $F_{кр}$  й  $t_{кр}$ .

18-й крок: Якщо усі  $j$ -е кластери на даному кроці виявляються неоднорідними стосовно один одного, здійснюється додаткова перевірка на однорідність за допомогою розрахунку критерію типу омега-квадрат (Лемана-Роземблатта)  $\omega^2$  і порівняння його із критичним значенням  $\omega_{кр}^2$  на рівні значимості  $\alpha = 0,05$ .

19-й крок: За умови  $\omega^2 > \omega_{кр}^2$  вертаємося до кроку 16 і ітераційна процедура триває знову, тільки вже для початкових центрів отриманих кластерів  $z_j$  аж до 18-го кроку включно.

20-й крок: Вертаємося до кроку 2 за умови  $\mathcal{G} = \mathcal{G} + 1$ , і ітераційна процедура триває знову аж до 19-го кроку включно.

21-й крок: У випадку виявлення повної неоднорідності середніх векторів  $R_j$  і початкових центрів  $z_j$  кластерів, отриманих на етапі  $\mathcal{G}$  й етапі  $\mathcal{G} - g$ , ( $g \geq 1$ ) (відповідно до вищезгаданих критеріїв), здійснюється порівняння числа кластерів  $N_g, N_{g-g}$  на відповідних етапах, за умови  $N_{g-g} \geq 2$  й  $N_g \geq 2$ . Якщо  $N_g \geq N_{g-g}$ , то  $\mathcal{G}$  етап вважається основним, і кількість неоднорідних кластерів,

отриманих на наступних етапах, порівнюється с  $N_g$ . Якщо  $N_{g-g} > N_g$ , то  $\mathcal{G} - g$  вважається основним етапом.

22-й крок: Процедура повторюється, починаючи із кроку 2 по 21 крок доти, поки  $g \leq m$ .

## 2.2 Кластерний аналіз полів вихідних характеристик у районах Північної Атлантики

Умови формування полів гідрометеорологічних характеристик у Північній Атлантиці істотно відрізняються від тих, які присутні в частині океану, що перебуває в Південній півкулі. Дані відмінності визначаються не тільки особливостями самого водного простору, але й конфігурацією обмежуючої його суші. У зимовий час, антициклональне холодне повітря, що формується над нею в помірних широтах, виноситься сильними західними вітрами на теплу океанську поверхню, що сприяє посиленню процесу циклогенезу. Ісландський мінімум, що підсилюється, багато в чому визначає гідрометеорологічні умови над Північною Атлантикою й над Європою. У той ж час вплив на формування полів розглянутих характеристик зони підвищеного тиску, пов'язаної з Азорським максимумом, зменшується.

*Кластеризація полів температур поверхні й повітря на висоті 2 м у Північній Атлантиці (рис. 2.1-2.8) має не тільки загальні риси із кластеризацією таких же характеристик у північній частині Тихого океану, але й істотні відмінності, зокрема, обумовлені особливістю розташування Атлантичного океану (наприклад, прямий контакт із Північним льодовитим океаном).*

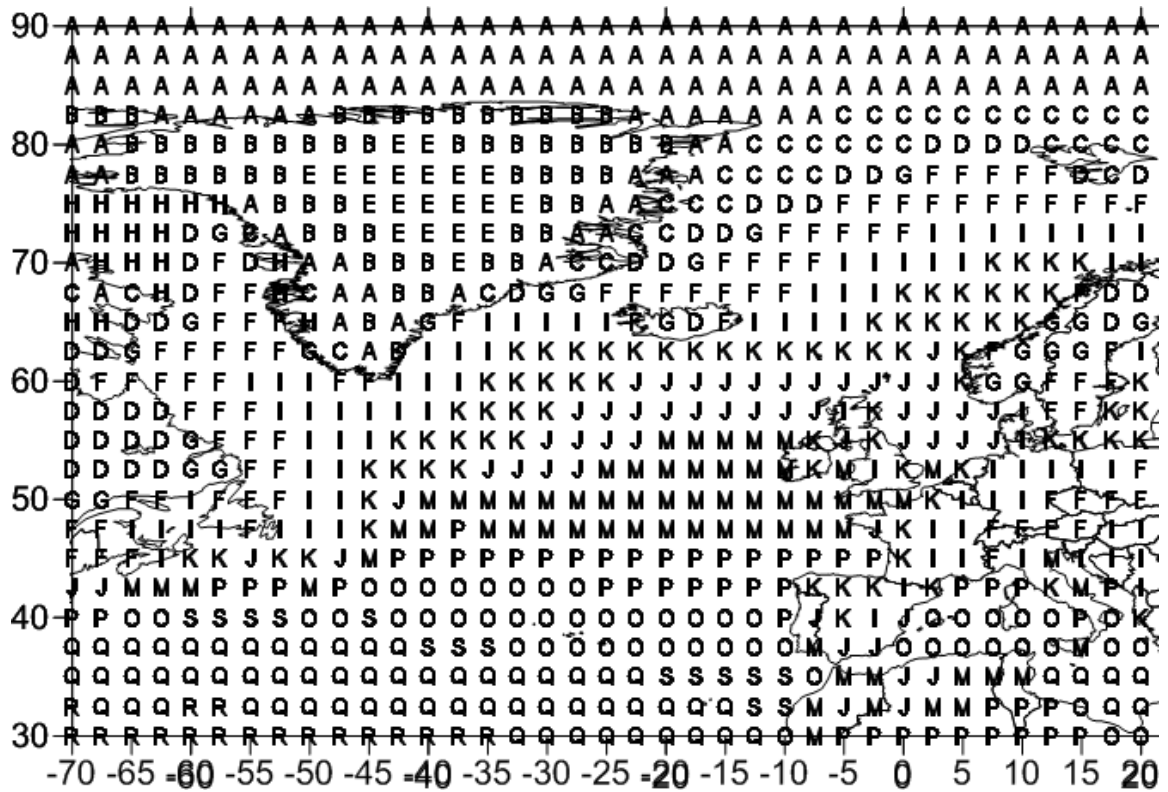


Рисунок 2.1 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури поверхні, що підстилає, у Північній Атлантиці (листопад)

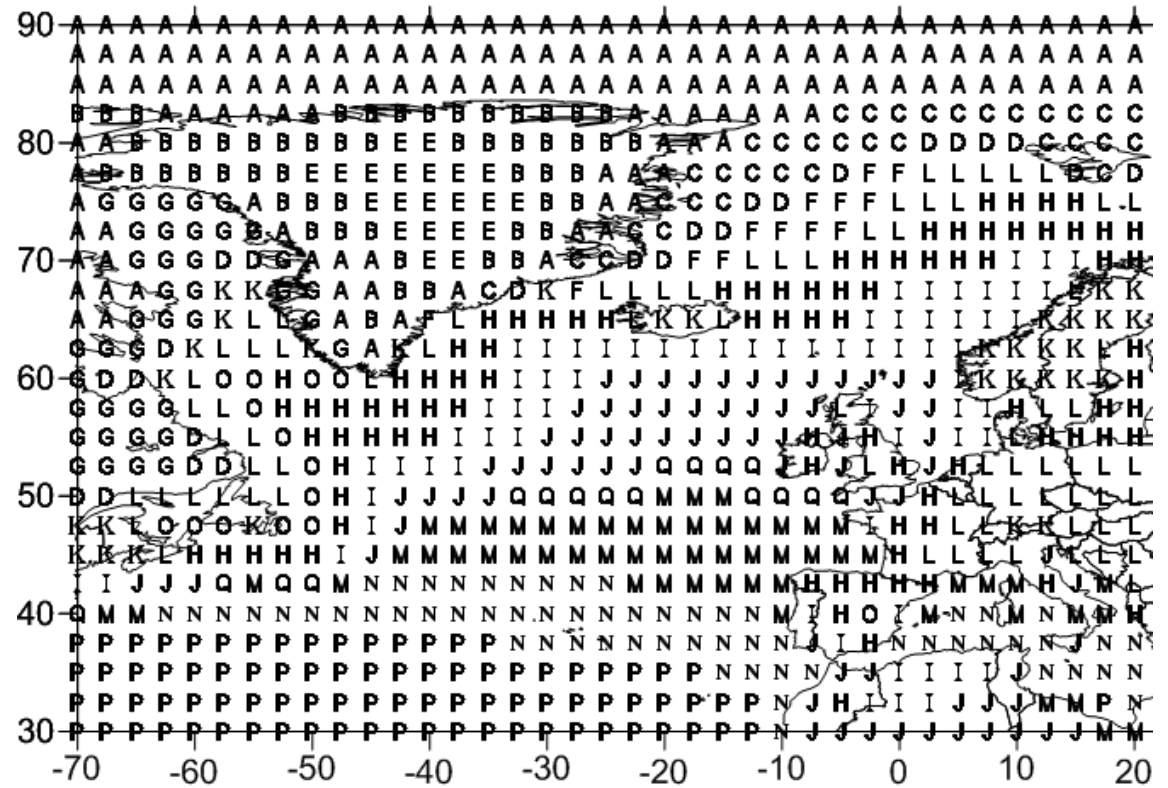


Рисунок 2.2 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури поверхні, що підстилає, у Північній Атлантиці (грудень)

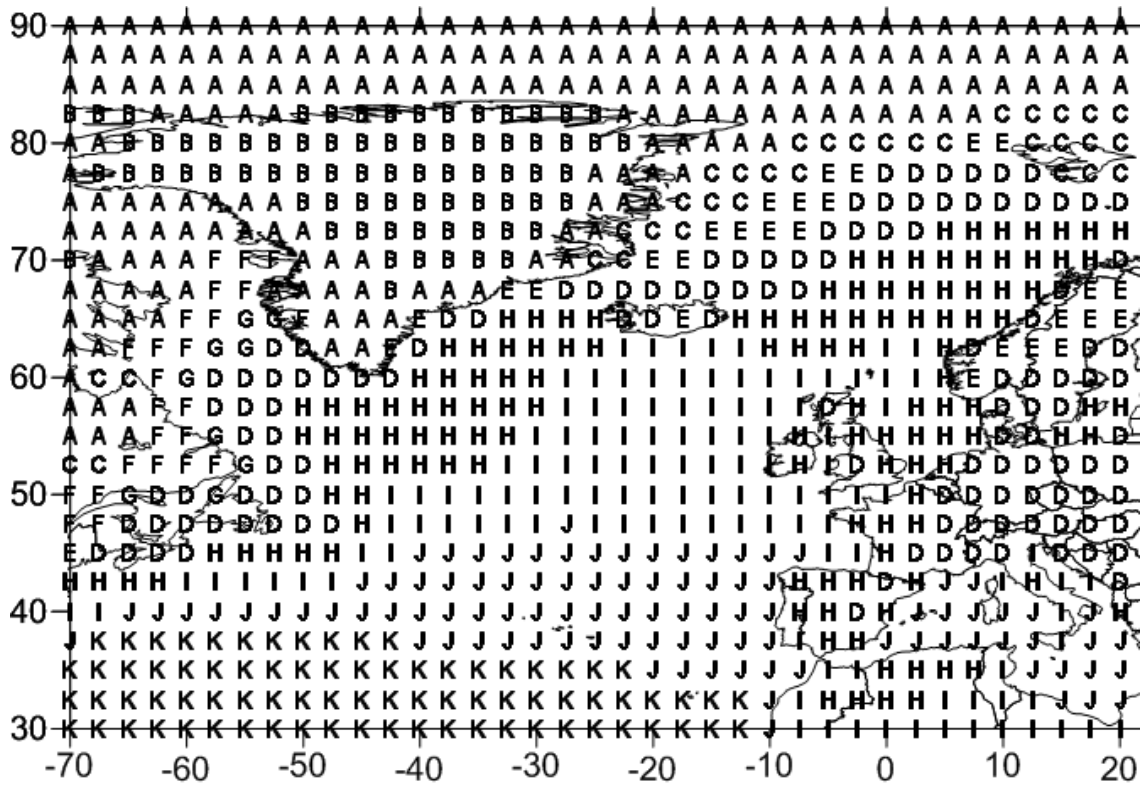


Рисунок 2.3 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури поверхні, що підстилає, у Північній Атлантиці (січень)

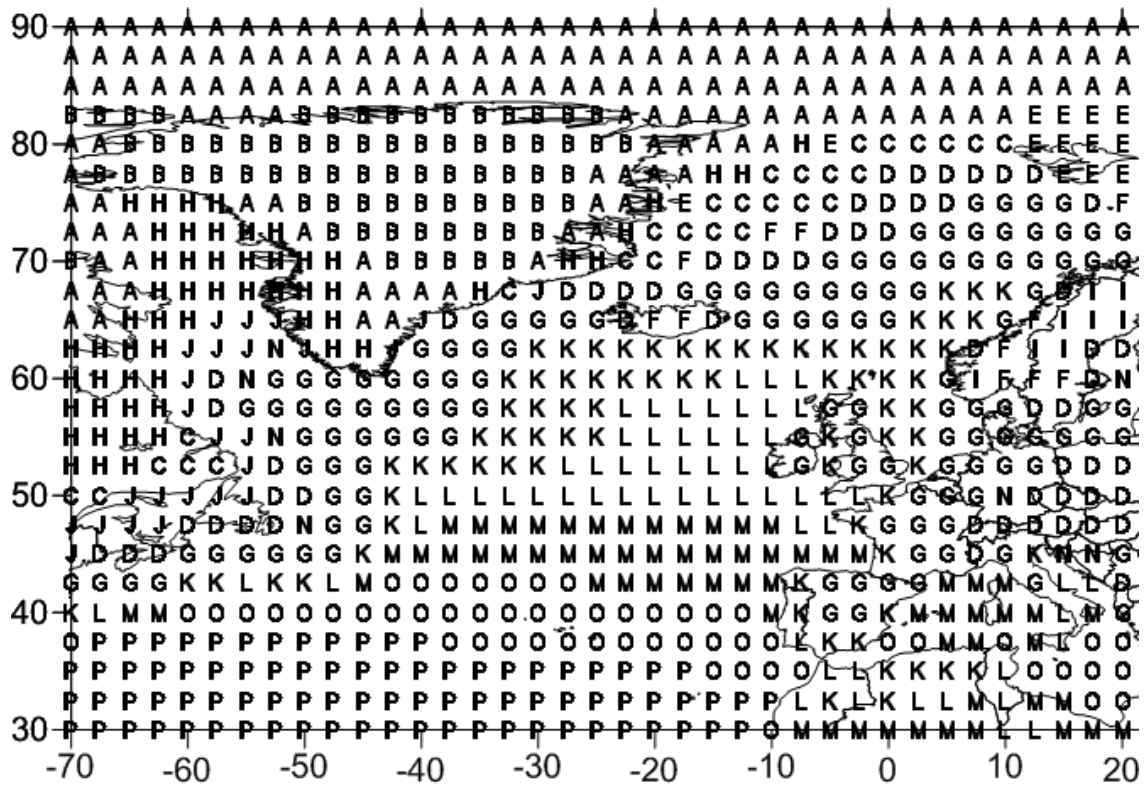


Рисунок 2.4 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури поверхні, що підстилає, у Північній Атлантиці (лютий)

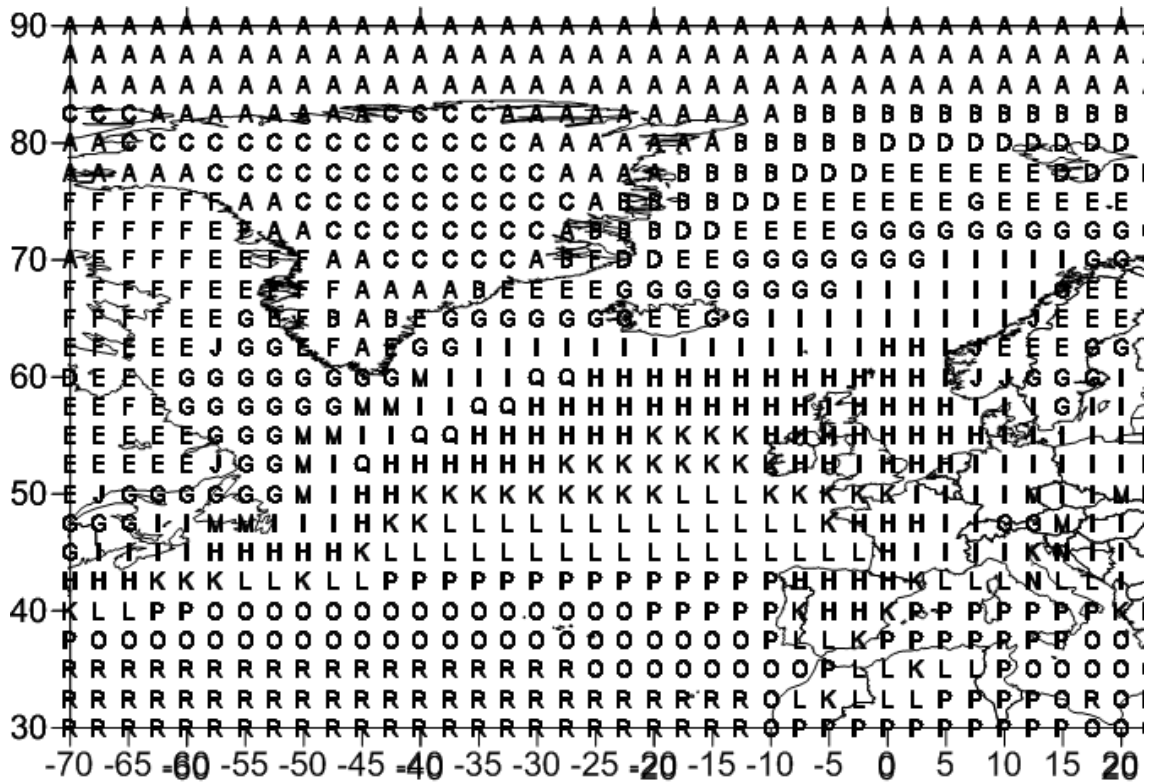


Рисунок 2.5 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря на висоті 2 м у Північній Атлантиці (листопад)

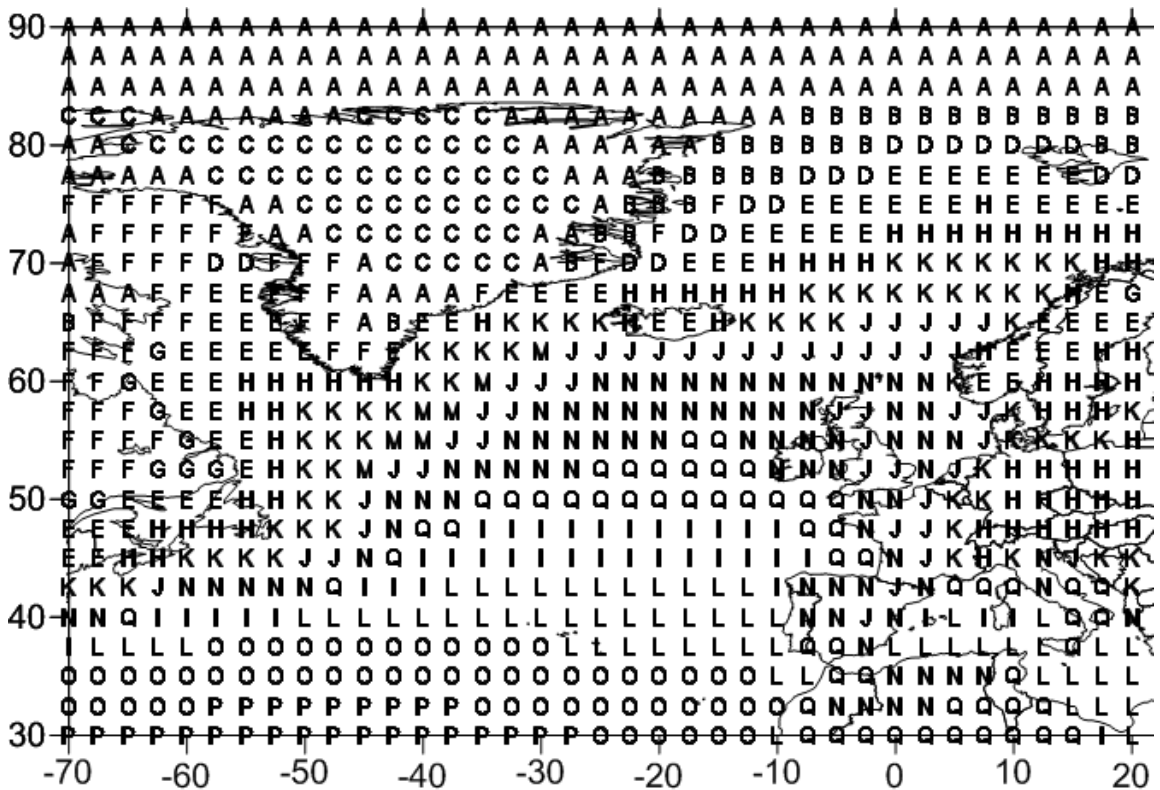


Рисунок 2.6 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря на висоті 2 м у Північній Атлантиці (грудень)

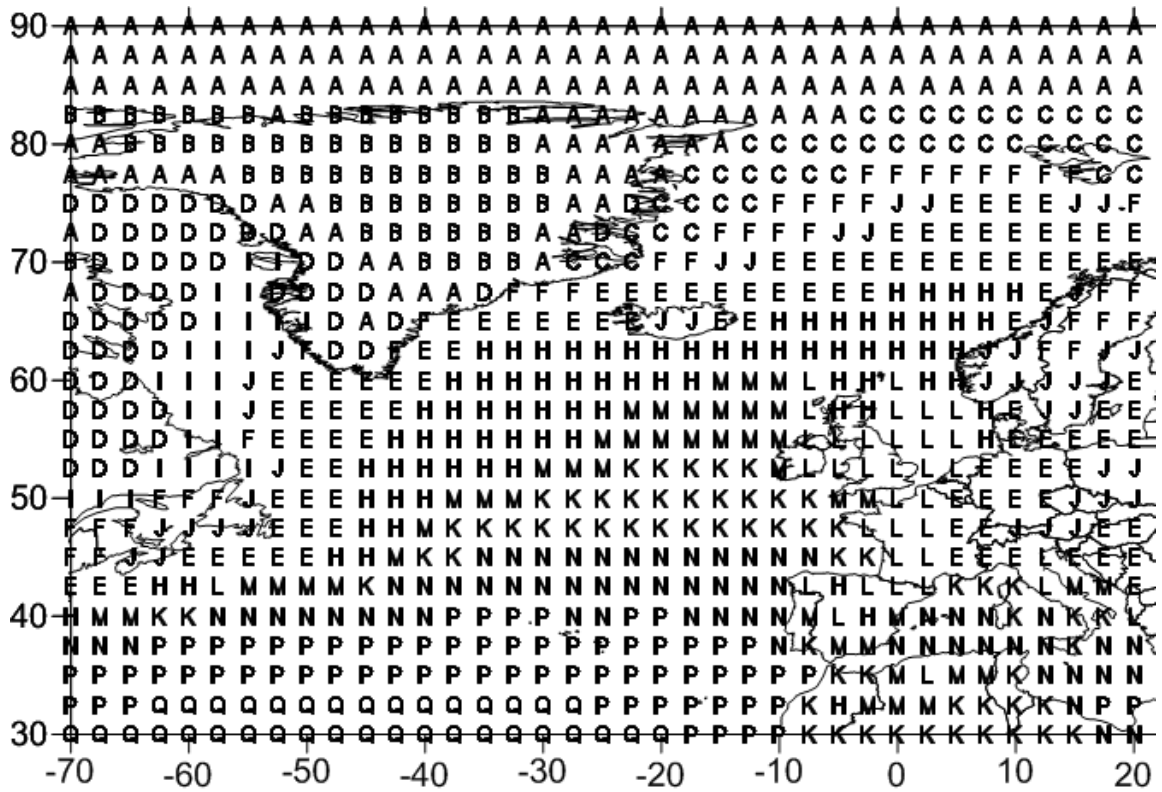


Рисунок 2.7 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря на висоті 2 м у Північній Атлантиці (січень)

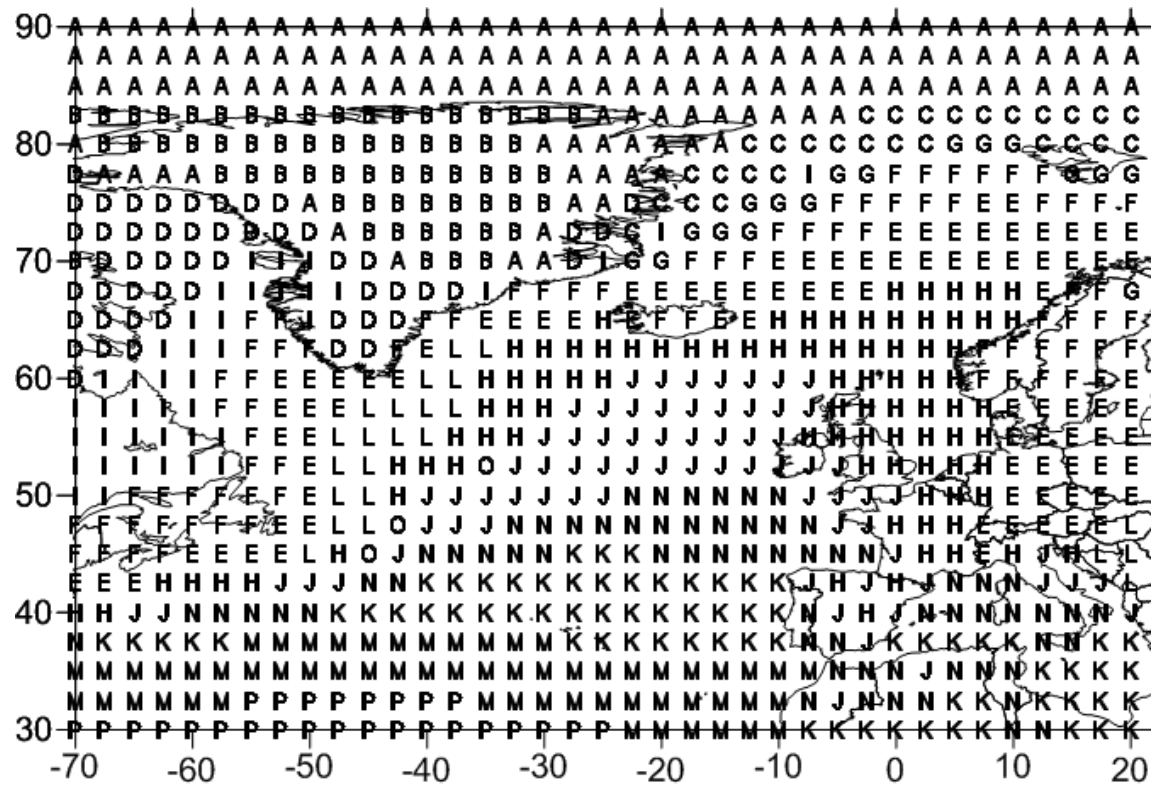


Рисунок 2.8 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря на висоті 2 м у Північній Атлантиці (лютий)

Відповідно до широтного розподілу теплового балансу поля середньомісячних температур у Північній Атлантиці мають, загалом, зональний характер, що порушується переносом течіями теплої й холодної води, наявністю континентів, вітровими режимами, пов'язаними з атмосферною циркуляцією. Це знаходить відображення й в отриманих результатах кластеризації полів температури повітря на висоті 2 м і температури поверхні, що підстилає.

Аналіз загальної структури сформованих однорідних температурних зон (табл. 2.1-2.2), показує, що і для температури повітря, і для температури поверхні, що підстилає, кількість отриманих кластерів по місяцях практично збігається (15-19). Виключення становить лише січень для температури поверхні, що підстилає (11). У цьому випадку в районі Північноатлантичної течії формується єдиний однорідний район.

Можна припустити, що саме в цьому місяці відбувається деяка стабілізація температурного режиму Північноатлантичної течії, яка обумовлена проявом інерційних властивостей океану й взаємодії його з атмосферою, і відповідному переходу від осінніх процесів до зимових.

На користь об'єктивності проведеної кластеризації свідчить досить чітке розмежування у розглянутий період зон розподілу температур у районах розташування суши, поверхні зайнятий льодом і океаном (наприклад, у січні для суши, льоду – кластери **A, B, E, C**; для відкритої океанської поверхні **I, K, G, H** (рис. 2.3)).

Крім того, так само як і для території північної частини Тихого океану [35], в усі розглянуті місяці добре проявляються в поле температури кластери, що відповідають акваторіям із циклональною й антициклональною циркуляцією вод океану.

Таблиця 2.1 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД) ( $K^2$ ) і середні значення (СЗ) (К) компонент репрезентативних векторів в кластерах середньомісячної температури поверхні, що підстилає, у Північній Атлантиці (листопад - лютий)

№№ п/п	Позначення кластерів	МВкД				СЗ			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	7.8	5.9	8.8	7.7	248.4	244.6	244.4	243.5
2	<b>B</b>	6.8	8.9	11.2	9.7	239.9	236.8	234.4	233.5
3	<b>C</b>	13.9	14.0	16.3	17.1	255.6	252.3	254.8	259.1
4	<b>D</b>	2.7	8.6	1.0	1.8	266.2	261.2	271.7	270.7
5	<b>E</b>	11.9	13.9	7.3	25.7	232.7	230.4	263.8	253.8
6	<b>F</b>	0.5	17.4	11.1	6.7	274.7	269.6	256.8	267.8
7	<b>G</b>	1.7	9.4	12.4	0.2	270.3	253.8	268.3	276.3
8	<b>H</b>	14.8	0.1	0.1	11.6	257.5	277.3	278.1	249.3
9	<b>I</b>	0.2	0.1	0.1	10.7	278.0	280.1	282.8	263.1
10	<b>J</b>	0.1	0.1	0.1	4.3	283.0	282.7	288.5	265.3
11	<b>K</b>	0.1	3.0	0.1	0.1	280.7	266.7	292.8	280.3
12	<b>L</b>	-	0.7	-	0.1	-	273.0	-	283.2
13	<b>M</b>	0.1	0.1	-	0.1	285.8	286.7	-	285.9
14	<b>N</b>	3.2	0.1	-	1.5	276.6	290.2	-	273.7
15	<b>O</b>	0.1	0.9	-	0.1	291.5	275.0	-	288.7
16	<b>P</b>	0.2	0.1	-	0.1	288.7	293.8	-	292.0
17	<b>Q</b>	0.1	0.2	-	-	295.2	284.7	-	-
18	<b>R</b>	0.1	-	-	-	297.2	-	-	-
19	<b>S</b>	0.1	-	-	-	293.4	-	-	-



Таблиця 2.2 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД) ( $K^2$ ) і середні значення (СЗ) (К) компонент репрезентативних векторів в кластерах середньомісячної температури повітря на висоті 2 м у Північній Атлантиці (листопад – лютий)

№№ п/п	Позначення кластерів	МВкД				СЗ			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	7.2	5.3	10.8	8.7	248.3	244.6	243.5	242.9
2	<b>B</b>	13.1	11.7	10.0	9.1	254.7	251.1	237.5	236.6
3	<b>C</b>	7.9	9.8	22.1	17.0	240.2	237.7	252.8	250.6
4	<b>D</b>	13.0	14.6	11.5	13.4	262.7	258.7	249.6	246.7
5	<b>E</b>	1.4	1.5	0.5	1.1	268.4	267.1	272.4	271.8
6	<b>F</b>	8.8	8.0	4.8	3.3	259.0	253.8	263.4	265.6
7	<b>G</b>	0.5	6.1	14.2	11.0	274.0	262.5	<b>258.0</b>	259.3
8	<b>H</b>	0.3	0.7	0.3	0.5	280.9	271.8	276.9	276.9
9	<b>I</b>	0.6	0.2	14.0	11.5	277.9	285.9	259.9	254.6
10	<b>J</b>	2.9	0.2	3.5	0.3	271.3	277.6	268.5	280.4
11	<b>K</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	283.8	274.9	283.3	286.8
12	<b>L</b>	0.2	0.1	0.9	2.4	286.4	288.3	278.3	273.8
13	<b>M</b>	1.9	1.6	0.2	0.1	275.7	275.9	280.6	289.8
14	<b>N</b>	2.0	0.2	0.1	0.3	281.7	280.2	286.1	284.1
15	<b>O</b>	0.2	0.1	4.0	2.5	291.4	291.4	<b>273.6</b>	277.8
16	<b>P</b>	0.3	0.2	0.1	0.2	289.1	293.9	289.5	292.2
17	<b>Q</b>	1.1	0.3	0.2	-	278.8	283.5	292.5	-
18	<b>R</b>	0.1	-	-	-	294.4	-	-	-

Найбільшу акваторію Північної Атлантики (від 10° півн.ш. до 45° півн.ш.) охоплює океанський північний субтропічний антициклоніальний кругообіг, північну частину якого, у нашому випадку, можна простежити за допомогою

структурного розташування кластерів в усі зимові місяці (листопад – **M, P, O, S, Q**; грудень – **Q, M, N, P**; січень – **J, K**; лютий – **M, O, P**). Зазначені кластери добре пов'язані з розташуванням таких течій як: Гольфстрім – Північноатлантична (південні гілки) (листопад – **M, P**; грудень – **Q, M**, січень – південна частина кластера **I, J**, лютий – **M, O**), Португальська, Канарська (відносно холодні), що є однорідними в поле температур із центральною частиною кругообігу (листопад – **O, S**; грудень – **N**, січень – **J**, лютий – **O**) і Північне Пасатне (листопад – **R, Q**; грудень – **P**, січень – **K**, лютий – **P**). З південної сторони кругообіг обмежений північним тропічним океанічним фронтом, а з півночі - північним полярним. Конструктивне розташування кластерів у зоні зазначеного кругообігу відповідає цим океанічним фронтам і підкреслює зональні й меридіональні особливості циркуляційних процесів описаної вище області Північної Атлантики.

Іншою структурною зоною є область розташування субполярного циклонічного кругообігу (від 45° півн. ш. до 75° півн. ш.). Великі контрасти в полях температури поверхні, що підстилає, які виникають при взаємодії холодних і теплих течій, обумовлюють наявність тут більшої кількості однорідних температурних районів, чим в акваторії зайнятий північним субтропічним антициклонічним кругообігом.

Цей циклонічний океанський кругообіг визначається цілим рядом течій, такими як: Лабрадорська течія (на схематичних картах відповідає кластерам у листопаді – **F**, західний осередок **K**; у грудні – **L, O**; у січні – **F, D, J**; у лютому – **J, D**), Північноатлантична течія (листопад – **J, K**; грудень – **J, I**; січень – **I**; лютий – **L, K**), Норвезька течія (листопад – **K, I**; грудень – **I, H**; січень – **H**; лютий – **K, G**), Шпіцбергенська течія (листопад – **F, I**; грудень – **L, H**; січень – **H, D**; лютий – **D, G**), Східно-Гренландська течія (листопад – **C, D**; грудень – **C, D, L**; січень – **C, E, D**; лютий – **C, D**), Західно-Гренландська течія (листопад – **F, D**; грудень – **O, L, K**; січень – **D, F**; лютий – **N, G, H**).

Із заходу на схід у районі 45° півн. ш. простирається лінія розділу між

океанськими циклонічним і антициклонічним кругообігами, що на зазначеній широті в західній частині Північної Атлантики характеризується зоною конвенгенції, а в східній - зоною горизонтальної дивергенції. Ці особливості розподілу температури поверхні води можна добре простежити, зокрема, на прикладі груп кластерів: на заході Північної Атлантики **I, F, K** (рис. 2.1), **L, O, H, I, Q** (рис. 2.2), **D, H** (рис. 2.3), **D, G, K** (рис. 2.4) і на сході **J, M, P** (рис. 2.1), **J, Q, M** (рис. 2.2), **D, H, I, J** (рис. 2.3), **D, G, K, L, M** (рис. 2.4), де чітко простежується відповідність спрямованості кластерів розбіжності потоків водних мас на північ і південь.

Отримані схеми *кластеризації температури повітря на висоті 2м* (рис. 2.5 – 2.8) добре погоджуються зі схемами температури поверхні, але, проте, мають свої особливості, які представлені далі.

Відомо, що циркуляційний режим атмосфери Північної Атлантики формується під впливом двох глобальних центрів дії: північного субполярного циклонічного (Ісландська депресія) і північного субтропічного антициклонального (Азорський максимум), інтенсивність яких у зимовий період є найбільшою. Природно припустити, що територіальний розподіл середньомісячної температури повітря повинен бути добре погоджений з кліматичним баричним полем атмосферного тиску над північною частиною Атлантичного океану, у тому числі і з траєкторіями переміщення баричних утворень. Саме ці факти досить добре проявляються: області впливу Ісландського мінімуму (північніше кластерів **L, K** (рис. 2.5), **I, Q** (рис. 2.6), **N** (рис. 2.7), **N** (рис. 2.8)) і Азорського максимуму (південніше кластерів **H** (рис. 2.5), **N** (рис. 2.6), **K** (рис. 2.7), **J** (рис. 2.8)) розмежовуються лінією розділу, що простирається із заходу на схід в околицях 50° півн.ш., і яка починається зоною конвенгенції (кластери **G, M, I, H** (рис. 2.5), **K, J, N, Q** (рис. 2.6), **E, H, M** (рис. 2.7), **E, K, J** (рис. 2.8)) у східній частині й далі на захід переходить в зону горизонтальної дивергенції (кластери **H, K** (рис. 2.5), **N, Q** (рис. 2.6), **N, K** (рис. 2.7), **N, J** (рис. 2.8)).

Дослідження показують [36], що великі горизонтальні градієнти температури повітря створюються у східних узбережжях материків особливо над Гренландським морем, де вони взимку в 5-6 разів більше, ніж улітку. Їх виникненню сприяє наявність теплих течій, що проходять поблизу східних окраїн берегів.

Ці райони характеризуються різкими змінами погоди і сильними вітрами. Структурне розташування кластерів приповерхньої температури повітря (**B, D** (рис. 2.5), **B, F, D** (рис. 2.6), **C, F** (рис. 2.7), **C, G, I** (рис. 2.8)), а також відповідні їм дисперсії (табл. 2.2), у районі Гренландського моря, добре відбивають присутність кліматичних відмінностей між окремими районами даного регіону.

Дані статистичного аналізу проведеної кластеризації середньомісячної температури поверхні й температури повітря на висоті 2 м, представлені у вигляді таблиць 2.1-2.2. Відповідно до отриманих результатів внутрішньокластерні дисперсії (табл. 2.1, 2.2) для досліджуваної території в усі місяці мають чіткий поділ на дві частини: великі і незначні. Великі дисперсії відповідають кластерам, що охоплюють материкову поверхню і поверхню покриту льодом. Такі дисперсії пов'язані з особливостями характеру цих поверхонь і взаємодіями з нижнім шаром атмосфери. Незначні дисперсії характеризують кластери океанічної частини регіону і визначаються в більшій мірі інерційними властивостями океану. Середні значення розглянутих температур мають в основному меридіональну спрямованість, зменшуючись із півдня на північ, і тільки на материковій частині спостерігаються відмінності між береговими частинами і більш віддаленими від води. Причому мінімальні середні значення спостерігаються в кластері територіально розташованому в центрі Гренландії (полюс холоду), а максимальні - у крайній південно-західній частині, що перебуває під впливом теплої Північно-Пасатної течії.

*Кластеризація полів різниці середньомісячних температур поверхні й повітря на висоті 2 м, поверхневих потоків тепла, зональної складової швидкості вітру.* Результати проведеної кластеризації наведені на рис. 2.9 – 2.20. Визначені алгоритмом кластери відображені на рисунках різними літерними позначеннями латиниці.

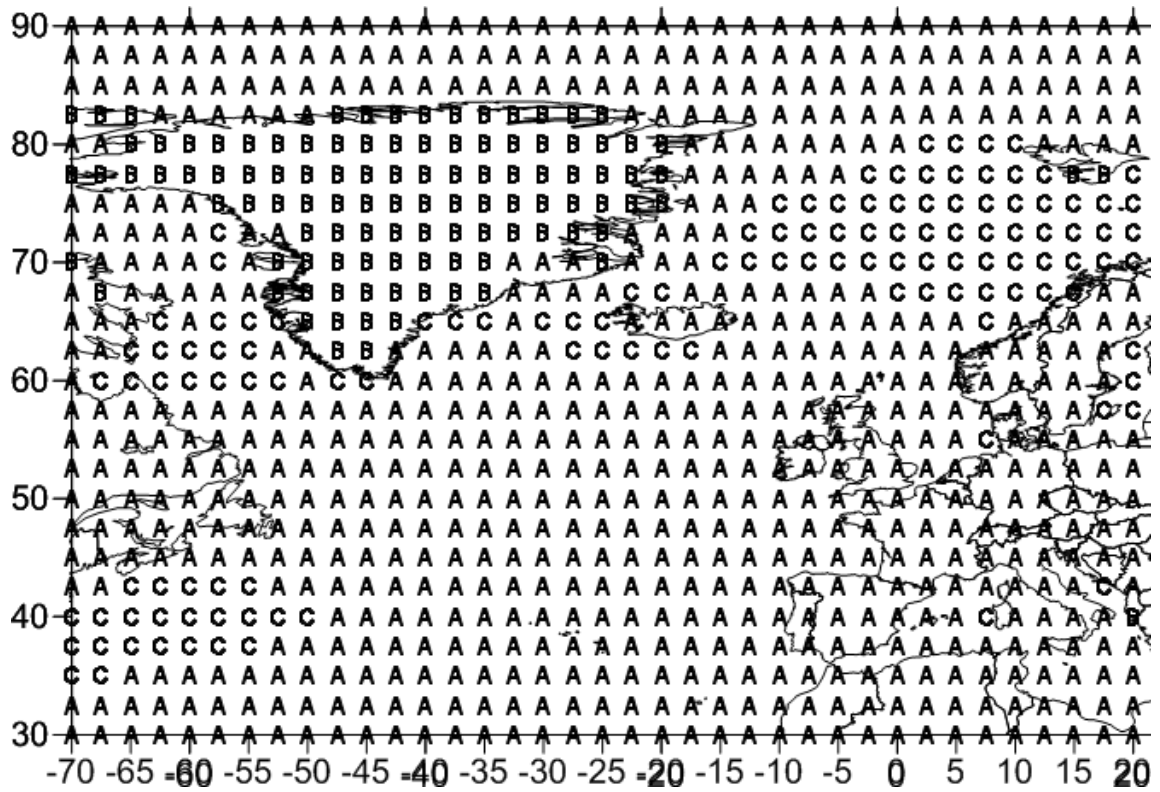


Рисунок 2.9 – Просторовий розподіл кластерів значень різниці середньомісячних температур у Північній Атлантиці (листопад)

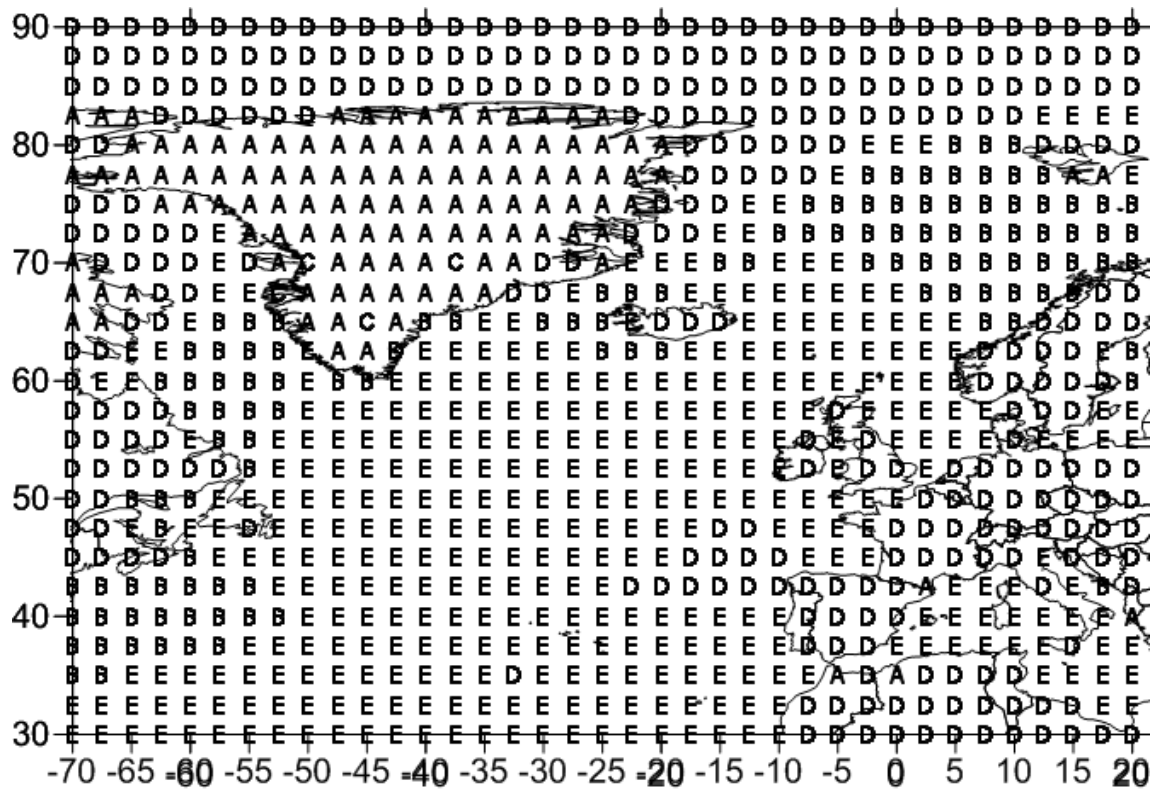


Рисунок 2.10 – Просторовий розподіл кластерів значень різниці середньомісячних температур у Північній Атлантиці (грудень)

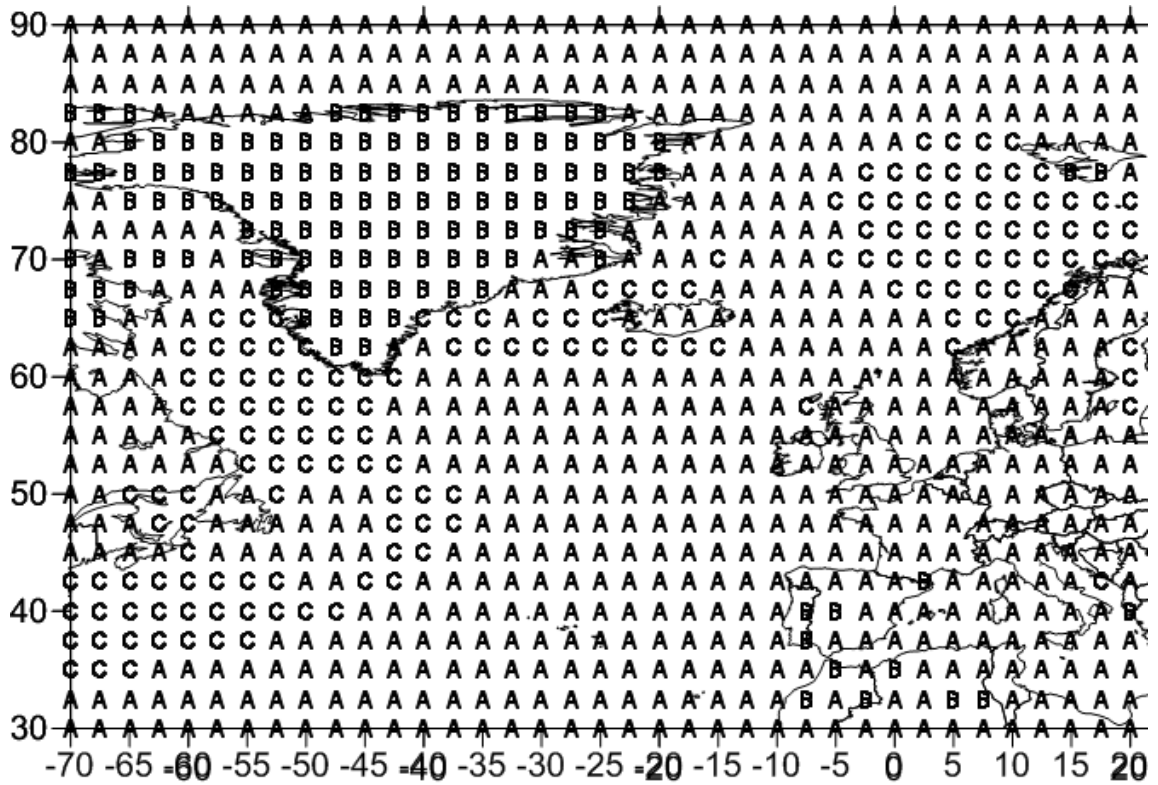


Рисунок 2.11 – Просторовий розподіл кластерів значень різниці середньомісячних температур у Північній Атлантиці (січень)

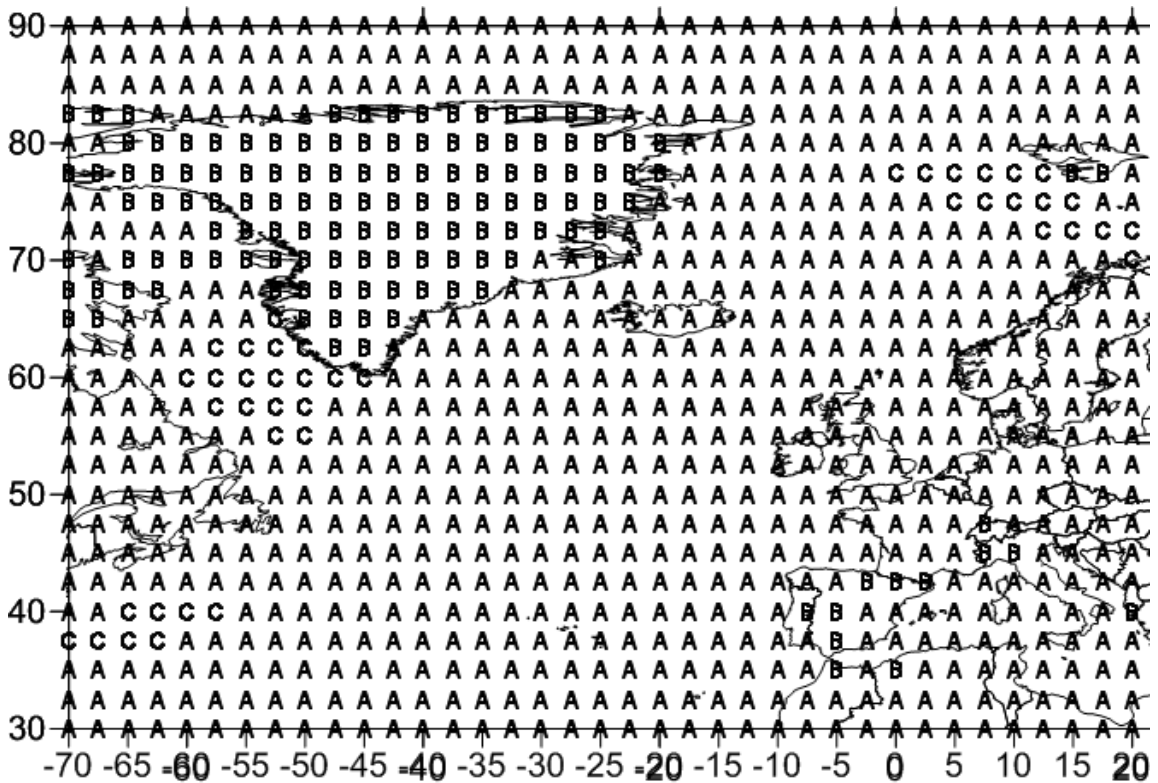


Рисунок 2.12 – Просторовий розподіл кластерів значень різниці середньомісячних температур у Північній Атлантиці (лютий)

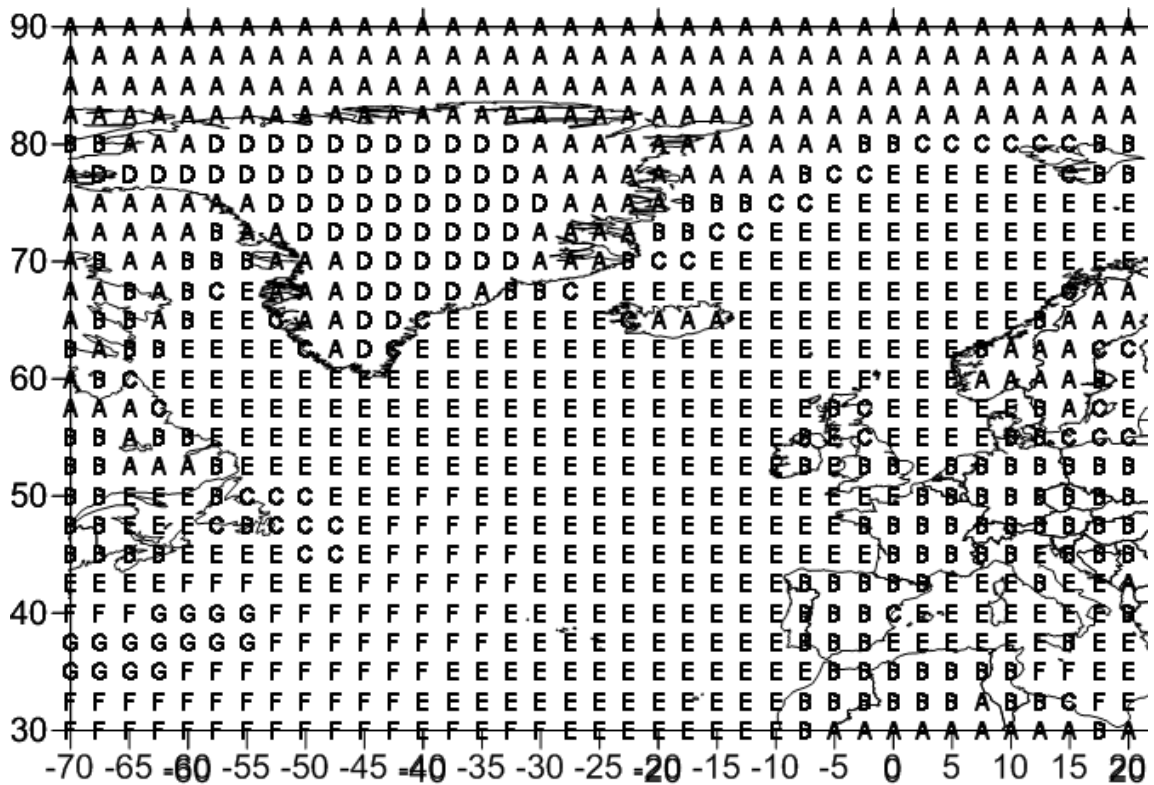


Рисунок 2.13 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень потоків схованого тепла в Північній Атлантиці (листопад)

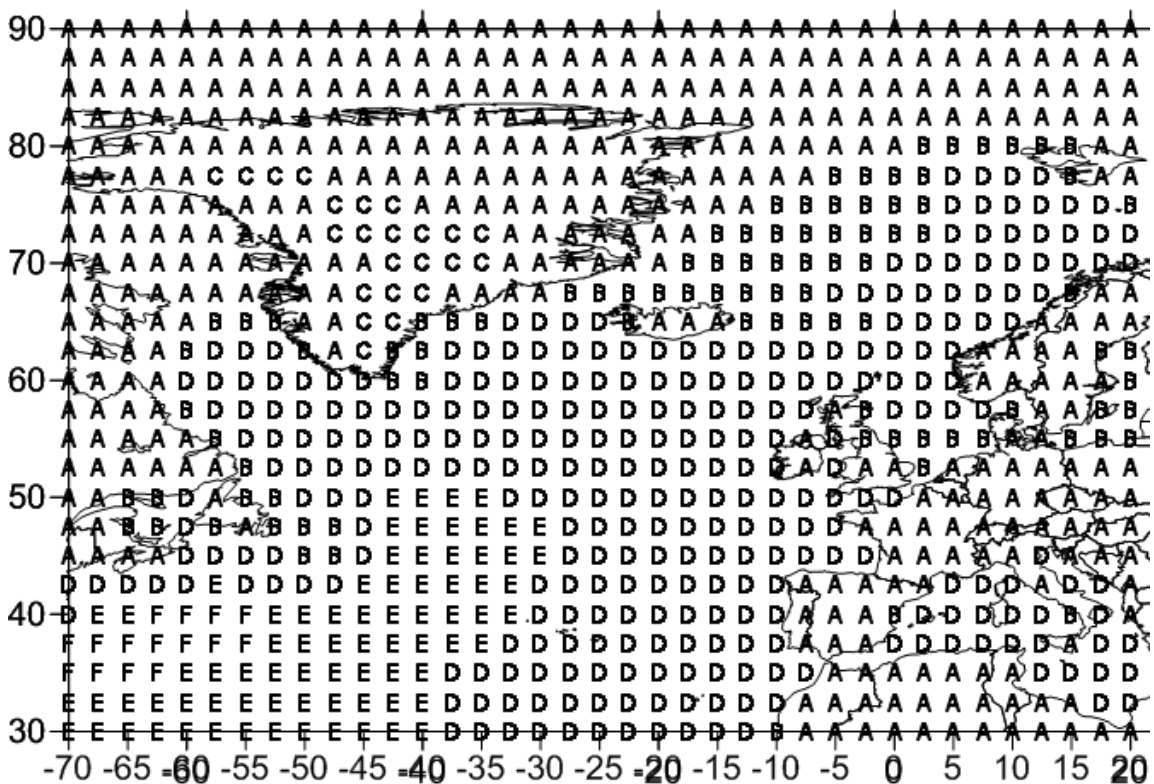


Рисунок 2.14 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень потоків схованого тепла в Північній Атлантиці (грудень)

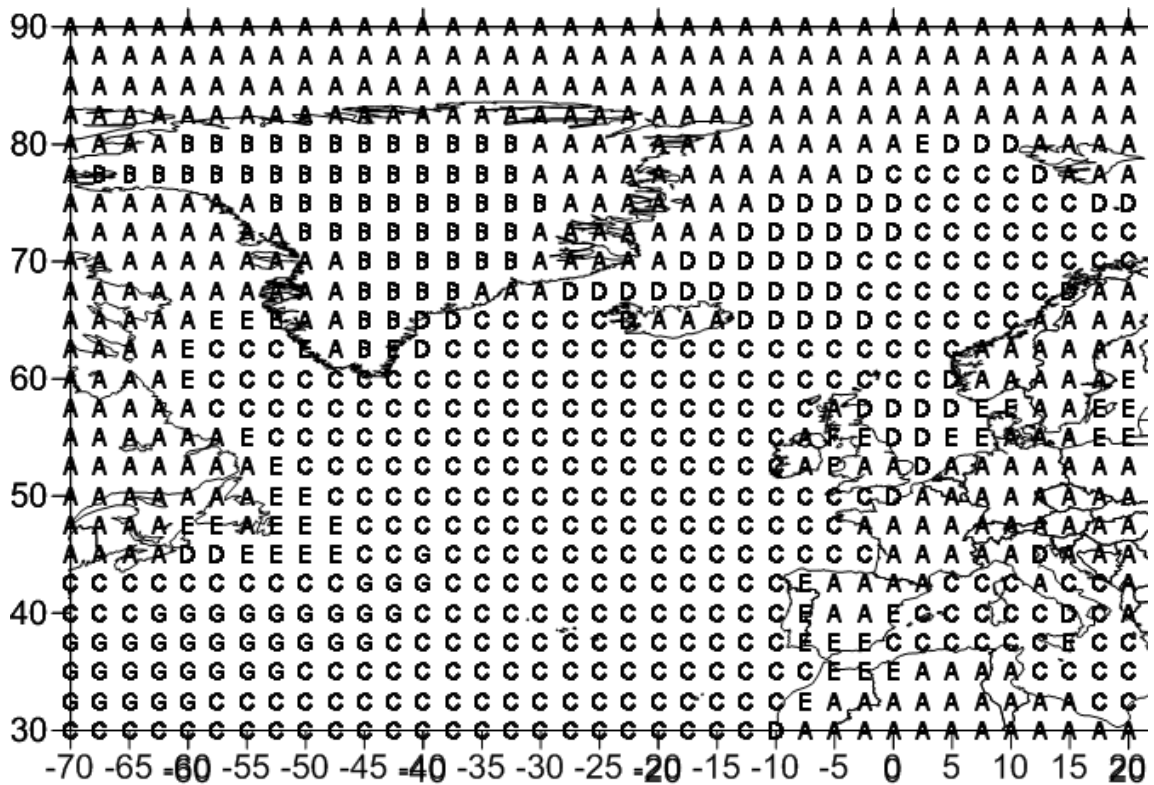


Рисунок 2.15 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень потоків схованого тепла в Північній Атлантиці (січень)

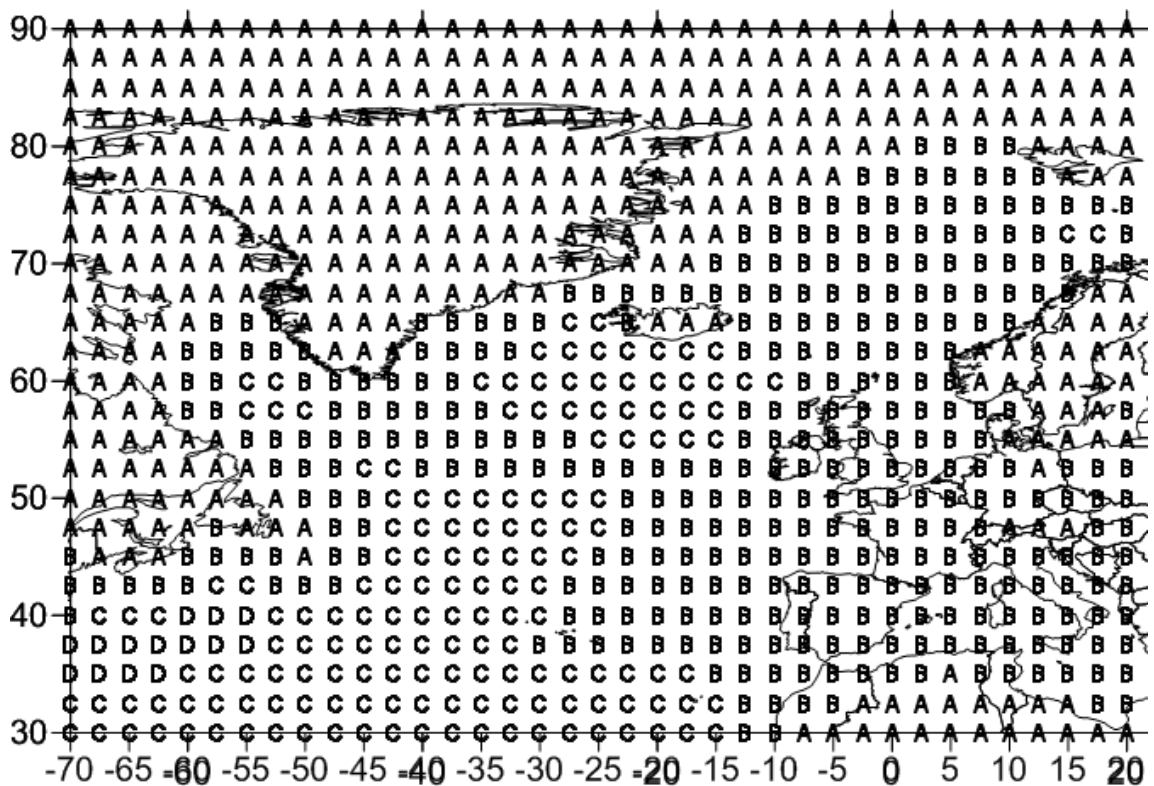


Рисунок 2.16 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень потоків схованого тепла в Північній Атлантиці (лютий)



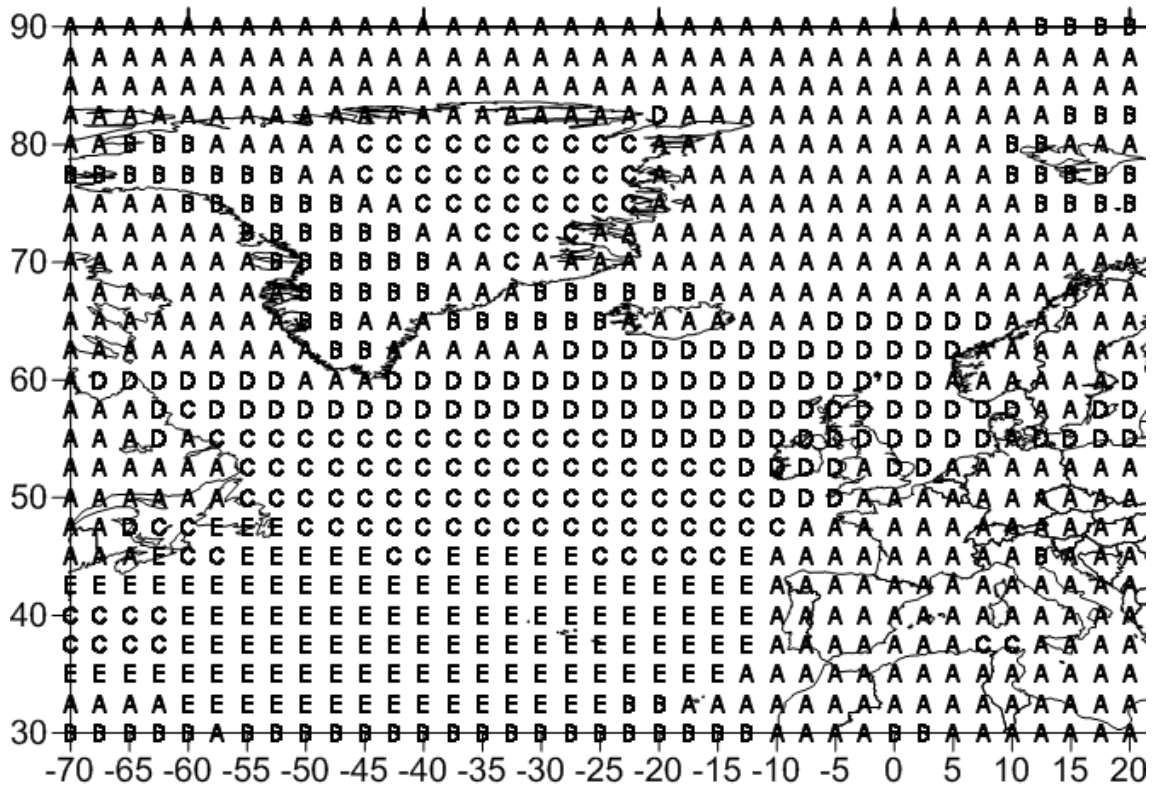


Рисунок 2.17 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень зональної складової швидкості вітру в Північній Атлантиці (листопад)

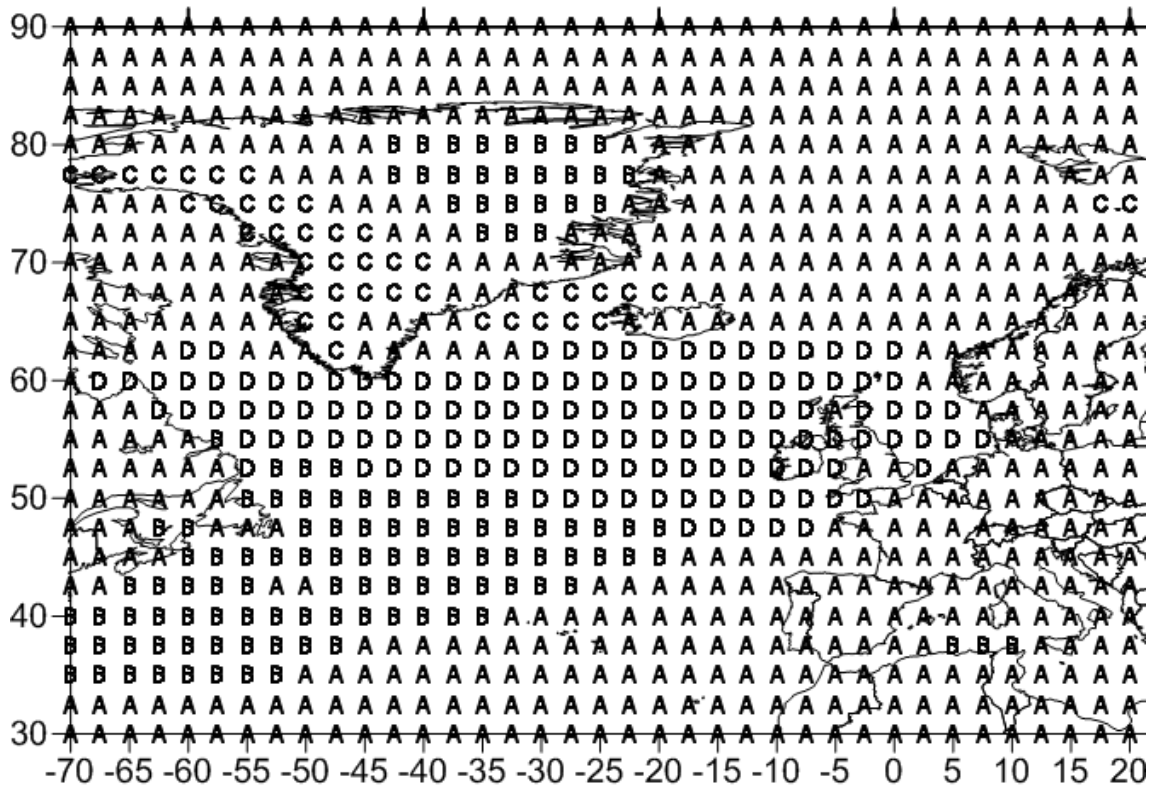


Рисунок 2.18 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень зональної складової швидкості вітру в Північній Атлантиці (грудень)

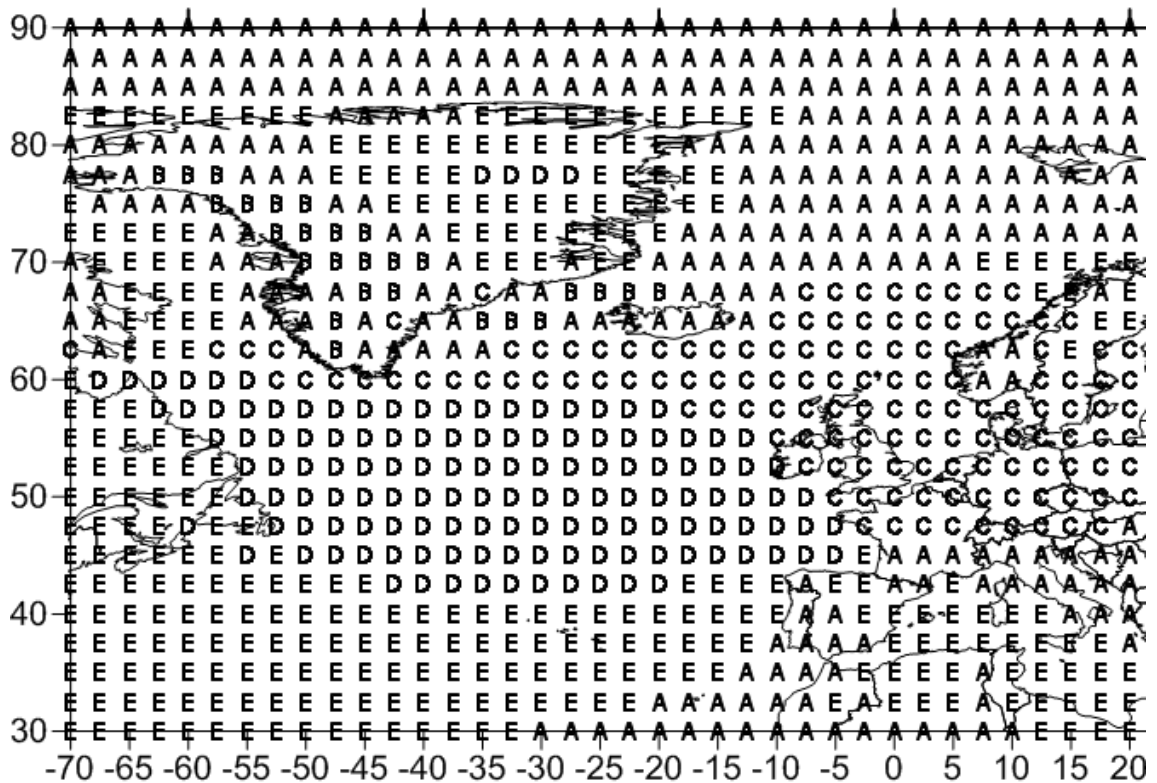


Рисунок 2.19 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень зональної складової швидкості вітру в Північній Атлантиці (січень)

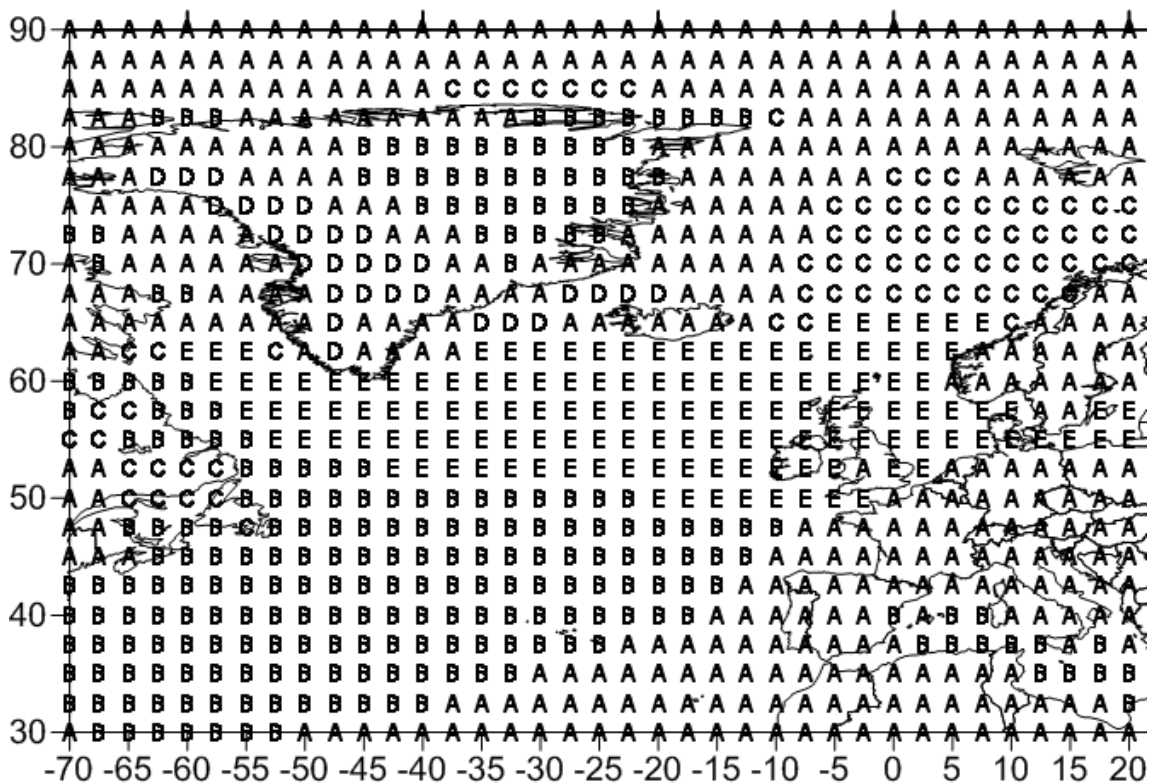


Рисунок 2.20 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень зональної складової швидкості вітру в Північній Атлантиці (лютий)

У таблицях 2.3 – 2.5 представлені основні статистичні характеристики (середні значення і міжрічні внутрішньокластерні дисперсії), що відповідають репрезентативним векторам виділених однорідних районів, стосовно представленим гідрометеорологічним характеристикам.

Таблиця 2.3 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД) ( $K^2$ ) і середні значення (СЗ) (К) компонент репрезентативних векторів у кластерах різниці середньомісячних температур поверхні й повітря на висоті 2 м у Північній Атлантиці (листопад-лютий)

№ п/п	Позначення кластерів	МВкД				СЗ			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	-3.5	0.7	1.0
2	<b>B</b>	0.0	0.5	0.1	0.1	-3.5	4.6	-3.5	-3.4
3	<b>C</b>	0.5	0.5	0.2	0.6	3.6	-6.0	4.4	5.4
4	<b>D</b>	-	0.0	-	-	-	-0.2	-	-
5	<b>E</b>	-	0.0	-	-	-	2.0	-	-

Дані статистичного аналізу отриманих однорідних районів у полі різниці середньомісячних температур поверхні й повітря на висоті 2 м мають істотні відмінності (табл. 2.3), як по величині, так і за знаком. Від’ємні середні значення репрезентативних векторів відповідають "потокам тепла" з атмосфери в океан, додатні, навпаки - з океану в атмосферу. Закономірним є також наявність великих дисперсій для районів з екстремальними значеннями різниці температур. Від’ємні значення поверхневих потоків схованого тепла (табл. 2.4) означають спрямованість їх від поверхні в атмосферу. Від’ємні значення зональної швидкості вітру (табл. 2.5) визначають східне, а додатні – західний напрямок. Мінімальні значення символізують перехід від зональних до переважних меридіональних напрямків.

Таблиця 2.4 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД)  $((\text{Дж}/\text{м}^2)^2)$  і середні значення (СЗ)  $(\text{Дж}/\text{м}^2)$  компонент репрезентативних векторів у кластерах поверхневих потоків схованого тепла в Північній Атлантиці (листопад – лютий)

№ п/п	Позначення кластерів	МВкД ( $\times 10^8$ )				СЗ ( $\times 10^5$ )			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	0.6	2.9	4.5	5.3	-0.4	-1.3	-1.6	-1.6
2	<b>B</b>	6.9	366.3	2.1	80.7	-2.6	-11.2	0.4	-12.6
3	<b>C</b>	259.9	3.5	212.1	501.6	-9.5	0.6	-21.5	-24.3
4	<b>D</b>	1.4	211.7	630.6	3417.6	0.4	-20.6	-11.0	-47.3
5	<b>E</b>	170.8	1763.2	118.4	-	-20.0	-34.4	-8.6	-
6	<b>F</b>	1567.7	5797.6	728.8	-	-35.0	-54.5	-13.8	-
7	<b>G</b>	4517.9	-	4158.4	-	-57.6	-	-44.1	-

Таблиця 2.5 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД)  $((\text{м}/\text{с})^2)$  і середні значення (СЗ)  $(\text{м}/\text{с})$  компонент репрезентативних векторів у кластерах зональної складової швидкості вітру в Північній Атлантиці (листопад – лютий)

№ п/п	Позначення кластерів	МВкД				СЗ			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	0.2	0.3	0.6	0.1	0.4	0.5	-0.8	0.0
2	<b>B</b>	0.5	1.6	1.2	1.6	-2.0	4.5	-4.2	3.6
3	<b>C</b>	1.2	0.8	3.1	3.1	4.0	-3.3	1.3	0.7
4	<b>D</b>	3.7	7.6	7.2	1.5	2.4	3.1	4.3	-3.7
5	<b>E</b>	3.1	-	0.4	9.8	1.5	-	2.3	2.4

Результати розрахунків, отримані при застосуванні алгоритму УІМКД до полів різниці температур поверхня-повітря представлені у вигляді карт-схем (рис. 2.9 – 2.12). На них можна відзначити осередковий характер розподілу однорідних зон даної характеристики, без чітко вираженої зональної або меридіональної спрямованості в усі обрані місяці року. Стабільними у часовому відношенні є кластери, що мають максимальні додатні середні значення репрезентативних векторів і максимальні міжрічні дисперсії (рис. 2.9 – С, рис. 2.10 – В, рис. 2.11 – С, рис. 2.12 – С, табл. 2.3). Вони розташовуються таким образом:

- у західній частині Північної Атлантики уздовж лінії зіткнення холодного Лабрадорської течії разом із течією Кабота й теплої течії Гольфстрім (північна частина Північно-Американської улоговини), у районі моря Лабрадор (зона зіткнення відносно теплої Західно-Гренландської й холодної Лабрадорської течій);

- у північно-східній частині Північної Атлантики: у районі Ісландії - зона зіткнення гілки теплої течії Ірмінгера (північної гілки Північно-Атлантичної течії) і повільної холодної Східно-Гренландської течії, яка несе значну кількість льоду, і в районі циклонічного кругообігу утвореного лівою гілкою Норвезької течії – Шпіцбергенською течією і Ян-Майенською, а далі Східно-Ісландською холодною течіями.

Перша із зазначених однорідних зон, що має контури, які зберігаються у перші три розглянуті місяці, у лютому не має чіткої виразності й розчиняється в найбільшому кластері **A** (рис. 2.12). Просторові розміри другої зони мають тенденцію до зменшення й наприкінці зими (у лютому) мінімальні. Найбільш ймовірно цей факт пов'язаний зі збільшенням заледеніння водної поверхні.

У розглянутому регіоні також чітко виділяються кластери, які визначені границями острова Гренландія (рис. 2.9 – кластер **B**, рис. 2.10 – кластери **A**, **C**, рис. 2.11 – кластер **B**, рис. 2.12 – кластер **B**) з максимальними від'ємними

середніми значеннями репрезентативних векторів. Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії в осінні місяці (для океану листопад, грудень) мають нульові значення, взимку ж спостерігаються незначні відхилення від нульових (табл.2.3), що свідчить про стабільність процесів, які формують різницю температур поверхня-повітря.

Іншу, найбільшу океанську частину розглянутої території Північної Атлантики з невеликими середніми значеннями й дисперсіями займає єдиний кластер, що ділиться на дві частини тільки в грудні (рис. 2.9 – кластер **A**, рис. 2.10 – кластери **E**, **D**, рис. 2.11 – кластер **A**, рис. 2.12 – кластер **A**).

Наступна характеристика, поля якої представлялися кластерному аналізу – *поверхневі потоки схованого тепла*. Тут відповідно до результатів проведеної регіоналізації в усі місяці простежується однорідний район з максимальними від’ємними значеннями репрезентативного вектора й максимальними міжрічними дисперсіями з координатами 32°- 40° півн.ш., 55°- 70° з.д. у листопаді, грудні, лютому й трохи більшими розмірами (32°- 45° півн.ш., 40°- 70° з.д.) північно-східної спрямованості уздовж Північноатлантичної течії, у січні (рис. 2.13 – кластер **G**, рис. 2.14 – кластер **F**, рис. 2.15 – кластер **G**, рис. 2.16 - кластер **D**). Подібна відмінність для січня, як для першого місяця океанської зими, відповідає таким же відмінностям для січня в поле різниці температур і, цілком імовірно, пов’язана з температурними властивостями поверхневої течії, що ще зберігаються, й з надходженням уже більш холодного, ще ненасиченого вологою повітря с континенту.

Наступним самостійним районом у західній частині Північної Атлантики є кластер з від’ємними середніми значеннями, що складають, приблизно, половину від максимальних, і який має меридіональну орієнтацію (рис. 2.13 – кластер **F**, рис. 2.14 – кластер **E**, рис. 2.16 – кластер **C**). Цей кластер характерний для всіх розглянутих місяців, крім січня, де він зливається із самим великим однорідним районом (рис. 2.15 – кластер **G**), а в лютому має другий осередок південніше Ісландії.

Відповідно до таблиці 2.4, дисперсії репрезентативного вектора для цього утворення є приблизно в 3 рази меншими від максимальних для осінніх місяців, і на порядок меншими в лютому.

Цікавим представляється той факт, що в північно-західній частині розглянутої території Північної Атлантики, зонам з максимальними від'ємними значеннями різниці температур відповідають зони поверхневих потоків схованого тепла з істотно меншими, чим на заході від'ємними значеннями (рис. 2.13 – кластери **Е, С, В**, рис. 2.14 – кластери **Д,В**, рис. 2.15 – кластери **С, Д**, рис. 2.16 – кластер **В**). Вектор зниження значень поверхневих потоків схованого тепла спрямований зі сходу на захід. Імовірно, все це пов'язане з надходженням на океанську поверхню більш насиченого вологою повітря в передній частині циклонічних утворень, а також скованістю льодом у цьому регіоні більшої частини поверхні в зимові місяці, і відповідно її меншої здатністю випаровувати.

Підтвердженням першого припущення може бути наявність у цьому районі на картах-схемах кластеризації полів мінімальних додатних значень зональної швидкості вітру, а значить можливий частий перехід до меридіональної складової.

Мінімальні значення, як середніх репрезентативних векторів, так і міжрічної внутрішньокластерної дисперсії розглянутої характеристики пов'язані із крайньою північною, самою холодною частиною Північної Атлантики, включаючи Гренландію (рис. 2.13 – кластери **Д, А**, рис. 2.14 – кластери **С, А**, рис. 2.15 – кластери **Д, А**, рис. 2.16 – кластер **А**).

На рис. 2.17 – 2.20 представлені розподіли *зональної складової швидкості вітру*. У цілому цей розподіл, основу якого складають кластери з додатними значеннями, має переважно зональний характер.

Єдина однорідна зона з від'ємними середніми значеннями репрезентативного вектора (східні вітри), займає західне узбережжя Гренландії (рис. 2.17 – кластер **В**, рис. 2.18 – кластер **С**, рис. 2.19 – кластер **В**, рис. 2.20 –

кластер **D**).

Можна вважати, що вона формується під впливом циклонічної діяльності, особливо активної в зимовий період.

Друга частина цієї зони розташовується між південно-східним краєм острова й північно-західною частиною Ісландії. Північно-східну територію Гренландії охоплює інший кластер, якому відповідають максимальні додатні значення (західні напрямки вітру) (рис. 2.17 – кластер **C**, рис. 2.18 – кластер **B**, рис. 2.19 – кластери **E**, **D**, рис. 2.20 – кластер **B**), і, що більшою мірою пов'язаний з антициклоном, постійно присутнім над центральною частиною льодовикового покриву. Потрібно відзначити сталість даного розподілу протягом усього осінньо-зимового періоду.

Центральну океанську частину розглянутої території займають від двох до трьох однорідних зон (рис. 2.17 – кластери **C**, **D**, **E**, рис. 2.18 – кластери **D**, **B**, рис. 2.19 – кластери **C**, **D**, **E**, рис. 2.20 – кластери **B**, **E**), серед яких виділяється кластер з максимальними додатними значеннями. Він розташовується в листопаді й січні в межах координат  $42^{\circ}$ -  $60^{\circ}$  півн.ш.,  $10^{\circ}$ -  $65^{\circ}$  з.д. (рис. 2.17 – кластер **C**, рис. 2.19 – кластер **D**) і в грудні, лютому –  $30^{\circ}$ -  $54^{\circ}$  півн.ш.,  $10^{\circ}$ -  $70^{\circ}$  з.д. (рис. 2.18 – кластер **B**, рис. 2.20 – кластер **B**).

Необхідно відзначити, що в лютому цей кластер також має максимальну міжрічну дисперсію. Формування цієї однорідної зони можна пояснити посиленням бароклінності на границях взаємодії двох середовищ у межах зіткнення двох глобальних кругообігів Північної Атлантики - океанських північного субтропічного антициклонального і субполярного циклонічного, а також відповідних їм атмосферних утворень - Ісландського мінімуму й Азорського максимуму.

Наступний по максимальних середніх значеннях однорідний регіон, що розташовується північніше (рис. 2.17 – кластер **D**, рис. 2.18 – кластер **D**, рис. 2.19 – кластер **C**, рис. 2.20 – кластер **E**), має строго зональну орієнтацію і протяжність від північних берегів Північноамериканського континенту до



берегів Європи.

Відмінна риса цього регіону - максимальні міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (за винятком лютого), що свідчать про часті переходи вітру до меридіональних напрямків, або малих значень швидкості вітру.

***Кластеризація полів температури повітря й масової частки водяної пари на поверхні 850 гПа.*** Результати проведеної кластеризації полів середньомісячних значень температури повітря й масової частки водяної пари на поверхні 850 гПа наведені на рисунках 2.21 – 2.28. У таблицях 2.6 – 2.7 представлені основні статистичні характеристики (середні значення і міжрічні внутрішньокластерні дисперсії), що відповідають репрезентативним векторам виділених однорідних районів.

Загальна структура полів температури повітря, відповідно до схем (рис. 2.21 – 2.24), представлена різноманіттям однорідних зон, що мають найбільшу довжину в зональному напрямку.

При зіставленні результатів, відображених на рисунках 2.21 – 2.24 із кластеризацією температури повітря на висоті 2 м і температури поверхні за такий же період, описаної раніше, де в кластерах спостерігається порушення цілісності в протяжності над сушею і над водою, на рівні 850 гПа, присутні однойменні однорідні зони, що охоплюють простір над обома поверхнями (наприклад, рис. 2.21 – кластери **Е, G; М**, рис. 2.22 – кластери **D, H, М, I**; рис. 2.23 – кластери **A, C, E, H, K**; рис. 2.24 – кластери **C, E, G, H, I**).

Пов'язано це, як уже вказувалося вище, з впливом на формування температури вільної атмосфери, а саме ослаблення впливу відносно сильно турбулізованого пограничного шару й переважного перемішування в горизонтальному напрямку. З цими процесами, також може бути пов'язаний і факт зменшення кількості однорідних зон з листопада по лютий (відповідно, 15, 14, 13, 10).

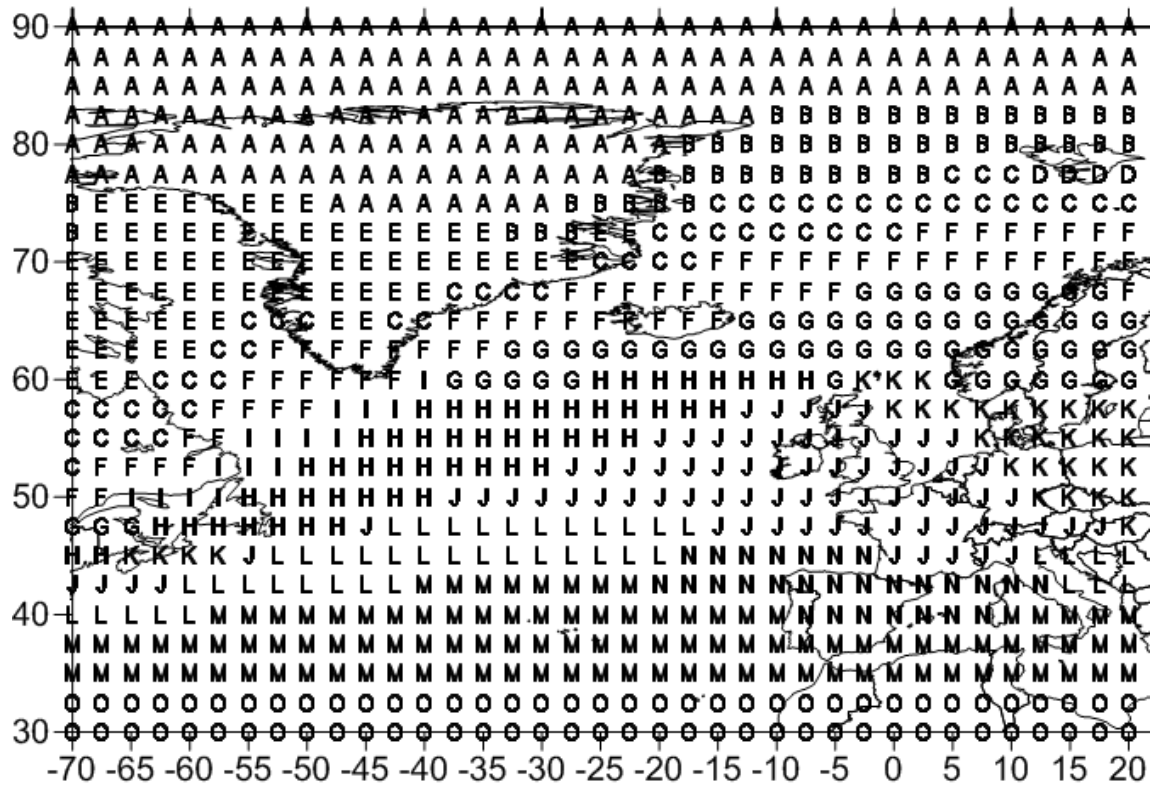


Рисунок 2.21 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (листопад)

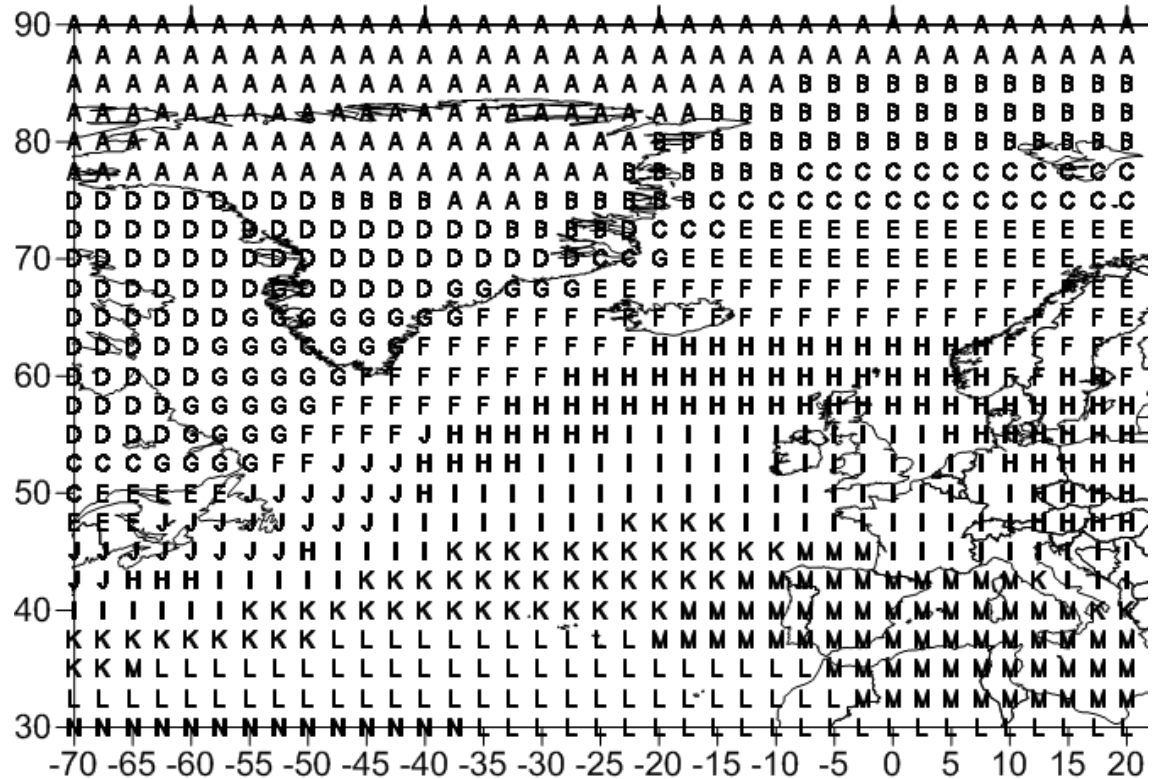


Рисунок 2.22 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (грудень)

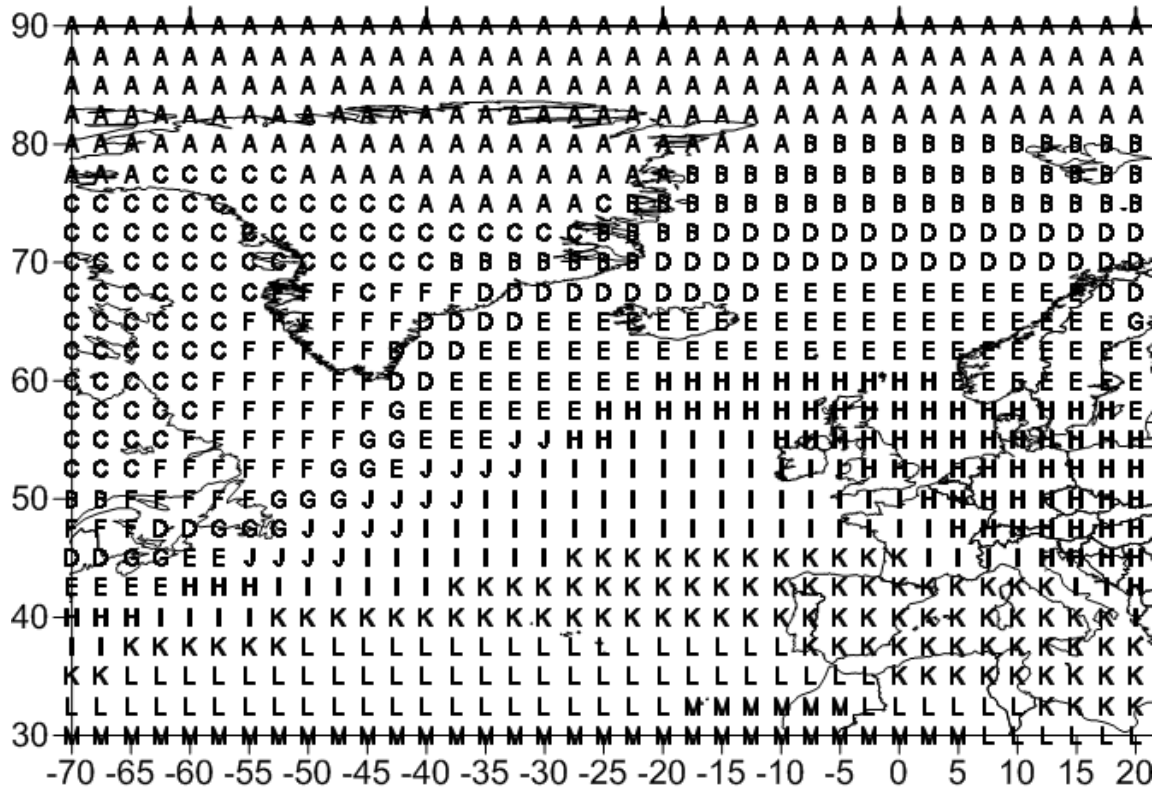


Рисунок 2.23 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (січень)

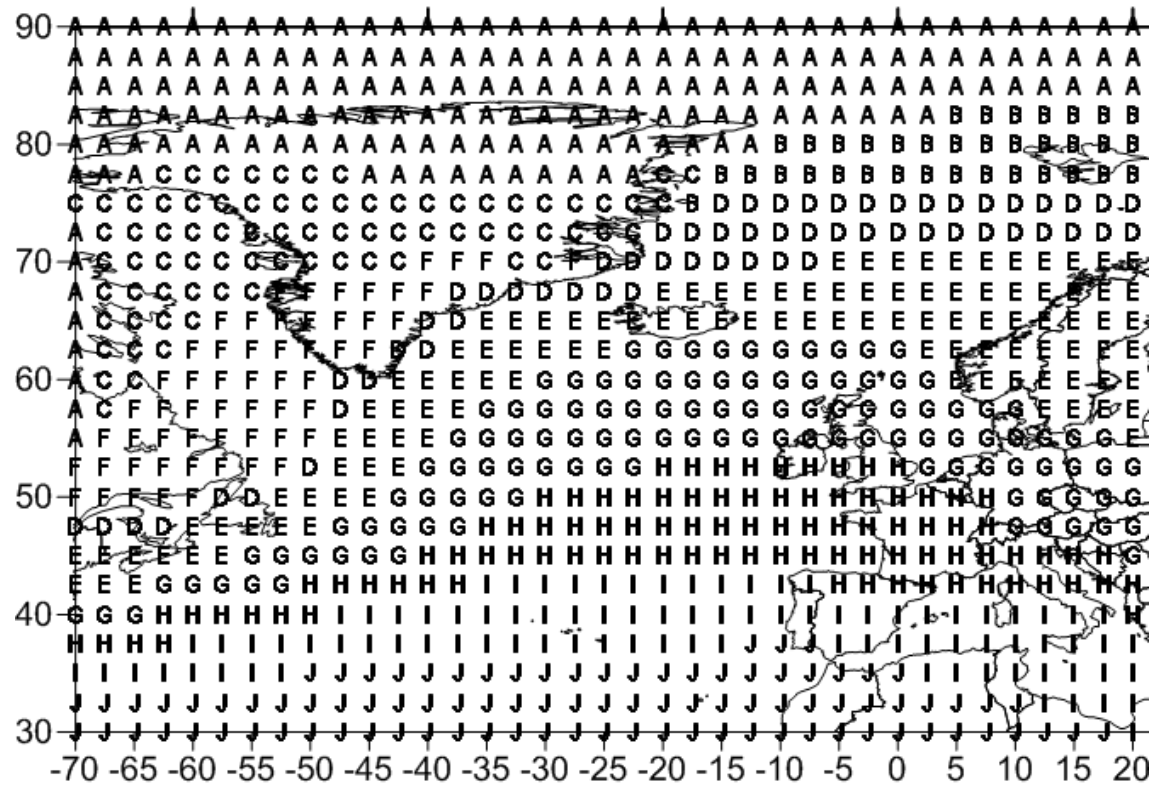


Рисунок 2.24 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (лютий)

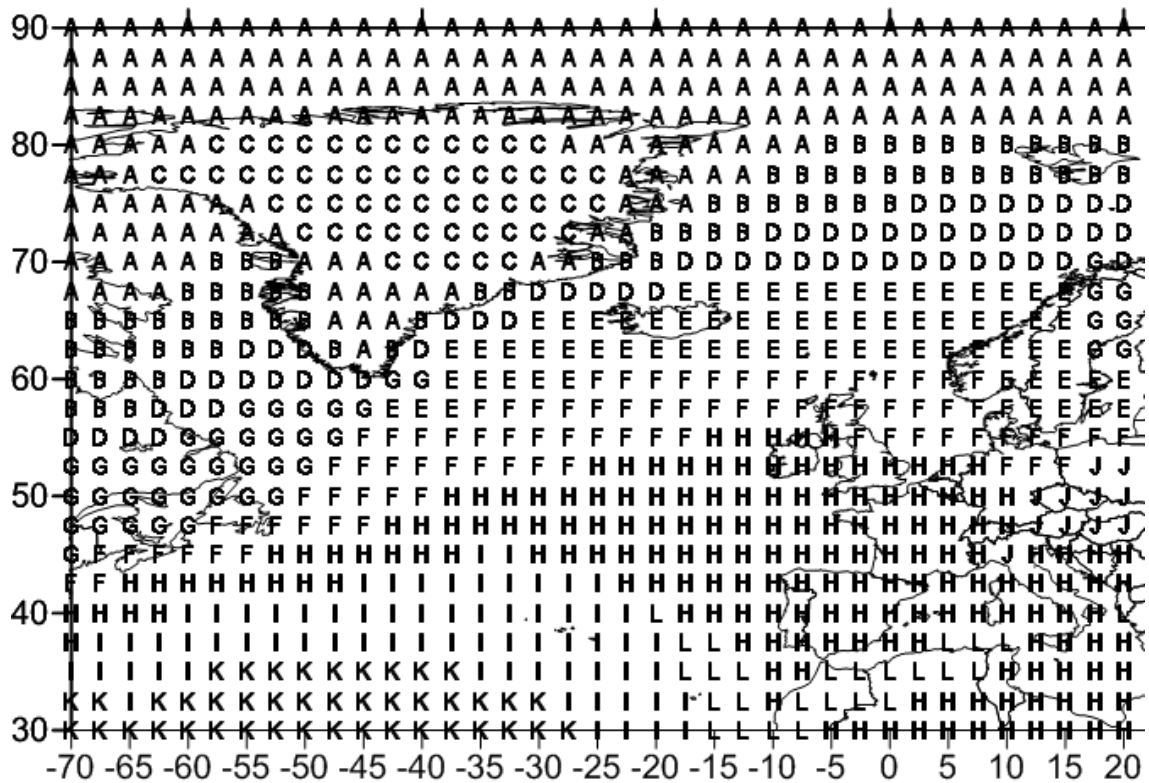


Рисунок 2.25 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (листопад)

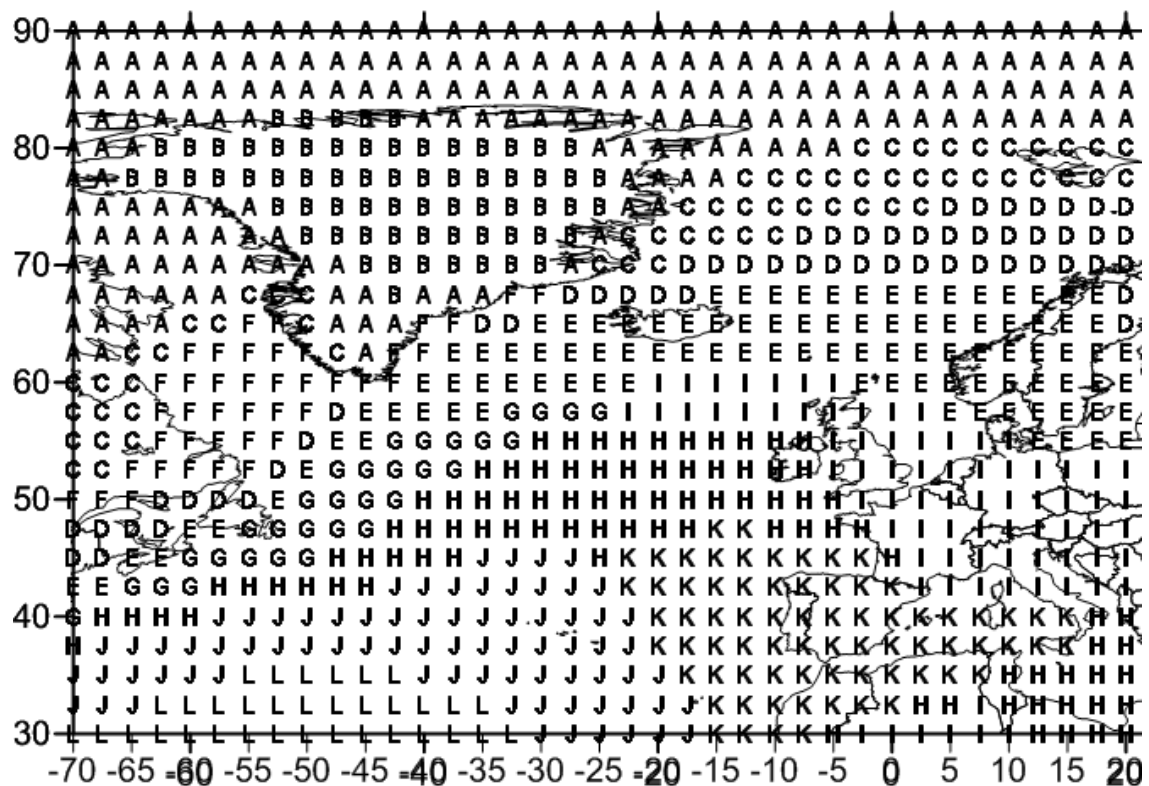


Рисунок 2.26 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (грудень)

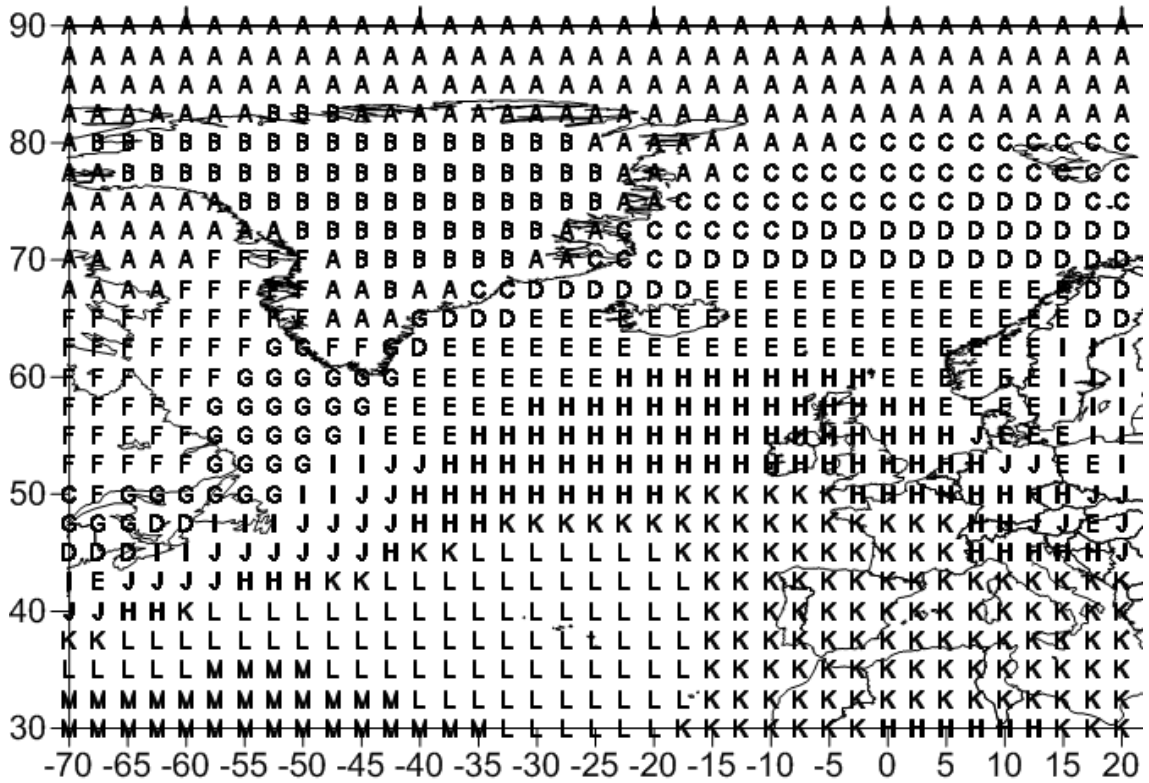


Рисунок 2.27 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (січень)

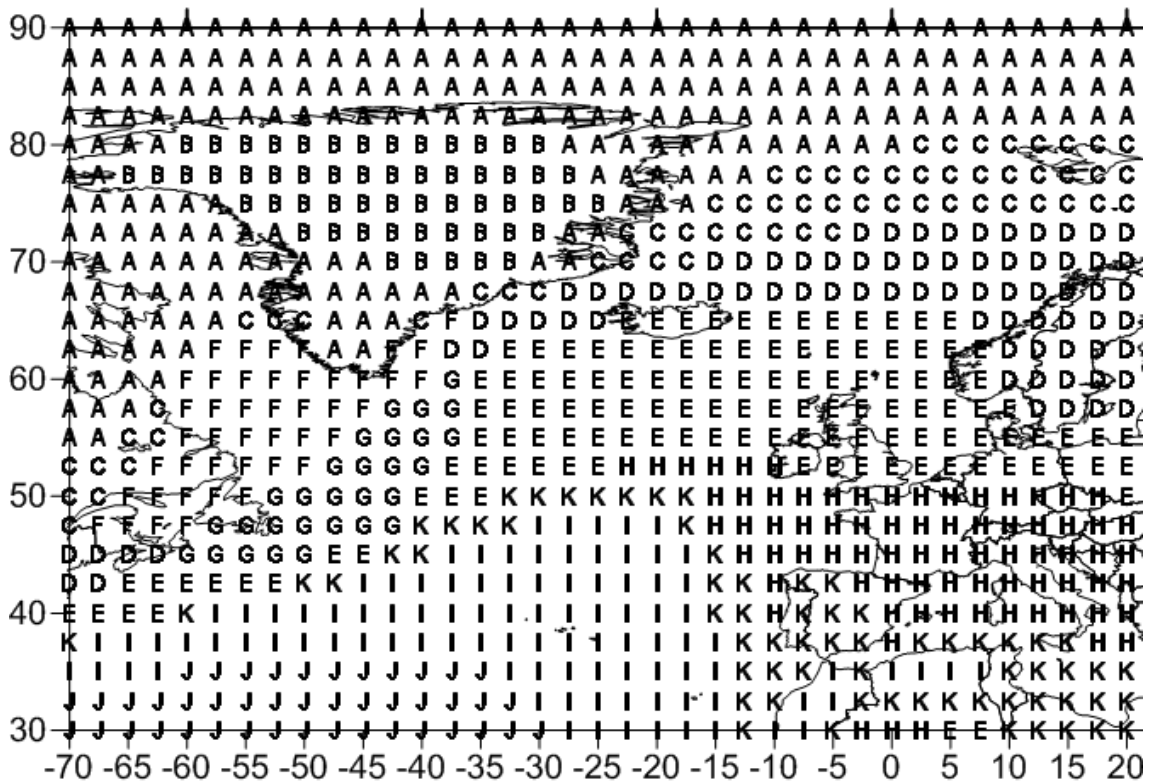


Рисунок 2.28 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 850 гПа, Північна Атлантика (лютий)

Таблиця 2.6 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД) ( $K^2$ ) і середні значення (СЗ) (К) компонент репрезентативних векторів у кластерах температури повітря на поверхні 850 гПа в Північній Атлантиці

(листопад – лютий)

№№ п/п	Позначення кластерів	Внутрикластерные дисперсії				Середні значення			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	3.6	4.3	7.5	4.7	253.0	250.6	250.6	249.8
2	<b>B</b>	5.8	4.8	5.3	5.3	256.2	253.0	256.4	254.6
3	<b>C</b>	2.1	4.9	7.0	9.4	261.5	257.4	253.5	252.4
4	<b>D</b>	6.4	7.7	2.6	2.0	260.6	255.5	261.9	260.1
5	<b>E</b>	4.2	2.7	1.6	1.1	258.2	262.5	266.3	264.6
6	<b>F</b>	1.2	0.9	5.7	9.2	265.0	265.7	259.2	256.9
7	<b>G</b>	1.6	4.7	2.8	0.8	268.5	260.5	263.2	269.1
8	<b>H</b>	1.7	0.5	2.3	0.9	270.6	269.4	269.8	273.1
9	<b>I</b>	3.0	0.4	0.6	0.9	266.8	273.0	272.6	276.8
10	<b>J</b>	0.8	2.9	3.1	0.7	274.1	267.0	268.1	280.4
11	<b>K</b>	2.6	0.7	0.4	-	271.9	276.8	276.2	-
12	<b>L</b>	1.1	0.4	0.4	-	276.5	280.6	279.1	-
13	<b>M</b>	0.3	1.1	0.6	-	280.6	277.8	281.1	-
14	<b>N</b>	1.4	0.74	-	-	278.2	282.7	-	-
15	<b>O</b>	0.4	-	-	-	283.6	-	-	-
16	<b>P</b>	2.2	-	-	-	287.0	-	-	-

Інтерес представляють температурні зони: рис. 2.21 – кластери **E, C**; рис. 2.22 – кластери **D, G**; рис. 2.23 – кластери **C, F**; рис. 2.24 – кластери **C, F**.

Західні частини їх розташовуються над територією моря Баффіна, що взимку покрито плавучими льодами, і моря Лабрадор, а східні простираються над територією центральної й південної Гренландії, де постійно є присутнім антициклональна циркуляція повітря.

Таблиця 2.7 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД) ((кг/кг)<sup>2</sup>) і середні значення (СЗ) (кг/кг) компонент репрезентативних векторів у кластерах масової частки водяної пари на поверхні 850 гПа в Північній Атлантиці (листопад – лютий)

№№ п/п	Позначення кластерів	МВкД ( $\times 10^{-8}$ )				СЗ ( $\times 10^{-3}$ )			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	1.2	0.7	1.7	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5
2	<b>B</b>	2.4	0.8	0.9	0.9	1.2	0.3	0.3	0.2
3	<b>C</b>	0.9	2.8	5.2	2.6	0.3	1.0	1.0	1.0
4	<b>D</b>	3.3	3.6	3.6	5.9	1.8	1.6	1.5	1.7
5	<b>E</b>	6.0	2.7	5.3	3.1	2.5	2.2	2.2	2.5
6	<b>F</b>	3.7	5.3	5.2	5.9	3.1	1.3	0.8	1.4
7	<b>G</b>	5.6	7.7	5.9	8.6	2.3	2.6	1.4	2.1
8	<b>H</b>	3.0	2.5	1.9	10.7	4.1	3.6	2.9	2.9
9	<b>I</b>	6.8	5.1	5.1	5.4	5.6	3.0	1.9	4.1
10	<b>J</b>	16.2	3.5	4.5	10.2	3.5	5.0	2.4	5.4
11	<b>K</b>	7.9	16.3	8.6	5.4	6.9	4.0	3.4	3.4
12	<b>L</b>	17.6	8.1	4.2	-	4.7	6.2	4.6	-
13	<b>M</b>	-	-	9.3	-	-	-	5.7	-

Над цією областю Північної Атлантики в грудні – лютому спостерігається максимальна мінливість температури повітря (табл. 2.6), тільки

в листопаді максимум дисперсії зміщується в район острова Шпіцберген. Цілкові імовірно це пов'язане з циклогенезом, що підсилюється у зимовий період.

Так само як і в розподілі полів температур у поверхні, що підстилає, де лінії конвергенції й дивергенції в зональній спрямованості кластерів нескладно виявити в усі розглянуті місяці на поверхні 850 гПа спостерігається звуження однорідних зон (рис.2.21 – кластери **I, H, L, J**; рис. 2.22 – кластери – **F, H, I, J**; рис. 2.24 – кластери – **I, G, J, E**; рис. 2 – кластери **D, E, G, H**) у районі Ньюфаундлендської банки, а саме, збільшення меридіонального градієнта. Цей район, відповідно до досліджень [37], є однієї з відомих енергоактивних зон Північної Атлантики, що знаходиться на стику Лабрадорської холодної течії й північної границі течії Гольфстрім. Можна зробити висновок про інтенсивну взаємодію тут нижчих шарів повітря й шарів на 850 гПа. Процес взаємодії забезпечується значними потоками тепла й вологи в атмосферу за рахунок холодного повітря, що надходить з материка на теплу океанську поверхню.

Ще одна енергоактивна зона – Норвежсько-Гренландська (частіше її представляють двома осередками: один у східних берегів Гренландії, другий – у берегів Скандинавії [37]) не має особливих проявів у полях температури розглянутої ізобаричної поверхні. Протягом холодного періоду тут присутні чотири в листопаді-грудні (рис. 2.21 – кластери – **B, C, F, G**; рис. 2.22 – кластери – **B, C, F, E**) і три в січні-лютому (рис. 2.23 – кластери – **B, D, E**; рис. 2.24 – кластери **B, D, E**) зонально-орієнтовані однорідні зони, які, практично, не міняють свою конфігурацію в часі. У листопаді – грудні в кластерах **B, D** (рис. 2.21) і **B, C** (рис. 2.22) відзначається максимальна мінливість температури повітря. У даний перехідний місяць на взаємодію між шарами, імовірно, впливають дрейфуючі льоди, що перешкоджають потокам тепла. Надалі, по мірі настання зими, лід сковує поверхню води північної половини Гренландського моря й кластери **D** (рис. 2.21) і **C** (рис. 2.22) утворюють єдине ціле з більш глобальним кластером **B** (рис. 2.23 – 2.24), для



якого значення міжрічної дисперсії температури зменшується.

На рисунках так само добре простежується зв'язок з основними теплими течіями, наприклад, Північноатлантичної – Норвезької: її центральною частиною й лівою гілкою (течія Ірмінгера) (рис. 2.21 – кластери – західна зона **L, H, G, K**; рис. 2.22 – кластери **J, F, H**; рис. 2.23 – кластери **J, E, H**; рис. 2.24 – кластери **E, G**) і правою гілкою (рис. 2.21 – кластери – східна зона **L, J, N**; рис. 2.22 – кластери **I, K**; рис. 2.23 – кластери **I, K**; рис. 2.24 – кластери **H, I**). Тепло, що переносять води цього загального потоку на північний схід, є одним з факторів, що забезпечують формування середньої температури шару від водної поверхні до висоти поверхні 850 гПа, у холодний час. При цьому, Португальському і Канарському, відносно холодним течіям, на поверхні 850 гПа не можна явно зіставити будь-який з кластерів у полях температури, за винятком кластера **M** у грудні (рис. 2.22), де значення розглянутої характеристики можуть бути пов'язані із процесами взаємодії атмосфери із цими водними потоками.

Відповідно до конфігурації і значенням температури (табл. 2.6) об'єднана зона (рис. 2.21 – кластери – **L, N, M, O**, рис. 2.22 – кластери **K, M, L**; рис. 2.23 – кластери **K, M, L**; рис. 2.24 – кластери **I, J**) більше відповідає океанському субтропічному антициклональному кругообігу (Азорському антициклону в атмосфері, який характеризується слабкою інтенсивністю в зимовий період), а кластери **J** – рис. 2.21, **I** – рис. 2.22, **I** – рис. 2.23 і **H** – рис. 2.24, зоні додатної дивергенції, тобто розбіжності між антициклональним і циклональним кругообігами (субполярними й субтропічним), або ж атмосферними центрами дії (Азорським максимумом і Ісландським мінімумом, останній найбільш інтенсивний у зимовий період). Поширення зазначених кластерів над територією суші пов'язано зі слабкими зональними градієнтами температури і перевагою внеску горизонтального перемішування повітря на рівні 850 гПа над вертикальними турбулентними потоками, що забезпечують надходження тепла від нижчих шарів.

Розподіл середніх значень репрезентативних векторів відповідає широтному розподілу сонячної радіації, що надходить, тобто має місце меридіональний градієнт (значення в південних кластерах вище, ніж у північних).

Границя переходу від додатних значень до від'ємних (своєрідна нульова ізотерма) протягом усього періоду не міняється і має місце в океанській частині кластерів, що розташовуються в межах  $37^{\circ} - 55^{\circ}$  півн.ш. (рис. 2.21 – кластери **H, J, L**; рис. 2.22 – кластери **I, K**; рис. 2.23 – кластери **I, K**; рис. 2.24 – кластери **H, I**), з південно-заходу на північний схід. У діапазоні цих широт також знаходиться лінія розділу між зонами дії Ісландського мінімуму й Азорського максимуму.

Як уже вказувалося - максимальні міжрічні внутрішньокластерні дисперсії температури мають відношення до кластерів, що розташовується над центральною Гренландією і над скованої льодом поверхнею моря Баффіна і морем Лабрадор. Над відкритою океанською поверхнею дисперсії відносно незначні, що свідчить про малу часову мінливість процесів (зокрема, потоків схованого і явного тепла), що формують поля температури повітря.

Кластеризація *масової частки водяної пари* на поверхні 850 гПа (рис. 2.25 – 2.28), має багато загального із кластеризацією температури повітря на цій же поверхні, наприклад:

- є присутнім зв'язок з океанськими течіями: Північноатлантичною – Норвезькою: його центральною частиною й лівою гілкою (течія Ірмінгера) (рис. 2.25 – кластери – західна зона **H, E, F**; рис. 2.26 – кластери **E, G, I, H**; рис. 2.27 – кластери **J, E, H**; рис. 2.28 – кластери **E, G, D**) і правої (рис. 2.25 – кластери **H, I**; рис. 2.26 – кластери **J, K**; рис. 2.27 – кластери **L, K**; рис. 2.28 – кластери **K, H, I**) гілкою;

- наявність ідентичності в кластеризації двох характеристик у північно-східній частині Північної Атлантики, вираженої в розташуванні і спрямованості однорідних зон. Географічно на схемах вона представлена холодним

Гренландським (рис. 2.25 – кластер – **B**, рис. 2.26 – кластер **C**; рис. 2.27 – кластер **C**; рис. 2.28 – кластер **C**) і більш теплим Норвезьким морем (рис. 2.25 – кластери – **D**, східна частина **E**; рис. 2.26 – кластери **D**, східна частина **E**; рис. 2.27 – кластери **D**, східна частина **E**; рис. 2.28 – кластери **D**, північно-східна частина **E**);

– згідно табл.2.7, репрезентативні вектори представлених кластерів мають практично незмінні у часі середні значення, що зменшуються в північному напрямку від відкритої морської поверхні до поверхні насиченій льодами, що відповідає широтному розподілу сонячної радіації, що надходить. Відмінність полягає тільки в розподілі міжрічних дисперсій (табл.2.6, 2.7): у масової частки водяної пари збільшення з півночі на південь, а в температури повітря навпаки. Значна міжрічна мінливість в однорідних зонах масової частки водяної пари **E** (рис.2.25) і **D** (рис.2.28) пояснюється розташуванням їх на шляху переміщення циклонів, кількість і інтенсивність яких, не є постійними величинами;

– у районі Ньюфаундлендської енергоактивної зони спостерігається збільшення меридіонального градієнта масової частки водяної пари, що свідчить про інтенсифікації процесів, що формують розглянуту характеристику.

У той же час у кластеризації масової частки водяної пари присутні й деякі особливості:

– по-перше, кількість однорідних зон по місяцях більш стабільна (табл. 2.7), тобто постійно присутні умови, що підтримують різноманітність однорідних зон у межах 11 – 12. Формування полів вологості на розглянутій висоті багато в чому залежить від процесів у приповерхньому шарі, а саме випаровування вологи з поверхні, що підстилає, приводить до зменшення питомої ваги об'єму приповерхнього повітря і, відповідно, у результаті дії сили плавучості, збільшенню кількості вологого повітря, що надходить на більші висоти. Іншою причиною є формування кластерів у залежності від положення траєкторій переміщення циклонічних утворень, де в їх теплого секторі під дією

південних вітрів здійснюється перенос більше насиченого вологою повітря;

– по-друге, в усі місяці більшу частину Гренландії займає кластер, що не поширюється на водну поверхню (рис. 2.25 – кластер **С**; рис. 2.26 – кластер **В**; рис. 2.27 – кластер **В**; рис. 2.28 – кластер **В**) і, практично, що не змінює свою конфігурацію протягом розглянутого періоду. Цей кластер масової частки водяної пари формується під впливом постійної антициклональної діяльності над островом, відсутністю значних потоків вологи з покритої льодом і снігом поверхні, а також характеризується найменшим середнім значенням репрезентативного вектора і значенням міжрічної дисперсії (табл. 2.7). Південь Гренландії виділяється в окрему область (рис. 2.25 – кластери **А, В**; рис. 2.26 – кластери **А, С**; рис. 2.27 – кластери **А, С, F**; рис. 2.28 – кластери **А, С**), що знаходиться під впливом циклонічної діяльності. Наявність у прибережній зоні низьких значень масової частки водяної пари визначається випаданням великої кількості опадів і, відповідно, відносним зневоднюванням повітря на поверхні, яка розглядається ;

– по-третє, у південній частині Північної Атлантики протягом холодного періоду більш чітко проявляється гребінь максимальних значень масової частки водяної пари з добре вираженою віссю (рис. 2.25 – кластери **І, К, L**; рис. 2.26 – кластери **L, J**; рис. 2.27 – кластери **M, L**; рис. 2.28 – кластери **J, I**);

– по-четверте, кластер **Н** – рис. 2.25, що знаходиться в зоні додатної дивергенції, тобто зоні розбіжності між антициклональним і циклональним кругообігами (субполярними й субтропічним), або ж атмосферними центрами дії (Азорським максимумом і Ісландським мінімумом), протягом зимових місяців втрачає самостійні обриси. У січні – лютому він уже представлений трьома кластерами: **Н, К, L** (рис. 2.27); **Н, К** і частково **І** (рис. 2.28). У зимових місяцях в однорідних зонах **К** (рис. 2.26) **К** (рис. 2.27) і **Н** (рис. 2.28) спостерігаються максимальні міжрічні дисперсії вологості. Беручи до уваги вищевказані процеси, що сприяють формуванню полів вологості на висотах нижньої тропосфери, можна припустити, що цей факт пов'язаний з міжрічними

варіаціями деформації полів тиску, що приводять до відмінностях у вітрових режимах.

**Кластеризація полів температури повітря й масової частки водяної пари на поверхні 700 гПа.** Результати проведеної кластеризації полів середньомісячних значень температури повітря й масової частки водяної пари на рівні 700 гПа наведені на рисунках 2.29 – 2.36. У таблицях 2.8, 2.9 представлені основні статистичні характеристики (середні значення і міжрічні внутрішньокластерні дисперсії), що відповідають репрезентативним векторам виділених однорідних районів.

Загальна структура однорідних зон у полях *температури повітря* на поверхні 700 гПа (рис. 2.29 – 2.32), відповідно до представлених схем, в основному, має широтну спрямованість, з меридіональною протяжністю, що не є однаковою (наприклад, кластер **Е** рис.2.29 – у західній частині має меридіональну довжину більше, ніж на сході).

На відміну від раніше здійсненої кластеризації температури повітря на висоті 2 м і температури поверхні, що підстилає, де порушується єдина протяжність кластерів над сушею й над водою, на рівні 700 так само як і на поверхні 850 гПа, спостерігаються однойменні однорідні зони, що охоплюють обидві поверхні (рис. 2.29 – кластери **Е, В, G, N, I**; рис. 2.30 – кластери **А, Е, G, I, М**; рис. 2.31 – кластери **Е, G, I, К, F**; рис. 2.32 – кластери **С, Е, G, J, D**). Така особливість у розташуванні кластерів на поверхнях у вільній атмосфері є наслідком переваги горизонтальної турбулентності над вертикальною, обумовленої процесами, що виникають у результаті взаємодії повітря з поверхнею, що підстилає. Це ж сприяє й зменшенню кількості однорідних зон з листопада по лютий (відповідно, 18, 14, 12, 11). Присутня в осінньому місяці над центром Гренландії однорідна зона (рис. 2.29 – кластер **С**) зберігається й протягом усього зимового періоду (рис. 2.30 – кластер **В**; рис. 2.31 – кластер **В**; рис. 2.32 – кластер **В**). По географічному положенню це місце є одним із центрів холоду й характеризується активною антициклональною діяльністю, найнижчими середніми значеннями репрезентативних векторів і найбільшими міжрічними дисперсіями (табл.2.9).

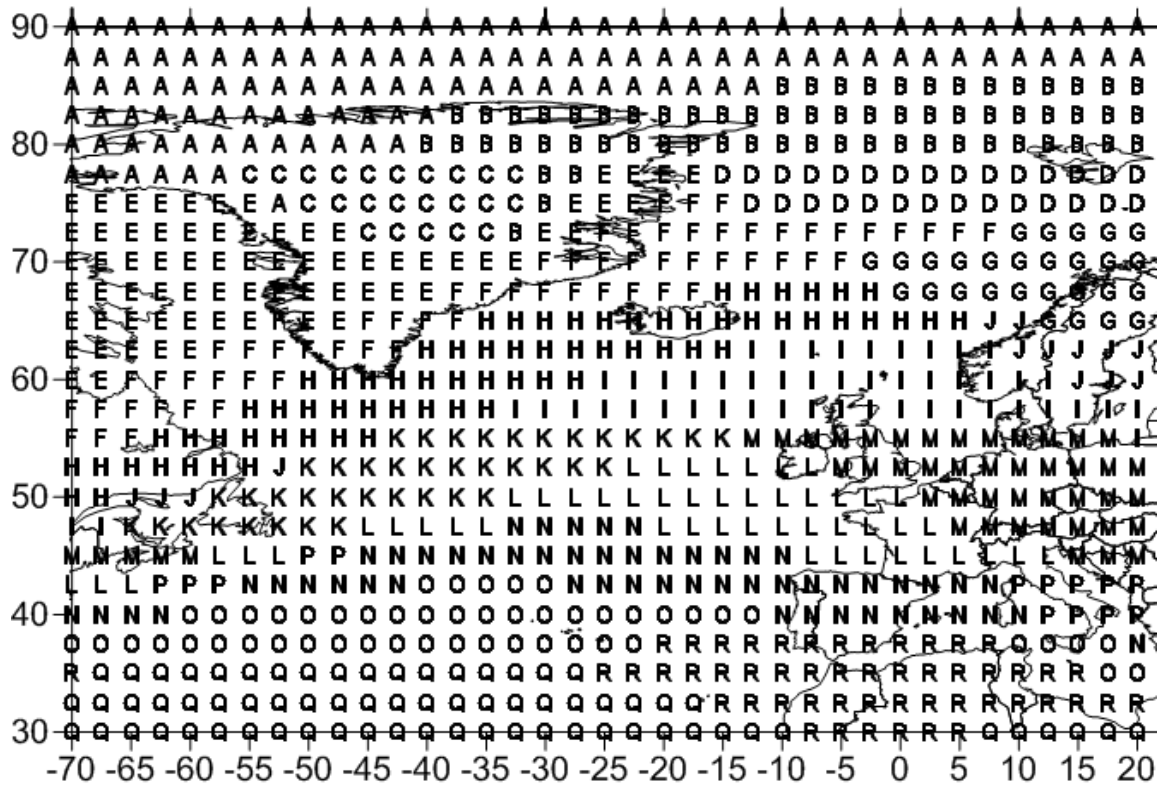


Рисунок 2.29 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (листопад)

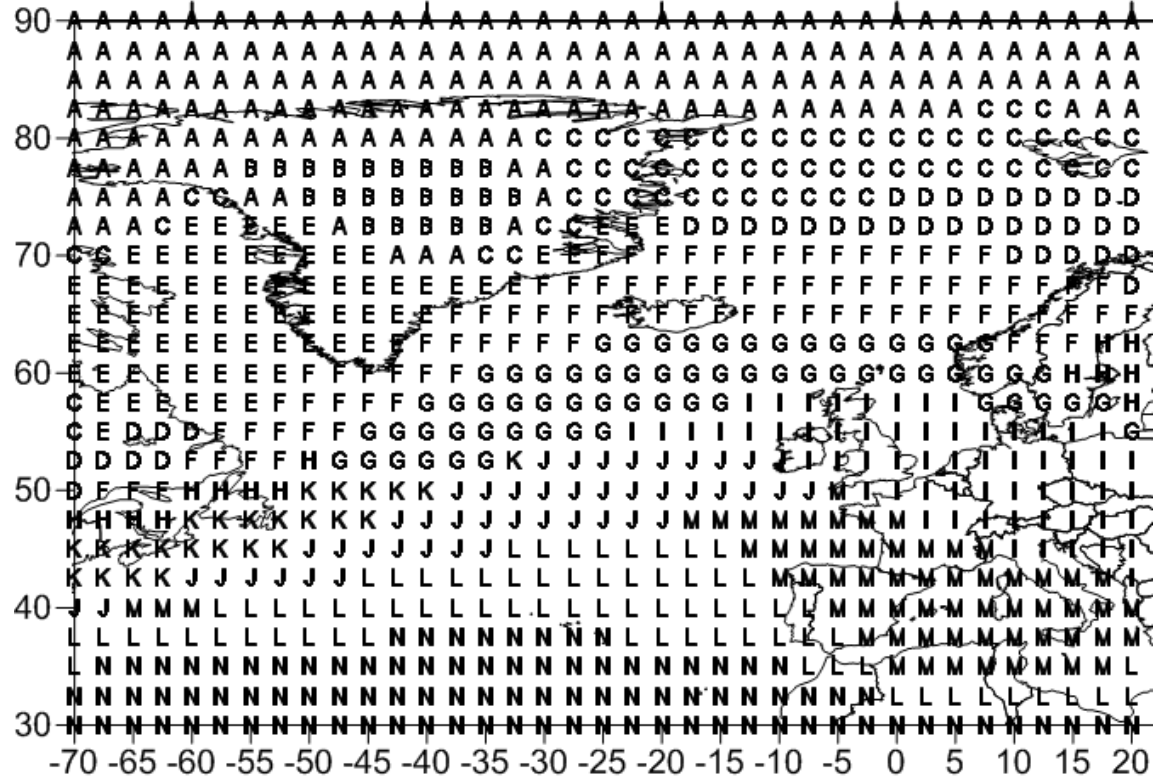


Рисунок 2.30 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (грудень)

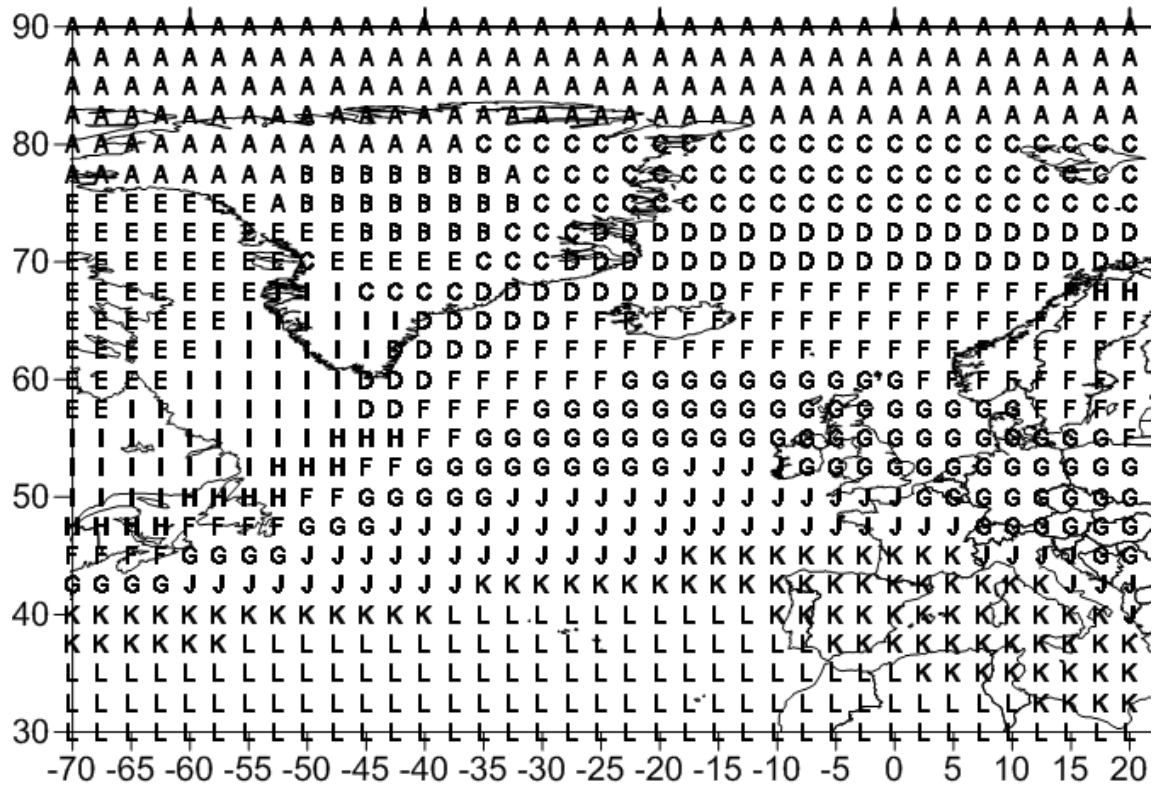


Рисунок 2.31 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (січень)

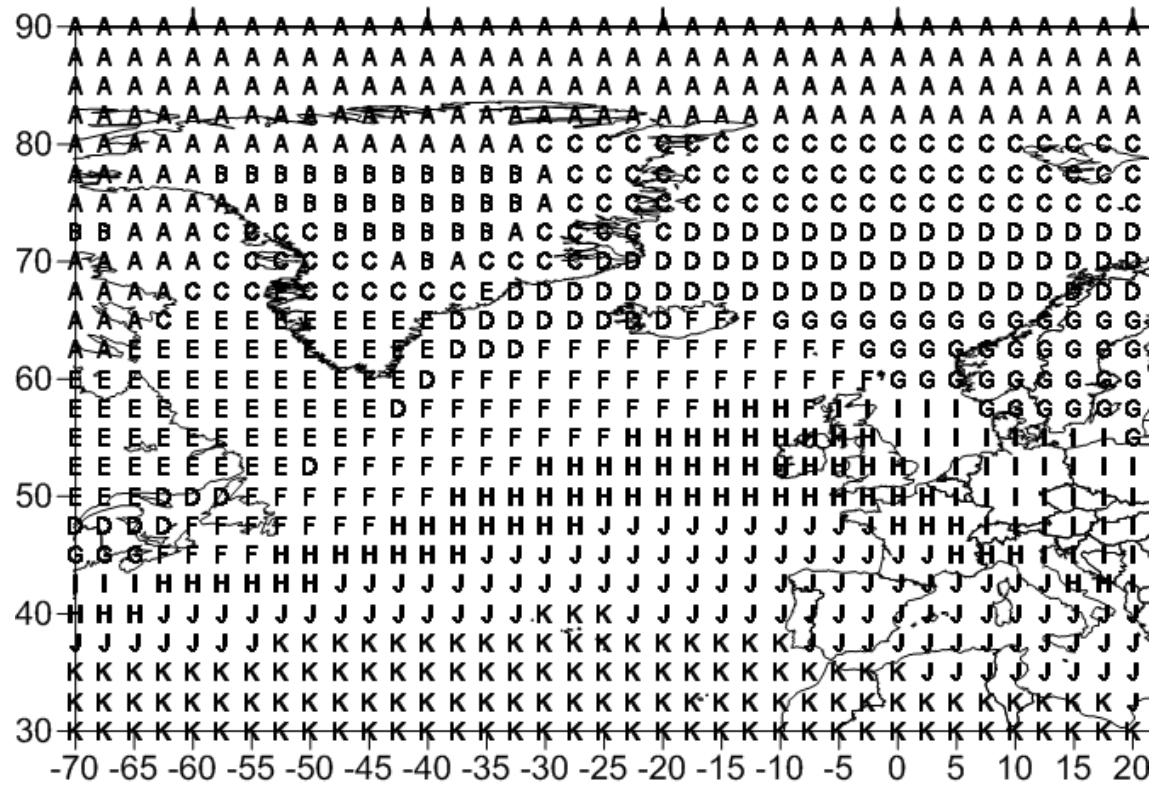


Рисунок 2.32 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень температури повітря, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (лютий)

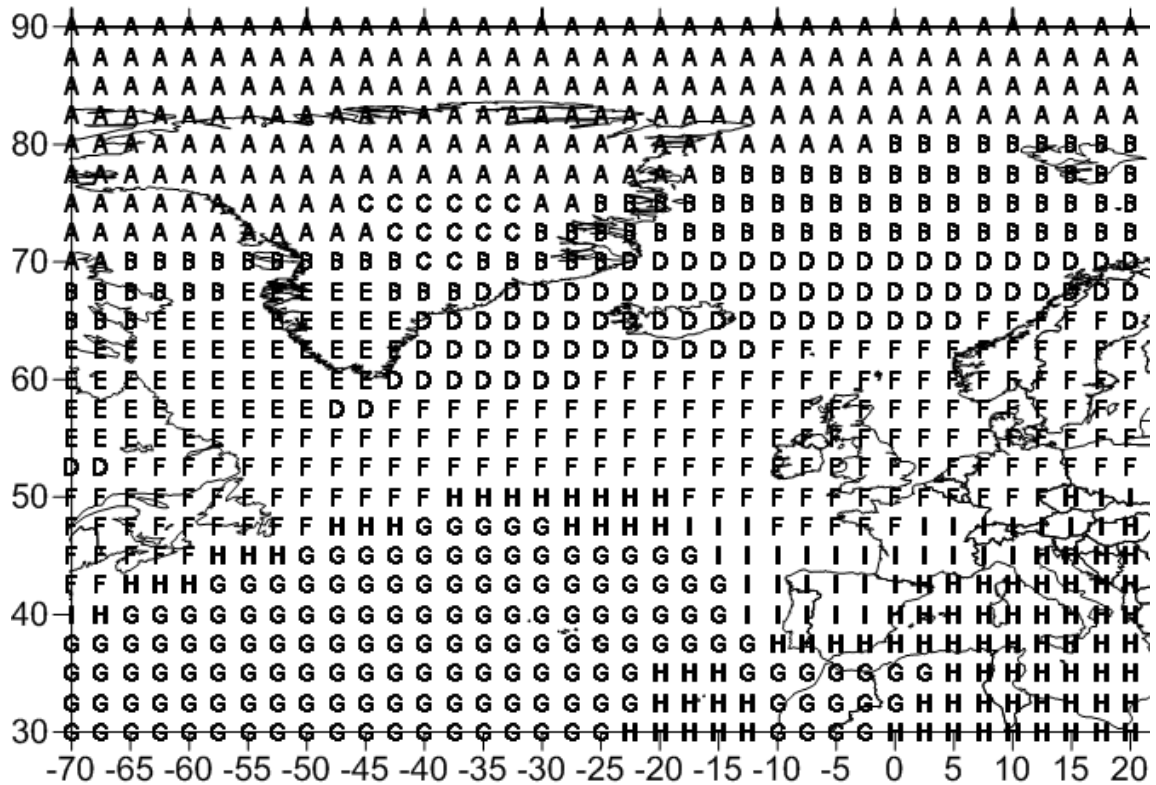


Рисунок 2.33 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (листопад)

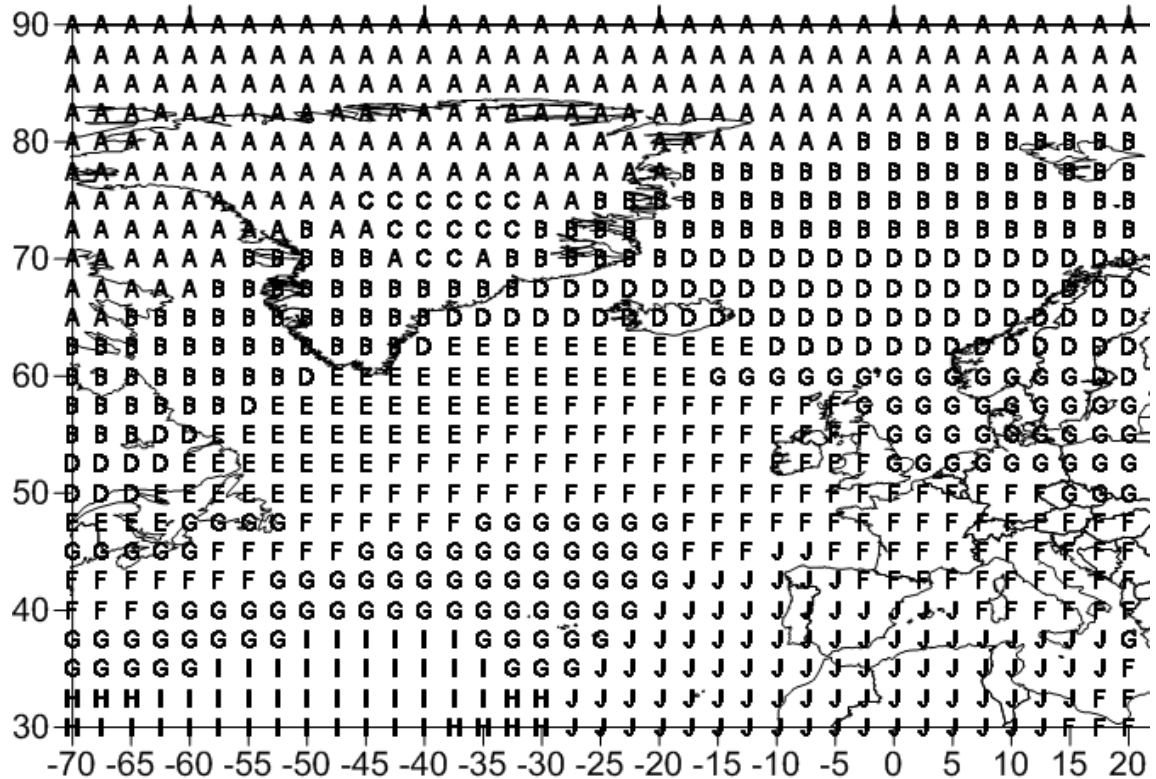


Рисунок 2.34 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (грудень)



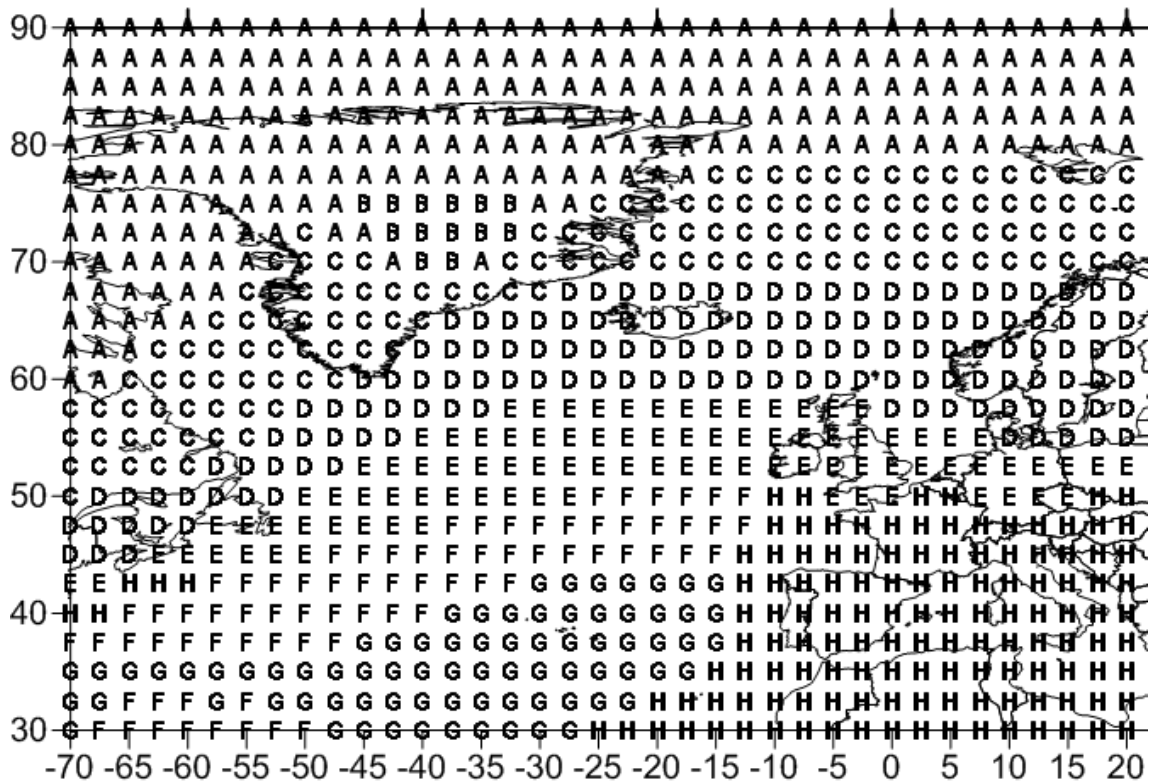


Рисунок 2.35 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (січень)

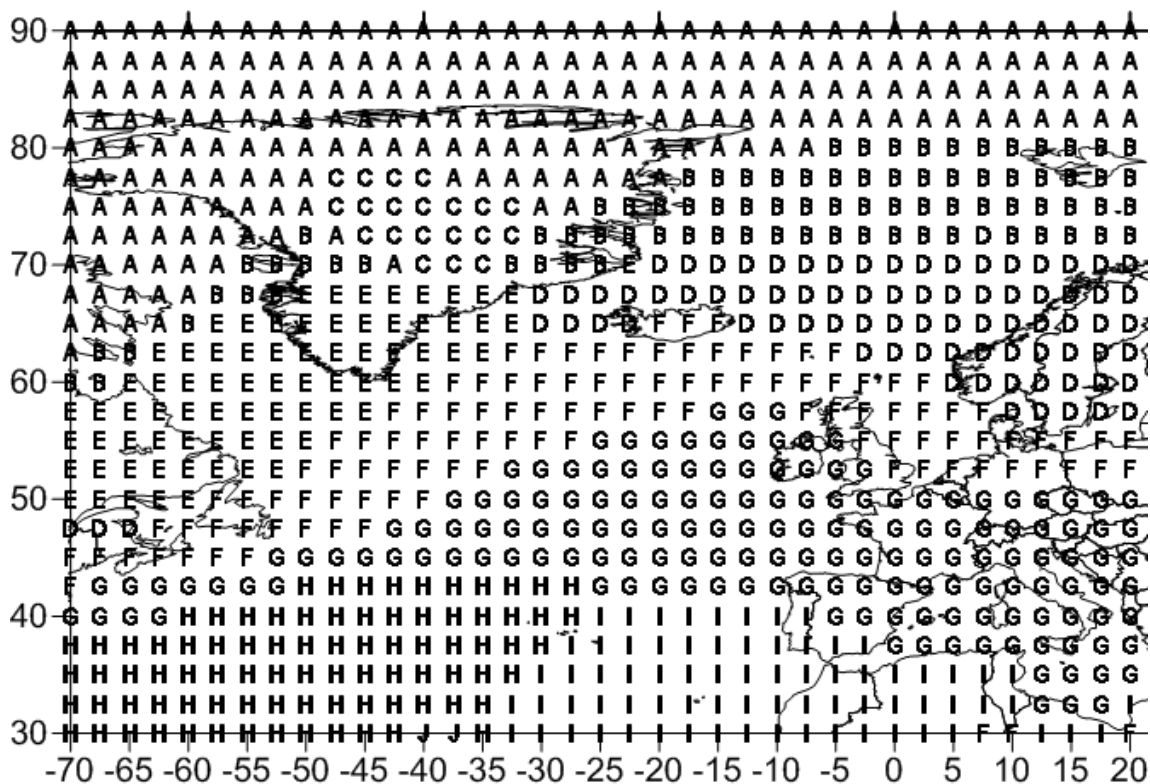


Рисунок 2.36 – Просторовий розподіл кластерів середньомісячних значень масової частки водяної пари, поверхня 700 гПа, Північна Атлантика (лютий)

Таблиця 2.8 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД) ( $K^2$ ) і середні значення (СЗ) (К) компонент репрезентативних векторів у кластерах температури повітря на поверхні 700 гПа в Північній Атлантиці

(листопад – лютий)

№№ п/п	Позначення кластерів	МВкД				СЗ			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	3.5	2.9	6.0	3.6	247.7	246.3	245.9	245.7
2	<b>B</b>	4.9	8.5	6.7	8.4	249.8	244.1	243.9	244.0
3	<b>C</b>	6.4	3.2	4.5	2.5	246.2	249.7	249.7	250.0
4	<b>D</b>	5.8	4.0	4.2	1.6	253.6	253.8	254.4	254.9
5	<b>E</b>	4.2	6.4	6.3	9.2	251.7	251.4	248.2	251.7
6	<b>F</b>	3.0	2.1	2.0	2.8	256.0	256.8	258.5	259.7
7	<b>G</b>	4.4	2.1	0.8	2.6	257.9	260.8	262.1	258.2
8	<b>H</b>	2.8	2.5	2.2	1.0	259.8	258.9	256.0	264.2
9	<b>I</b>	2.2	1.3	4.1	2.2	263.0	264.2	252.1	262.0
10	<b>J</b>	3.6	1.6	0.8	0.7	261.6	266.4	265.7	268.0
11	<b>K</b>	2.7	2.5	0.5	0.5	264.9	262.7	268.5	272.5
12	<b>L</b>	1.0	0.6	0.5	-	268.2	270.9	272.7	-
13	<b>M</b>	1.6	0.7	-	-	266.0	268.6	-	-
14	<b>N</b>	0.5	0.6	-	-	271.0	274.5	-	-
15	<b>O</b>	0.3	-	-	-	273.4	-	-	-
16	<b>P</b>	1.4	-	-	-	269.5	-	-	-
17	<b>Q</b>	0.3	-	-	-	276.7	-	-	-
18	<b>R</b>	0.8	-	-	-	274.2	-	-	-

Таблиця 2.9 – Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії (МВкД)  $((\text{кг}/\text{кг})^2)$  і середні значення (СЗ)  $(\text{кг}/\text{кг})$  компонент репрезентативних векторів у кластерах масової частки водяної пари на поверхні 700 гПа в Північній Атлантиці (листопад – лютий)

№№ п/п	Позначення кластерів	МВкД ( $\times 10^{-8}$ )				СЗ ( $\times 10^{-3}$ )			
		листопад	грудень	січень	лютий	листопад	грудень	січень	лютий
1	<b>A</b>	0.5	0.3	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3
2	<b>B</b>	1.4	0.7	1.2	0.8	0.7	0.6	0.3	0.5
3	<b>C</b>	1.4	1.0	0.9	1.2	0.3	0.2	0.6	0.3
4	<b>D</b>	2.1	1.3	0.8	1.6	1.2	1.0	1.0	0.9
5	<b>E</b>	2.5	3.0	1.3	2.9	1.0	1.1	1.3	0.7
6	<b>F</b>	1.4	1.5	2.1	1.3	1.6	1.7	1.9	1.2
7	<b>G</b>	3.3	1.9	5.9	2.1	2.4	1.3	2.0	1.6
8	<b>H</b>	3.5	1.7	3.9	3.6	2.1	2.1	1.6	2.0
9	<b>I</b>	4.0	6.9	-	8.2	2.0	2.4	-	1.7
10	<b>J</b>	20.0	7.8	-	7.7	2.8	1.8	-	1.9

Східна частина Гренландії в листопаді представлена трьома кластерами – **B**, **E** і **F** (рис. 2.29). Кластер **B** займає північно-східну частину острова й поширюючись далі на схід по північним границям Гренландського моря й острова Шпіцберген убік Баренцева моря. Північна границя цієї однорідної зони проходить уздовж  $85^\circ$  півн.ш. Кластер **E** (рис. 2.29) – починається із широкої по меридіану частини, що розташовується над морем Баффіна, далі обходить із півдня центральну частину й закінчується вузькою смугою на сході острова. Однорідна зона **F** (рис. 2.29), починаючи з північної частини півострова Лабрадор, через південно-східне узбережжя Гренландії має

продовження над півднем Гренландського моря.

Протягом періоду грудень – лютий відбувається розділення однорідної зони **В** (рис. 2.29) у листопаді між кластерами **А** і **Д** (рис. 2.29). Останній з них у грудні – лютому утворює частину кластера **С** (рис. 2.30 – 2.32), що займає північну половину Гренландського моря, покриту льодом. Інша частина кластера **С**, що знаходиться над територією Гренландії з приходом кожного наступного місяця зими усе далі поширюється на захід острова, і в лютому вже охоплює південний край моря Баффіна, що у листопаді знаходилася під впливом кластера **Е** (рис. 2.29).

Така перебудова в основному пов'язана із частковим ослабленням антициклональної й посиленням циклонічної діяльності в зазначеному районі. Відповідно, це приводить до зміни вітрового режиму на рівні 700 гПа над східною й південною частиною Гренландії, який перешкоджає горизонтальному перемішуванню повітряних мас. Такому розподілу температур сприяє також і однорідна поверхня, що підстилає, яка зайнята льодом, наявність якого, у свою чергу, перешкоджає надходженню явного і схованого тепла в атмосферу.

Кластер **Г** (рис. 2.29), що знаходиться над центральною частиною Норвезького моря і відповідає Нордкапської течії, у грудні-лютому перестає бути самостійним осередком. Об'єднання його з однорідними зонами **Г** і **Н** (рис. 2.29), що мають відношення до найбільш протяжних кластерів (**Г** – над північно-західною частиною моря Лабрадор через південний край Гренландії до південної половини Гренландського моря й **Н** – над центральною частиною моря Лабрадор через Ісландію до південної частини Норвезького моря) над північно-східною Атлантикою приводить до утворення кластерів **Д** і **Е** (рис. 2.30 – 2.32).

У зону **Г** (рис. 2.32) входять також зони, які територіально розташовані над центральною й північною частиною системи Гольфстрім – Північноатлантична – Норвезька течії (рис. 2.29 – **К**, **І**). Одним з основних

факторів формування значень температури в кластерах над цим потужним водним струменем є турбулентні потоки тепла, які пов'язані із проходженням баричних систем над поверхнею, що підстилає, з більшими градієнтами.

У лютому над південною частиною Норвезького моря з'являється самостійний осередок (**G** – рис. 2.32), що включає в себе територію над Скандинавським півостровом і східною частиною Балтійського моря, по обрисах схожий на кластер **G** (рис. 2.29). Західні частини кластерів **F** і **H**, що перебувають над морем Лабрадор (рис. 2.29) наприкінці зимового періоду утворюють єдиний кластер **E** (рис. 2.32), що розташовується над більшою частиною Лабрадорського моря, насиченого льодами, і південним краєм Гренландії. Значні міжрічні варіації температури тут пов'язані з деформаціями баричного поля, що приводить до змін напрямку вітру. Останній, у свою чергу, спричиняє винос холодного континентального повітря в тилу циклонів і відносного теплого морського повітря в їх теплом секторі.

Кількість неоднорідних між собою зон (**K, L, P, N, M** – рис. 2.29), що охоплюють центральну частину Північної Атлантики в листопаді, у зимові місяці зменшується, і замість осередків формуються кластери, що мають протяжність через всю територію із заходу на схід (наприклад, **J, L** (рис. 2.30); **G, J, K** (рис. 2.31); **H, G** (рис. 2.32)).

У місяці холодного періоду на поверхні 700 гПа проявляється температурна зона, що розташовується над Північним морем і далі через південно-західну частину Балтійського моря на Центральну Європу (кластери: **M** – рис. 2.29, **I** – рис. 2.31, **I** – рис. 2.32). У січні вона становить єдине ціле із кластером, що відповідає центральній частини Північноатлантичної течії (**G** – рис. 2.31), а в листопаді і грудні, західна частина її включає повітряний простір над Британськими островами.

Аналогічно розподілу полів температур у поверхні, що підстилає, де на схемах присутні лінії конвергенції і дивергенції в зональній спрямованості кластерів, спостерігається концентрація або ж звуження різних однорідних зон

(рис. 2.29 – кластери **K, L, P, N**; рис. 2.30 – кластери **F, G, J, K**; рис. 2.31 – кластери **F, G, J**; рис. 2.32 – **F, H, I, J**) у районі Ньюфаундлендської банки, інакше збільшення меридіонального градієнта температури. Цей район, відповідно до досліджень [37], є однієї з енергоактивних зон Північної Атлантики, що знаходиться на стику Лабрадорської холодної течії й північної сторони Гольфстріму – Північноатлантичної течії. Таким чином, можна зробити висновок про інтенсивну взаємодію тут нижчих шарів повітря з шаром в районі поверхні 700 гПа. Процес взаємодії характеризується значними потоками тепла й вологи в атмосферу за рахунок холодного повітря, що надходить з материка на теплу океанську поверхню.

При розгляді формування полів температури на поверхні 700 гПа важливим моментом є відповідність однорідних зон середньомісячному полю тиску, а саме розподілу областей високих і низьких значень геопотенціала. На представлених схемах систему кластерів **P, N, O, R** – рис. 2.29, **L, N, M** – рис. 2.30, **J, K, L** – рис. 2.31 і **J, K** – рис. 2.32 можна зіставити Азорському максимуму в атмосфері, що характеризується слабкою інтенсивністю в цю пору року (область океанського субтропічного антициклонального кругообігу) і Ісландському мінімуму (океанському субполярному циклональному кругообігу) (**F, H, I, K** – рис. 2.29, **G, F, I** – рис. 2.30; **G, F, D, H** – рис. 2.31; **E, F** – рис. 2.32), найбільш розвиненому в зимовий період. Східна частина кластерів **L** – рис. 2.29, **J (M)** – рис. 2.30, **G (I)** – рис. 2.31 і **H** – рис. 2.32 розташовується в зоні додатній дивергенції, тобто розбіжності між зазначеними вище атмосферними центрами дії (океанськими кругооборотами).

Середні значення репрезентативних векторів однорідних зон відповідають широтному розподілу сонячної радіації, що надходить, тобто має місце меридіональний градієнт (значення в південних кластерах вище, ніж у північні) (табл. 2.8).

Максимальні міжрічні внутрішньокластерні дисперсії значень температури в зимові місяці спостерігаються в кластерах над центральною

Гренландією, над скованої льодом поверхнею моря Баффіна і морем Лабрадор (табл. 2.8). У листопаді значна міжрічна мінливість температури, яка відповідає зонам над північною половиною Гренландського моря (**B, D** – рис. 2.29), насамперед, визначається неоднорідністю поверхні, що підстилає, і частою зміною напрямку вітру на рівні 700 гПа.

Над відкритою океанською поверхнею, особливо в південних районах, дисперсії незначні, що свідчить про малу часову мінливість факторів, що впливають на формування полів температури. До таких факторів можна віднести відносну сталість у значеннях потоків схованого і явного тепла, а також квазістаціонарність у системі рухів повітря в середній тропосфері.

У кластеризації *масової частки водяної пари* на поверхні 700 гПа (рис. 2.33 – 2.36) є багато загального із кластеризацією температури повітря на цій же поверхні. Але, незважаючи на добру корельованість у розподілах цих характеристик, спостерігається й ряд істотних відмінностей.

Кількість однорідних зон по місяцях більш стабільно (табл. 2.9), тобто протягом холодного періоду зберігаються умови, що підтримують кількість неоднорідних зон у межах 8 – 10. Формування полів вологості на розглянутій поверхні залежить, у тому числі й від процесів у приповерхньому шарі, а саме: випаровування вологи з поверхні приводить до зменшення питомої ваги об'єму повітря й, відповідно, у результаті дії сили плавучості, до збільшення ймовірності надходження різних об'ємів вологого повітря на більші висоти.

Але в той же час необхідно враховувати, що з висотою турбулентні потоки тепла і вологи послаблюються, і одним з основних процесів утворення однорідних зон стає горизонтальне перемішування, яке обумовлене циркуляцією верхніх шарів тропосфери, особливо північніше струменя Гольфстрім – Нордкапська течія. Іншою причиною є формування кластерів залежно від положення траєкторій переміщення циклонічних утворень (штормів-треків), де в теплом секторі області низького тиску південні вітри переносять більш насичене вологою повітря.

Згідно таблиці 2.9, середні значення репрезентативних векторів, так само як і в температури повітря, відповідають широтному розподілу сонячної радіації, яка надходить, тобто має місце меридіональний градієнт із півночі на південь.

На представлених схемах у південній частині Північної Атлантики спостерігається зональний градієнт: у південно-східній зоні (кластери: **H** – рис. 2.33, **J** – рис. 2.34, **H** – рис. 2.35, **I** – рис. 2.36) значення нижче, ніж у південно-західній (кластери: **G** – рис. 2.33, **I** – рис. 2.34, **G** – рис. 2.35, **H** – рис. 2.36).

Перша група кластерів розташовується над відносно холодними Португальською і Канарською течіями, де вертикальні турбулентні потоки вологи слабкіше, а друга - над правою гілкою Гольфстріму.

Розподіли внутрішньокластерної міжрічної мінливості розглянутих характеристик істотно розрізняються: у масової частки водяної пари відбувається збільшення її значень із півночі на південь, а в температури повітря навпаки (табл. 2.8, 2.9).

У зимовий період на поверхні 700 гПа інтенсифікація процесів, що формують збільшення меридіонального градієнта масової частки водяної пари в районі Ньюфаундлендської енергоактивної зони проявляється не так яскраво як при кластеризації температури. Даний факт на схемах представлений тільки вузькою перехідною зоною: у листопаді – кластером **H** (рис. 2.33), у грудні – кластером **F** (рис. 2.34), у січні – кластерами **B**, **C** (рис. 2.35), у лютому – західною частиною кластера **G** (рис. 2.36) і пояснюється ослабленим вологообміном на поверхні 700 гПа з нижчими шарами в зоні зіткнення Лабрадорської і Північноатлантичної течій.

Наявність ідентичності в утворенні кластерів розглянутих гідрометеорологічних характеристик у північно-східній частині Атлантики над холодним Гренландським і теплим Норвезьким морями (кластери: **B**, **D** – рис. 3.33; **B**, **D** – рис. 3.34; **C**, **D** – рис. 2.35; **B**, **D** – рис. 2.36), вираженої в



строгій зональності розташування однорідних зон і формі покриття ними зазначеної області, свідчить про єдність процесів формування значень температури й вологості. До таких процесів відносяться перенос тепла й вологи при переміщенні синоптичних систем і турбулентні потоки схованого тепла над поверхнею закритою льодами і вільної від льоду (табл. 2.9).

В усі розглянуті місяці над Гренландією область, дещо зміщену на схід від центра, займає кластер, що не поширюється на водну поверхню (рис. 2.33 – кластер **C**; рис. 2.34 – кластер **C**; рис. 2.35 – кластер **B**; рис. 2.36 – кластер **C**) і, практично, який не міняє свою конфігурацію протягом розглянутого періоду. Цей кластер масової частки водяної пари формується під впливом антициклональної діяльності над островом, а також під впливом відсутності значних потоків вологи з покритої льодом і снігом поверхні. Він також характеризується найменшим середнім значенням репрезентативного вектора й незначною міжрічною внутрішньокластерною дисперсією (табл. 2.9). Південь Гренландії виділяється в окрему область (рис. 2.33 – кластери **E**, **B**, рис. 2.34 – кластер **B**, рис. 2.35 – кластер **C**, рис. 2.36 – кластер **E**), що перебуває під впливом циклонічної діяльності. Наявність у прибережній зоні низьких значень масової частки водяної пари визначається випаданням великої кількості опадів і, відповідно, відносним обезводненням повітря на даній поверхні

Кластер **G** – рис. 2.36, що перебуває в зоні додатній дивергенції, тобто зоні розбіжності між антициклональним і циклональним кругообігами (субполярними й субтропічним), або ж атмосферними центрами дії (Азорським максимумом і Ісландським мінімумом), та який відповідає центральній частині й правій гілці Гольфстріму, у листопаді знаходиться північніше (**F** – рис. 2.33). Це пов'язане з тим, що восени Азорський максимум ще добре розвинений, і середньомісячне поле високого тиску займає більшу частину Північної Атлантики. Надалі, у зв'язку з ослабленням Азорського максимуму й посиленням Ісландського мінімуму, відбувається часткова перебудова висотного поля тиску, і зона додатної дивергенції зміщається південніше.

## 3 ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРІВ СТАНУ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ, У ПІВНІЧНІЙ АТЛАНТИЦІ

### 3.1 Загальні положення

Енергетичний стан атмосфери і океану визначається в основному термодинамічними процесами усередині цих середовищ. У той же час, у приповерхньому шарі океану і у нижній тропосфері воно багато в чому залежить від процесів взаємодії між ними. Відомо, що будь-який термодинамічний процес характеризується термодинамічними параметрами (параметрами стану). У більшості випадків у їх ролі виступають температура, густина, тиск і масова концентрація термодинамічно активної домішки (у морській воді – сіль, в атмосфері – водяна пара).

Використання окремо від інших одного фізичного параметра в якості того, котрий дозволяє охарактеризувати і виявити неоднорідності в просторовому розподілі енергії атмосфери й океану, було б алогічним. Наприклад, відносно висока температура водної поверхні не завжди є чинником значних потоків схованого тепла з океану в атмосферу. Подібні потоки в основному визначаються різницею температур вода-повітря й насиченістю вологою повітря, що надходить на відкриту водну поверхню. Таким чином, правильно було б розглядати комплекси основних гідрометеорологічних характеристик, представлених у вигляді деяких параметрів. Екстремальні значення розрахованих параметрів, у свою чергу, можуть характеризувати підвищену або знижену енергетичну активність у певних районах земної кулі.

Процес взаємодії океану й атмосфери, так само як і стан атмосфери на висотах, можна параметризувати за допомогою методів багатомірного

статистичного аналізу, зокрема компонентного аналізу. При цьому в ролі параметрів, що визначають інтенсивність взаємодії двох середовищ і параметрів стану атмосфери на висотах, виступають головні компоненти.

У свою чергу, кожна з виділених головних компонентів являє собою лінійну комбінацію вихідних факторів з відповідними ваговими коефіцієнтами (навантаженнями). Як навантаження виступають координати власних векторів.

Вихідні фактори, як правило, мають різну розмірність і порядок. Для позбавлення розмірності й приведення їх до одного порядку до них повинна бути застосована процедура нормування, наприклад, на власну норму. Дана математична дія дозволяє надалі прийняти твердження, що навантаження, яке відповідає фактору, визначає значимість його у формуванні головного компонента, і відповідно, значимість у процесі взаємодії океану і атмосфери, або ж, у випадку атмосфери, роль у формуванні її енергетичного стану на певній висоті. Значимість вихідного фактору також визначається внеском дисперсії відповідного головного компонента в загальну дисперсію процесу. Інтенсивність взаємодії атмосфери і океану, а також енергетичний стан атмосфери визначаються відповідними значеннями головного компонента.

### 3.2 Алгоритм компонентного аналізу

Використання статистичних методів дослідження при рішенні метеорологічних задач пов'язане з рядом труднощів, такими як невідповідність у багатьох випадках метеорологічних величин нормальному закону розподілу, неоднорідність і неізотропність метеорологічних полів, нестационарність випадкових процесів і ін. У цьому випадку ефективним є інший шлях рішення, що полягає в тім, що проводиться параметризація складу факторів. Тобто в моделі використовуються нові величини, які є лінійними комбінаціями

початкових факторів. Нові фактори повинні задовольняти наступним вимогам: а) бути взаємно некорельованими (ортогональними), б) щоб при можливо меншій їх кількості враховувалася значима частина мінливості вихідних величин. Перерахованим вимогам відповідає компонентний аналіз, що часто в літературі називають методом «емпіричних ортогональних функцій» або «природних ортогональних функцій» [наприклад, 37].

Компонентний аналіз застосовується й при рішенні інших задач. Однієї з них є стиск метеорологічної інформації (значне скорочення кількості інформації при збереженні основного її змісту).

Іншою важливою задачею є фільтрація інформації. Її суть полягає в наступному. Поля досліджуваних фізичних величин в атмосфері формуються під дією атмосферних процесів різних масштабів: процесів макромасштабів, синоптичного масштабу, мезомасштабу і процесів ще більш дрібного масштабу. У результаті ця інформація набуває шумовий компонент, обумовлений дрібномасштабними флуктуаціями, погрішностями вимірів і первинної обробки результатів спостережень. Часто з'являється необхідність, залежно від характеру задачі, зосередити увагу на процесах великих масштабів і не враховувати складові, які обумовлені впливом процесів дрібного масштабу. Для цього також застосовується компонентний аналіз. Розглянемо коротко його ідеї [10] на прикладі просторових полів деякої гідрометеорологічної величини.

Нехай маємо деяке поле центрованих значень фізичної величини  $\Delta X_j$ :

$$\Delta X_j = \begin{pmatrix} \Delta x_{1j} \\ \Delta x_{2j} \\ \dots \\ \Delta x_{nj} \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Здійснимо параметризацію цього поля, тобто виразимо поле, що визначено значеннями фізичної величини на множині точок простору, за допомогою декількох некорельованих параметрів, які лінійно пов'язані з компонентами вектора (3.1) і, які включають основну інформацію про поле. В основі рішення цієї задачі лежить лінійне перетворення початкового поля (3.1) у базисі власних векторів матриці коваріації (або кореляції) полів цієї величини. Матричне рівняння повної проблеми власних значень має вигляд:

$$K_x u_i = \lambda_i u_i \quad (3.2)$$

У цьому рівнянні  $K_x$  -  $n$ -мірна матриця коваріації;  $u_i$  -  $i$ -тий власний вектор;  $\lambda_i$  - відповідне власне значення матриці  $K_x$ .

Власні значення  $\lambda_i$  і відповідні їм власні вектори

$$u_i = \begin{pmatrix} u_{i1} \\ u_{i2} \\ \dots \\ u_{ni} \end{pmatrix}, \quad (i = \overline{1, n}) \quad (3.3)$$

розраховуються, наприклад, за методом Якобі [10].

Існує така теорема: власні значення додатньо визначеної, симетричної й дійсної матриці є дійсними, додатними й простими числами. Оскільки матриця коваріації задовольняє умовам цієї теореми, власні значення мають відзначені в теоремі властивості [10].

Власні значення розташовуються в порядку їх зменшення

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n. \quad (3.4)$$

Першому власному значенню  $\lambda_1$  відповідає перший власний вектор

$$u_1 = \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \dots \\ u_{n1} \end{pmatrix}, \quad (3.5)$$

другому власному значенню  $\lambda_2$  - відповідає другий власний вектор і так далі.

Якщо матриця коваріації добре обумовлена, тоді перший власний вектор складається тільки з додатних компонентів, у другому спостерігається одна зміна знака компонент, у третьому - дві зміни й т.д. Власні вектори мають важливу особливість, що визначається співвідношенням:

$$\langle u_i u_j \rangle = u_i' u_j = \delta_{ij} |u_i| |u_j|, \quad (3.6)$$

де  $\delta_{ij}$  - символ Кронекера.

Вона означає, що скалярний добуток різних власних векторів дорівнює нулю, тобто власні вектори ортогональні.

Найчастіше власні вектори нормуються: замість векторів  $u_i (i = \overline{1, n})$  використовуються власні вектори

$$W_i = \frac{u_i}{|u_i|}. \quad (3.7)$$

Тоді, очевидно

$$\langle W_i W_j \rangle = \frac{\langle u_i u_j \rangle}{|u_i| |u_j|} = \delta_{ij} \frac{|u_i| |u_j|}{|u_i| |u_j|} = \delta_{ij}. \quad (3.8)$$

Такі власні вектори називаються ортонормованими. Сукупність ортонормованих власних векторів становлять ортогональну матрицю  $W$  причому:

$$W'W = WW' = E. \quad (3.9)$$

Відзначені властивості власних векторів дозволяють розглядати їх як базис  $n$ -мірного евклідова простору  $R^n$ . Виходячи з цього, проведемо розкладання вектора  $\Delta X_j$ , що представляє яке-небудь поле фізичної величини, у цьому базисі. Відповідне перетворення має вигляд:

$$W' \Delta X_j = z_j. \quad (3.10)$$

Оскільки базис власних векторів є ортогональним, то компоненти  $z_{ij} (i = \overline{1, n})$  вектора  $z_j$

$$z_j = \begin{pmatrix} z_{1j} \\ z_{2j} \\ \dots \\ z_{ij} \\ \dots \\ z_{nj} \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

є лінійно незалежними, а в статистичному сенсі некорельованими.

$$M[z'_i z_j] = \begin{cases} \sigma_{z_i}^2 & \text{при } i = j \\ 0 & \text{при } i \neq j \end{cases}. \quad (3.12)$$

Неважко показати, що кожне власне значення має сенс дисперсії ортогонального компонента  $z_i$  фізичних полів, тобто

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda_i. \quad (3.13)$$

Однак з (3.4) випливає, що

$$\sigma_{z_1}^2 > \sigma_{z_2}^2 > \dots > \sigma_{z_n}^2. \quad (3.14)$$

Власні значення мають ще одну важливу властивість:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = t_r K_x. \quad (3.15)$$

Індексом  $t_r$  - позначається слід матриці (сума елементів матриці, розташованих на головній діагоналі). Оскільки на головній діагоналі матриці коваріації розташовані дисперсії, тоді

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n \sigma_{x_i}^2. \quad (3.16)$$

Це означає, що сума всіх власних значень дорівнює сумарній дисперсії фізичного поля. З співвідношення (3.7) випливає, що здійснюється розподіл дисперсій: дисперсія першого ортогонального компонента  $Z_1$  є найбільшою,



дисперсії другого і наступних ортогональних компонентів, як правило, швидко зменшуються. Перші ортогональні компоненти  $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$ , дисперсії яких становлять основну частину сумарної дисперсії, концентрують інформацію про найбільш великомасштабні особливості фізичних об'єктів. Виходячи з того, як визначаються головні компоненти (3.10), можна сказати, що відповідні їм власні вектори також включають інформацію про особливості найбільш великомасштабних процесів, формуючи статистичну структуру полів фізичних величин.

Як ми вже відзначали вище, за допомогою множини власних векторів матриць коваріації можна одержати замість випадкового вектора  $X$  вектор ортогональних компонентів  $Z$ , дисперсії яких є власні значення. При цьому сумарна дисперсія поля розподіляється так, що сама більша її частина припадає на декілька перших ( $k$ ) ортогональних компонентів  $Z_i (i = \overline{1, k})$ , які є головними компонентами. Саме вони містять у собі найбільш важливу інформацію про структуру полів, які досліджуються. Для визначення числа  $k$  головних компонентів, необхідно знайти частину  $\eta_k$  сумарної дисперсії поля, що відповідає найбільш великомасштабним процесам за допомогою наступного вираз:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}. \quad (3.17)$$

Число  $k$ , при якому  $\eta \geq \eta_k$  визначається так, щоб зберегти найбільш важливу інформацію про статистичну структуру полів досліджуваної фізичної величини.

### 3.3 Опис вихідних даних і аналіз дисперсій перших трьох головних компонентів

У цьому дослідженні для формування сукупності факторів, що впливають, як вихідні характеристики були взяті дані масиву ERA-40, задані у вузлах регулярної сітки точок  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  у період з 1957 по 2003 роки, у холодний сезон з листопада по лютий, у районі Північної Атлантики ( $30^\circ$  півн.ш.-  $90^\circ$  півн.ш. і  $70^\circ$  з.д. -  $20^\circ$  с.д.), а саме:

а) на рівні поверхні, що підстилає, і в приповерхньому шарі повітря - середньомісячні значення температури поверхні, що підстилає, ( $T_p$ , К), температури повітря в шарі 2 м ( $T$ , К), різниці зазначених температур ( $\Delta T$ , К), потоків схованого тепла ( $Q_n$ , Дж/м<sup>2</sup>) і зональної складової швидкості вітру ( $u$ , м/с);

б) на поверхнях 850 гПа і 700 гПа – середньомісячні значення температури повітря ( $T_{850}$ ,  $T_{700}$ , К), геопотенціалу ( $\Phi^*$ , м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>), масової частки водяної пари ( $S$ , кг/кг), зональної складової швидкості вітру ( $u$ , м/с), відносного вихру швидкості ( $\Omega_z$ , с<sup>-1</sup>).

На підставі цих даних були отримані вектори в кожному вузлі сітки зазначених територій, що складаються з п'яти значень вихідних метеорологічних величин у визначений момент часу. Це дало можливість розрахувати для кожного місяця, кожного вузла поля середні значення і матриці кореляцій. Відповідно до рівняння 3.2, з використанням алгоритму Якобі, були вирішені рівняння повної проблеми власних значень, тобто отримані власні значення і власні вектори, що відповідають їм. Власні вектори є ортогональним базисом  $W$   $n$ -мірного евклідового простору.

Вихідні гідрометеорологічні характеристики в первісному виді мали різні розмірності і різний порядок величини. Тому до них була застосована

процедура нормування на власну норму, що дозволило усунути вищевказані невідповідності.

Кожна сукупність векторів обраних нормованих вихідних характеристик у вузлах сітки визначених вище частин території Північної Атлантики для зазначених поверхонь була розкладена у відповідному ортогональному базисі. Результатами цієї операції з'явилися головні компоненти, які є незалежними параметрами, що визначають інтенсивність взаємодії атмосфери й океану, а також параметрів стану атмосфери на висотах. Кожний головний компонент, у свою чергу, являє собою лінійну комбінацію п'яти вихідних характеристик, що відбивають тепло- і вологообмін у приповерхньому шарі, а також тепло-, вологовміст і циркуляційні властивості повітря на поверхнях 850 гПа й 700 гПа.

Використання компонентного аналізу в конкретному вузлі не дає можливість побудувати поля власних векторів, що дещо ускладнює аналіз отриманих результатів. Подібна процедура часто застосовується для просторової візуалізації основних процесів, обумовлених головними компонентами, при розгляді в якості вихідної тільки однієї характеристики (наприклад, тиску, температури). Однак, відповідно до алгоритму компонентного аналізу, застосовувана процедура нормування вихідних об'єктів дає можливість додатково розглядати значення власних векторів як коефіцієнти, що визначають значимість кожної з п'яти вихідних гідрометеорологічних величин (або циркуляційних характеристик) у відповідному головному компоненті. Надалі будемо називати значення власних векторів ваговими коефіцієнтами або ваговими навантаженнями.

Розглянуті вагові коефіцієнти можуть приймати як від'ємні, так і додатні значення, і, незважаючи на нормування вихідних характеристик, не являють внесок останніх у компонент у вигляді частки, порівнянної з одиницею. Головні компоненти, які виражають проекції векторів вихідних величин, будучи ортогональними складовими процесу взаємодії океану й атмосфери, а також енергетичного стани атмосфери на висотах, теж можуть мати як від'ємні, так і

додатні значення, які залежать від знака координат власних векторів і значень вихідних характеристик.

Внесок перших компонентів у процес взаємодії океану й атмосфери й енергетичний стан атмосфери на висотах (представлений відновленими відфільтрованими значеннями векторів вихідних характеристик) може бути як додатний, так і від'ємний і залежить також від знака відповідних значень власних векторів. Саме таке співвідношення знаків і значень, крім внеску в загальну дисперсію, визначає часову мінливість процесу, параметрами якого є головні компоненти.

Крім того застосування компонентного аналізу до просторових полів окремо взятого метеорологічного параметра (тиску, температури) потенційно повинне виявити особливості основних процесів, масштаби яких визначаються порядковим номером і значенням відповідного власного числа (внеском у загальну дисперсію). У сукупності ці процеси і формують поля представленої вихідної величини.

У дослідженні подібного роду таке припущення відсутнє. Розглянуті об'єкти можуть мати різні по тісноті кореляційні зв'язки, що може привести до різного числа головних компонентів, що виділяються, із власними числами, що незначно розрізняються.

Застосування компонентного аналізу до вихідних метеорологічних характеристик і циркуляційних параметрів у районі Північної Атлантики показало, що перші три власних значення вичерпують більше 80% сумарної дисперсії загального процесу взаємодії розглянутих об'єктів (табл.3.1, 3.2). Діапазони значень дисперсій, що пояснюються отриманими головними компонентами по місяцях, представлені в табл.3.3, 3.4.

Необхідно відзначити, що використання тільки одного компонентного аналізу, як метод для підготовки вихідного вектора-фактора на вході в модель, не є раціональним.

Таблиця 3.1 Сумарна дисперсія перших трьох головних компонентів, отриманих по всій сукупності значень, у репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці (поверхня, що підстилає)

Місяць	Для компонентів відповідних					
	максимальним значенням дисперсій			мінімальним значенням дисперсій		
	1 gk	2 gk	3 gk	1 gk	2 gk	3 gk
листопад	95,1	89,2	88,3	87,2	92,3	83,3
грудень	95,8	88,9	85,1	88,9	95,2	93,8
січень	93,7	93,3	82,7	89,9	92,5	89,1
лютий	95,2	89,9	83,7	94,7	91,2	89,0

Таблиця 3.2 Сумарна дисперсія перших трьох головних компонентів, отриманих по всій сукупності значень, у репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці (ніжня та середня тропосфера)

Місяць	Для компонентів відповідних					
	максимальним значенням дисперсій			мінімальним значенням дисперсій		
	1 gk	2 gk	3 gk	1 gk	2 gk	3 gk
	поверхня 850 гПа					
листопад	91,3	91,2	82,8	87,9	95,5	88,4
грудень	87,6	90,7	88,5	91,1	86,4	88,2
січень	97,2	87,5	81,6	87,2	89,9	95,5
лютий	95,0	89,7	87,8	89,3	89,6	89,3
	поверхня 700 гПа					
листопад	93,3	92,8	88,4	90,6	89,6	91,3
грудень	87,6	95,7	90,0	89,7	94,1	91,0
січень	97,2	95,6	88,0	88,6	93,7	93,1
лютий	95,0	98,0	90,3	91,2	95,5	93,3

Таблиця 3.3 Максимальні й мінімальні значення дисперсій головних компонентів по всій сукупності значень, у репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці (поверхня, що підстилає)

Місяць	Максимальні значення дисперсій			Мінімальні значення дисперсій		
	1gk	2 gk	3 gk	1 gk	2 gk	3 gk
листопад	59.7	26.3	21.6	39.9	22.3	18.0
грудень	64.7	32.4	19.2	37.9	18.4	17.3
січень	70.8	32.3	19.6	42.4	23.9	14.0
лютий	72.2	30.5	18.0	40.1	20.5	13.4

Таблиця 3.4 Максимальні й мінімальні значення дисперсій головних компонентів по всій сукупності значень, у репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці (ніжня та середня тропосфера)

Місяць	Максимальні значення дисперсій			Мінімальні значення дисперсій		
	1gk	2 gk	3 gk	1 gk	2 gk	3 gk
	поверхня 850 гПа					
листопад	52.3	26.8	17.1	51.4	18.8	14.0
грудень	53.9	33.7	18.4	44.1	24.0	13.5
січень	75.8	33.2	17.4	40.6	17.7	7.85
лютий	74.7	32.1	22.5	37.5	24.1	12.0
	поверхня 700 гПа					
листопад	61.2	30.2	19.7	41.7	20.6	11.3
грудень	52.6	35.4	17.8	41.1	16.5	10.9
січень	57.4	32.9	19.2	50.1	17.8	14.3
лютий	70.0	35.0	16.0	39.0	20.9	9.7

Велика кількість отриманих головних компонентів спричинить серйозні труднощі при відборі, особливо, при аналізі факторів, що впливають, і ймовірність допущення помилки. До того ж це може привести до не виправданого збільшення обчислювальних потужностей необхідних для розрахунків у моделі. Тому з метою скорочення вихідної вибірки і одержання однорідних районів, у яких процеси взаємодії атмосфери й океану, а також енергетичний стан атмосфери на висотах мають великий ступінь схожості, до головних компонентів, нами був застосований алгоритм кластерного аналізу УІМКД, представлений в п.2.1.

### 3.4 Комплексний аналіз факторів, що впливають, у районі Північної Атлантики

Значення координат власних векторів (які є, як було зазначено раніше, ваговими навантаженнями або ж ваговими коефіцієнтами), що відносяться до певних однорідних районів, виділених у результаті кластеризації перших трьох головних компонентів, показують істотне різноманіття комбінацій значимих вихідних гідрометеорологічних характеристик у формуванні незалежних параметрів (головних компонентів). Внесок останніх у процес взаємодії й енергетичний стан атмосфери на висотах визначається власними числами.

Крім того, у більшості випадків, відповідно до представлених схем кластеризації, перший головний компонент, що пояснює максимальний внесок у загальну дисперсію, навіть при однаковій кількості отриманих однорідних районів, має менші дроблення на локальні осередки, тобто кластери, в основному, являють собою цільні райони великої протяжності. У той же час, дотримуючись основній гіпотезі про можливу появу нових енергоактивних зон при підготовці факторів, що впливають, є необхідність відволіктися від загальноприйнятих принципів. Наприклад, визначення цих зон за

екстремальним значенням окремих параметрів: температур поверхні й приповерхнього шару повітря, їх різниці, а також тиску водяної пари, що є насиченою, (наприклад, [37]). До того ж не зовсім коректно було б стверджувати, що подібні енергетичні зони знайдуть свій прояв тільки в першому головному компоненті, який має максимальний внесок у загальну дисперсію розглянутого процесу.

С нашої точки зору, необхідно уточнити, що, по-перше, участь більшості з п'яти вихідних характеристик у формуванні значень певного головного компонента, яка виражається в значних вагових навантаженнях, може свідчити про посилення інтенсивності взаємодії атмосфери й океану, а також посилення ефекту бароклінності в розглянутій однорідній зоні. По-друге, у лінійних комбінаціях, які формують значення головних компонентів, при збігу знака вагових навантажень і знака значень вихідних характеристик відбувається збільшення значень розглянутого компонента, а при розбіжності – зменшення. Так, наприклад, для рівня поверхні, що підстилає, (відповідно до п.2.2) у Північній Атлантиці в усі розглянуті місяці додатні знаки мають температури повітря і поверхні, що підстилає, і постійно від'ємні, за винятком кластера, який охоплює поверхню Гренландії, потоки схованого тепла з поверхні. Значення зональної складової швидкості вітру й різниці температур мають істотну різноманітність у розподілі знака на території Північної Атлантики.

Листопад відноситься до холодної половини року, але і є останнім календарним осіннім місяцем, а в межах акваторії океану, з огляду на його інерційність, календарною серединою осіни. Розглядаючи процеси в цьому місяці як фактори, що впливають, ми мали на меті не тільки визначити їх зв'язок з відгуками на території Східної Європи, але й простежити яким образом змінюється структура однорідних зон вихідних характеристик і головних компонентів у перехідний період від осені до зими.

*Перший головний компонент.* Кластери першого головного компонента, що відбиває процеси взаємодії поверхні, що підстилає, і приземного шару



повітря, в усі розглянуті місяці мають структуру в центральній частині Північної Атлантики, яка витягнута уздовж системи течії Гольфстрім - Північноатлантична - Норвезька, а також яка охоплює на північно-заході район моря Лабрадор (кластери: С (рис. 3.1), В (рис. 3.2), В (рис. 3.3), А (рис. 3.4)).

Репрезентативним векторам цих кластерів відповідають додатні середні значення й відносні незначні міжрічні дисперсії (табл.3.5), які підкреслюють деяку стабільність у процесі взаємодії протягом розглянутого 45-літнього періоду.

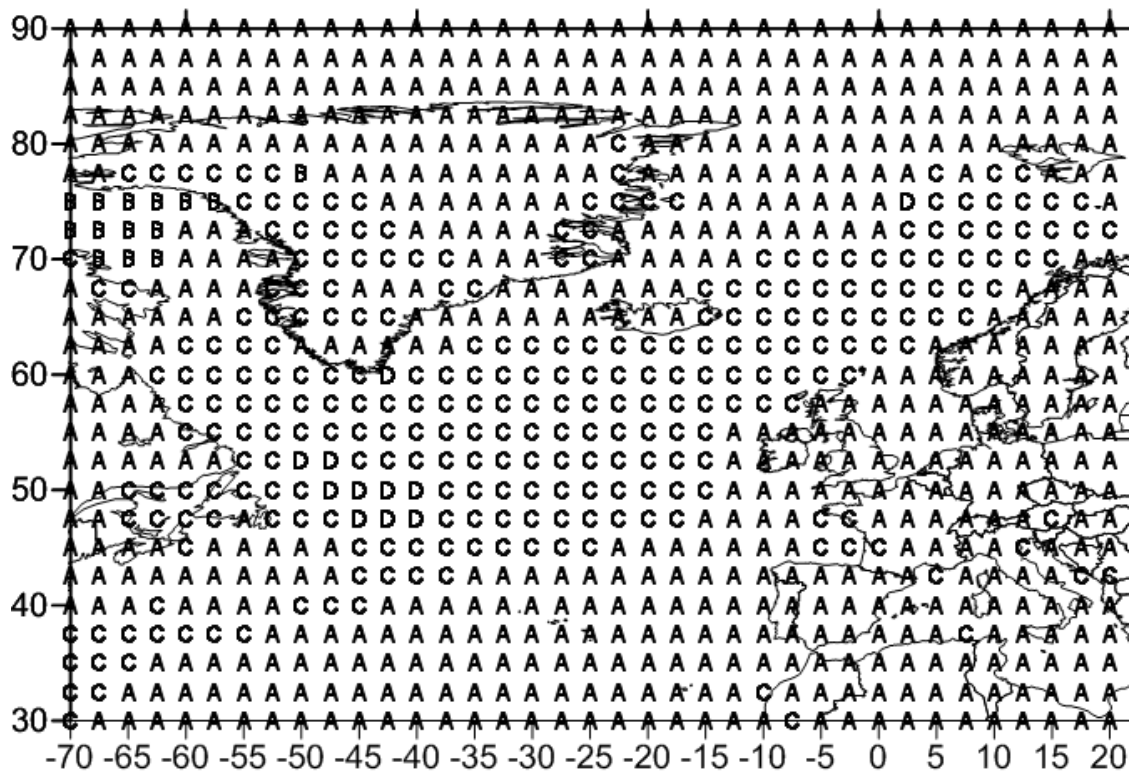


Рисунок 3.1 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці, (листопад)

Однак при дослідженні мінливості проєкцій вихідного поля на координати власних векторів у межах даного простору, спостерігаються істотні відмінності в значеннях вагових навантажень на вихідні характеристики по місяцях.

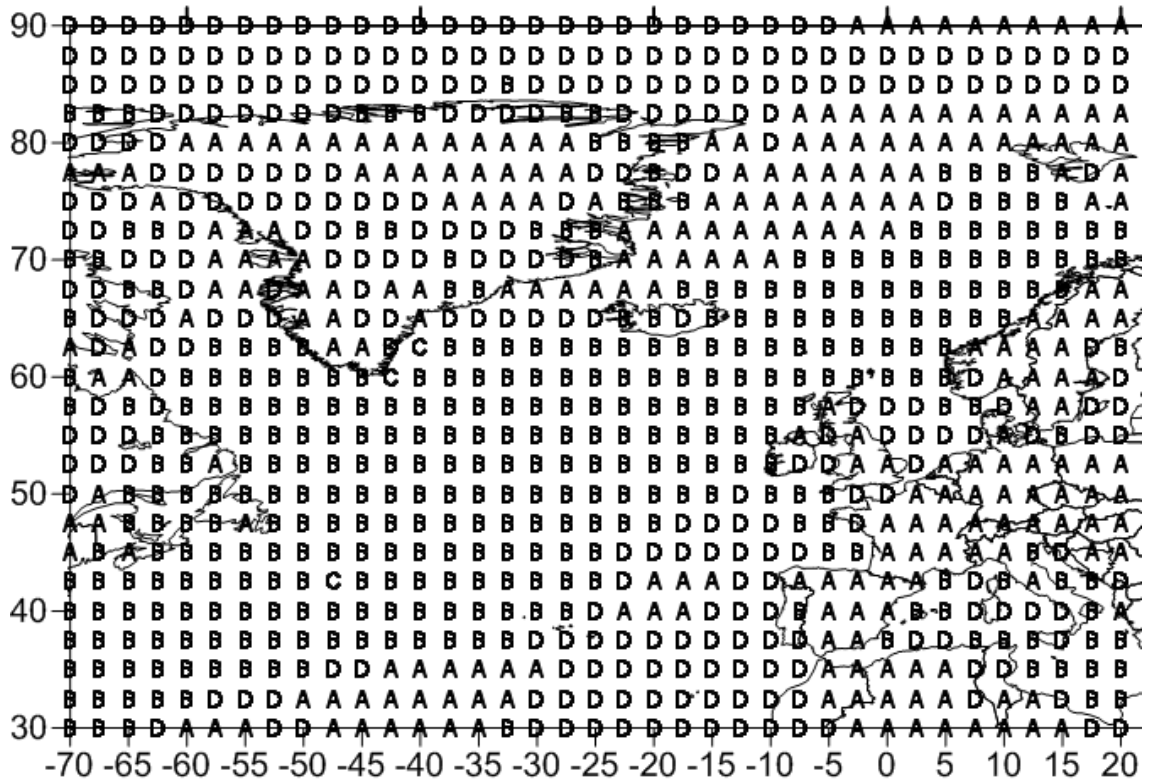


Рисунок 3.2 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці, (грудень)

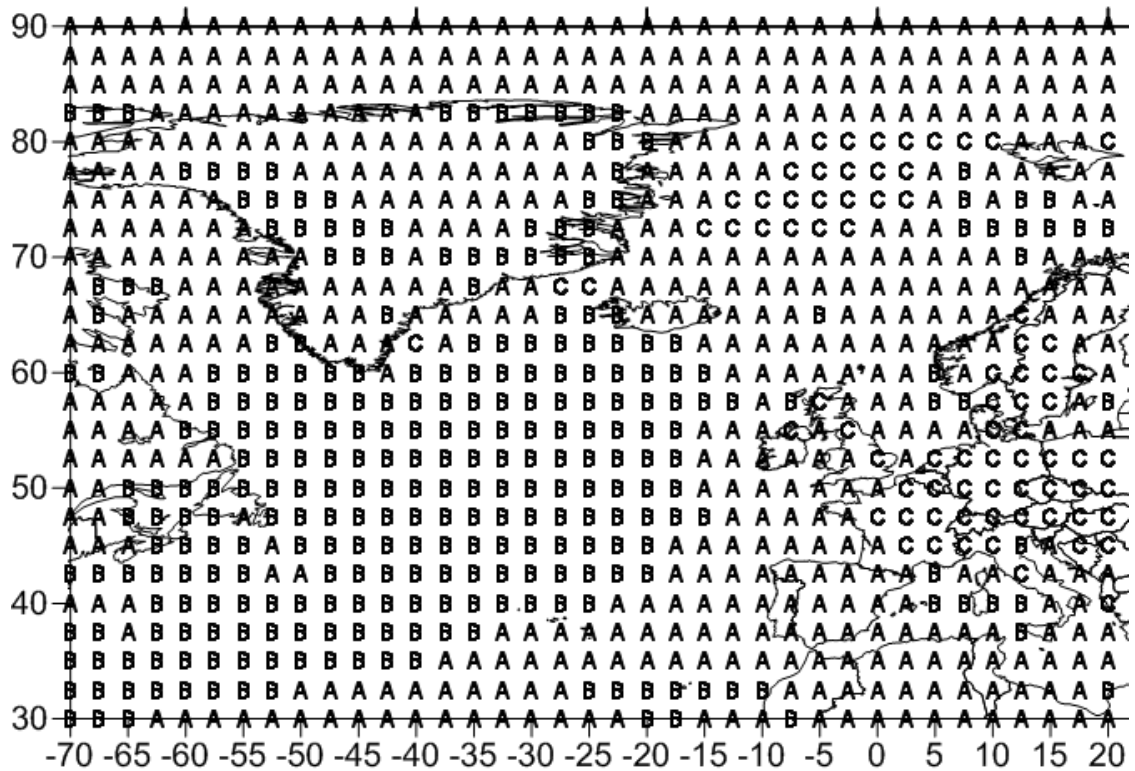


Рисунок 3.3 – Просторовий розподіл кластерів 1-ого головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці, (січень)

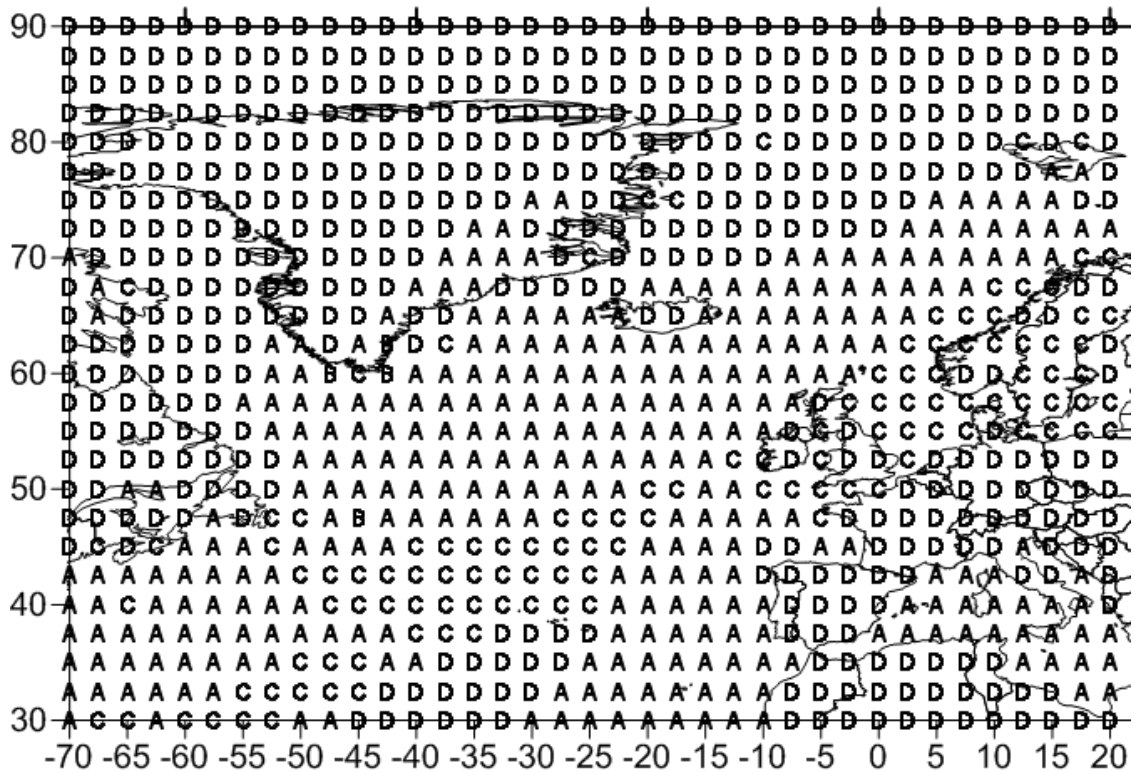


Рисунок 3.4 – Просторовий розподіл кластерів 1-ого головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці, (лютий)

Таблиця 3.5 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії і середні значення головних компонентів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці (перший головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення ( $\cdot 10^{-2}$ )			
	Внутрішньокластерні дисперсії ( $\cdot 10^{-4}$ )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	19.1	23.4	17.3	4.7
	0	2.95	2.1	2.51
<b>B</b>	15.8	6.6	4.3	-13.8
	50.93	1.26	4.71	54.25
<b>C</b>	5.2	-14.7	26.3	15.5
	2.62	19.79	26.64	15.36
<b>D</b>	-8.6	16.3	-	21
	42.19	5.45	-	2.63

Так, згідно табл. 3.6 для листопада основне навантаження в першому компоненті (кластер С, рис. 3.1) приходить на температуру повітря і температуру поверхні, що підстилає, з додатним знаком і, дещо меншу з від'ємним знаком, на різницю температур і зональну складову швидкості вітру.

Таблиця 3.6 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці, (листопад)

Координати власних векторів													
1-й власний вектор				2-й власний вектор						3-й власний вектор			
Літера кластера													
A	B	C	D	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D
0,70	0,51	0,53	0,45	-0,30	0,22	-0,13	0,28	-0,25	-0,17	-0,04	0,20	0,19	-0,20
0,71	0,56	0,58	-0,09	-0,20	0,13	-0,26	0,17	-0,71	-0,33	-0,07	0,18	0,03	-0,13
-0,08	-0,49	-0,42	0,59	-0,58	0,71	0,69	0,68	0,37	0,56	0,16	0,06	0,88	-0,35
0,06	-0,38	0,29	0,39	0,70	-0,51	0,16	0,61	0,37	0,08	0,90	-0,45	0,15	0,23
-0,05	0,22	-0,35	-0,54	-0,18	0,41	0,64	-0,26	-0,39	0,74	-0,41	0,85	0,41	0,88
Власні значення/внесок у загальну дисперсію													
Літера кластера													
A	B	C	D	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D
2,0	3,0	2,5	2,5	1,2	1,1	1,3	1,2	1,1	1,2	0,9	0,9	1,1	1,1
39,9	59,7	49,3	50,6	24,1	22,6	26,3	23,6	22,3	24,4	18,7	18,0	21,6	21,1

Для інших трьох місяців холодного періоду картина дещо змінюється - основне навантаження з додатним знаком приходить на температуру повітря

на висоті 2 м, різниця температур і, за винятком січня, зональну складову швидкості вітру.

Другий кластер, що має відношення до першого головного компонента процесу взаємодії двох середовищ, у листопаді охоплює, практично, решту простору Північної Атлантики (рис. 3.1 – кластер **A**) і має основні вагові навантаження на значення температур поверхні і повітря на висоті 2м. У подальші холодні місяці він поділяється на два (у грудні – **A, D** (рис. 3.2), січні – **A, C** (рис. 3.3), лютому - **C, D** (рис. 3.4)), які, в основному, займають північну частину розглянутої території. Середні значення репрезентативних векторів головних компонентів у цих кластерах мають також додатний знак, але дисперсії кластерів **C** в січні (рис.3.3) і в лютому (рис.3.4) значно відрізняються від інших у бік збільшення.

Звертаючи увагу на вагові навантаження вихідних характеристик у розглянутих районах, можна відзначити, що для трьох зимових місяців, так само як і для кластера **A** в листопаді (рис. 3.1), зберігаються їх великі значення при температурах поверхні, що підстилає, і повітря на висоті 2 м. У той же час для інших характеристик спостерігаються значні варіації. Наприклад, ваговий коефіцієнт при різниці температур вода-повітря для кластера **A** в грудні (рис. 3.2) (цей кластер збігається з місцем розташування Норвежсько-Гренландської енергоактивної зони) має велике від'ємне значення (-0,5) (табл. 3.7), а для кластерів **A** в січні і **D** у лютому – незначні: 0,1 (табл. 3.8) і 0,16 (табл. 3.9), відповідно.

Особливу увагу викликають однорідні райони Північної Атлантики поблизу південно-східного краю Гренландії. Ці райони відповідають кластерам: у листопаді **D** (рис. 3.1) (подібна структура спостерігається й на схід Ньюфаундленду), у грудні - **C** (рис.3.2), у січні - **C** (рис.3.3) (що охоплює у тому числі, район Норвежсько-Гренландської енергоактивної зони), у лютому - **B** (рис.3.4).

Таблиця 3.7 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці, (грудень)

Координати власних векторів												
1-й власний вектор				2-й власний вектор					3-й власний вектор			
Літера кластера												
A	B	C	D	A	B	C	D	E	A	B	C	D
0,49	0,62	0,00	0,57	0,15	-0,15	0,27	-0,10	-0,20	0,14	0,04	0,31	-0,12
0,54	0,26	-0,62	0,52	0,02	-0,23	0,16	-0,63	-0,26	0,15	0,11	0,21	-0,83
-0,50	0,59	0,62	0,54	0,68	0,67	0,58	0,41	0,16	-0,09	-0,42	0,48	0,35
-0,47	0,13	0,49	-0,10	-0,37	0,13	-0,31	0,61	0,32	0,80	-0,22	0,77	-0,11
-0,01	0,42	-0,07	0,33	0,61	0,67	0,69	0,23	0,88	0,55	0,87	0,22	-0,40
Власні значення/внесок у загальну дисперсію												
Літера кластера												
A	B	C	D	A	B	C	D	E	A	B	C	D
3,2	2,5	1,9	2,8	1,2	1,2	1,2	1,6	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9
64,7	48,9	37,9	55,2	24,4	23,2	24,5	32,4	18,4	19,2	18,9	18,6	17,3

Таблиця 3.8 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці, (січень)

Координати власних векторів											
1-й власний вектор			2-й власний вектор					3-й власний вектор			
Літера кластера											
A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C	D
0,61	0,66	0,51	0,16	-0,07	0,40	-0,04	-0,10	-0,07	0,35	0,15	
0,61	0,14	0,49	0,11	-0,18	0,30	0,05	-0,64	-0,10	0,22	0,16	

Продовження табл.3.8

Координати власних векторів										
1-й власний вектор			2-й власний вектор					3-й власний вектор		
Літера кластера										
0,10	0,66	0,40	0,44	0,65	0,41	-0,68	0,54	0,23	0,90	-0,15
-0,14	0,26	-0,38	0,73	0,73	-0,13	-0,08	0,40	-0,44	-0,16	0,95
-0,47	0,19	0,45	-0,48	0,02	0,76	0,73	-0,36	0,86	-0,06	0,13
Власні значення/внесок у загальну дисперсію										
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
2,5	2,1	3,5	1,2	1,3	1,2	1,4	1,6	1,00	0,7	0,9
49,5	42,4	70,8	24,6	25,7	23,9	28,4	32,3	19,6	14,0	17,1

Таблиця 3.9 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці, (лютий)

Координати власних векторів											
1-й власний вектор				2-й власний вектор					3-й власний вектор		
Літера кластера											
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0,61	-0,25	0,50	0,59	0,01	0,25	-0,11	0,53	-0,14	-0,02	0,24	0,05
0,18	-0,60	0,49	0,57	0,12	-0,16	-0,12	0,60	-0,26	0,11	0,30	-0,80
0,58	0,46	0,45	0,16	-0,55	0,68	0,08	0,03	0,27	-0,46	-0,13	0,59
0,23	0,59	-0,38	-0,21	0,83	0,20	0,95	-0,38	0,04	-0,54	0,80	0,03
0,46	-0,08	0,40	0,50	-0,05	0,64	0,25	-0,46	0,91	0,70	0,43	0,06
Власні значення/внесок у загальну дисперсію											
Літера кластера											
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
2,4	2,0	3,6	2,6	1,1	1,5	1,1	1,5	1,0	0,9	0,7	0,7
48,3	40,1	72,2	52,7	21,3	30,2	21,2	30,5	20,5	18,0	13,4	14,7

У східній частині моря Баффіна має місце кластер **В** (рис. 3.1). Міжрічні дисперсії в цих однорідних районах мають самі більші значення. Це свідчить про те, що репрезентативні вектори першого головного компонента мають значну часову мінливість, що обумовлена різноманітністю умов формування вихідних характеристик і їх перетворення в базисі першого власного вектора.

Враховуючи це, розглянемо більш докладно для кожного місяця умови формування параметрів взаємодії океану й атмосфери, а саме середніх значень репрезентативних векторів першого головного компонента, з позиції комбінацій знаків і величин вагових навантажень і вихідних характеристик.

Для кластера **Д** у листопаді (рис. 3.1) вагові коефіцієнти є значними практично при всіх вихідних характеристиках, за винятком температури поверхні, що підстилає, і мають додатний знак, крім коефіцієнта при зональній складової швидкості вітру. При цьому середнє значення репрезентативного вектора головного компонента має від'ємний знак. Температура повітря на висоті 2 м у всіх випадках є додатною (у К).

Значення різниці температур повітря-вода, потоків схованого тепла в цьому районі від'ємні (див. підрозділ 2.2). Зональна складова швидкості вітру – додатна (переважає західний вітер). Це значить, що знак і величина першого головного компонента визначаються, в основному, потоками схованого тепла, різницями температур і швидкістю вітру, що характерно для поняття енергоактивних зон [37]. У районі розташування цього кластера знаходиться зона зіткнення східної гілки холодної Лабрадорської і північної частини теплої Північноатлантичної течій, що є океанічним фронтом.

Для кластера **В** (рис. 3.1), знаки вагових коефіцієнтів при температурах повітря висоті 2 м і поверхні, що підстилає, - додатні, при різниці цих температур і потоках схованого тепла - від'ємні, при швидкості вітру знак також від'ємний, але по абсолютній величині значно менше інших (табл. 3.6.).

Середнє значення репрезентативного вектора першого головного компонента – додатне (друге максимальне по величині) (табл. 3.5). Зважаючи



на те, що середнє значення різниці температур є від'ємним (температура повітря в цьому місяці дещо нижче температури поверхні, що підстилає) (див. підрозділ 2.2), потоки схованого тепла мають теж від'ємний знак (спрямовані від поверхні в атмосферу), значення й знак першого головного компонента визначаються практично всіма вихідними характеристиками, за винятком швидкості вітру.

Виходячи з вищевикладеного можна стверджувати, що основними вихідними характеристиками, що утворюють значення першого головного компонента для кластерів С (рис. 3.2, 3.3) і В (рис. 3.4), відповідно до значних вагових коефіцієнтів при них, зазначеним в (табл. 3.6 – 3.9), є: для кластера С (рис. 3.2) – температура поверхні (ваговий коефіцієнт від'ємний), різниця температур (ваговий коефіцієнт додатний, середнє значення репрезентативного вектора різниці температур у цьому районі від'ємне), потоки схованого тепла (ваговий коефіцієнт додатний, середнє значення репрезентативного вектора від'ємне); для кластера С (рис. 3.3) – температури поверхні, що підстилає, і повітря на висоті 2 м (вагові коефіцієнти додатні), різниця температур (ваговий коефіцієнт додатний, середнє значення репрезентативного вектора від'ємне), потоки схованого тепла (ваговий коефіцієнт від'ємний, середнє значення репрезентативного вектора від'ємне), зональна складова швидкості вітру (ваговий коефіцієнт додатний, середнє значення репрезентативного вектора від'ємне (переважає східний вітер)); для кластера В (рис. 3.4) – температура поверхні (ваговий коефіцієнт від'ємний), різниця температур, потоки схованого тепла (вагові коефіцієнти додатні, середні значення репрезентативних векторів від'ємні). Відмінною рисою цих однорідних зон є великі міжрічні внутрішньокластерні дисперсії репрезентативних векторів першого головного компонента.

Розглянуті кластери в основному охоплюють незначну частину морської поверхні, яка примикає доз південного краю Гренландії. У цьому районі також розташовується західна частина Норвежсько-Гренландської енергоактивної

зони. Однак у січні у кластера **C** (рис. 3.3) є присутнім і другий великий осередок – західніше Шпіцбергена в районі Гренландського моря.

Другий і третій головні компоненти, згідно (табл. 3.3), пояснюють у середньому, відповідно, четверту й п'яту частини загальної дисперсії процесу взаємодії атмосфери й океану.

Відповідно до алгоритму компонентного аналізу природних процесів, зі зниженням значень власних чисел матриці кореляцій (коваріації) масштаб відповідних їм процесів зменшується. При цьому проведена кластеризація повинна виявитися в територіальному дробленні однорідних районів, що відповідають другому і третьому головним компонентам.

Однак, як показують результати дослідження, якщо в полях третього компонента цей факт завжди підтверджується, то для полів другого компонента, іноді, різкий перехід відсутній. Очевидно, це пов'язане з тим, що в деяких випадках внесок другого компонента в загальну дисперсію параметрів, що характеризують процеси взаємодії атмосфери й океану, незначно відрізняється від внеску першого, тобто можна припустити, що обидва компоненти, у цих випадках, можуть описувати процеси, приблизно, одного масштабу.

Так у полях другого головного компонента, по місяцях, простежуються глобальні кластери **E** (рис. 3.5), **D** (рис. 3.6), **E** (рис. 3.7) і **B** (рис. 3.8), які, в основному, займають центральну і частково північно-східну частину Північної Атлантики (між островом Шпіцберген і Скандинавією), з найбільшими по абсолютній величині від'ємними середніми значеннями репрезентативних векторів і мінімальними міжрічними дисперсіями (табл. 3.10).

Тут, незважаючи на зазначену схожість у значеннях другого компонента, вагові навантаження при однойменних вихідних характеристиках мають розходження, особливо у лютому.

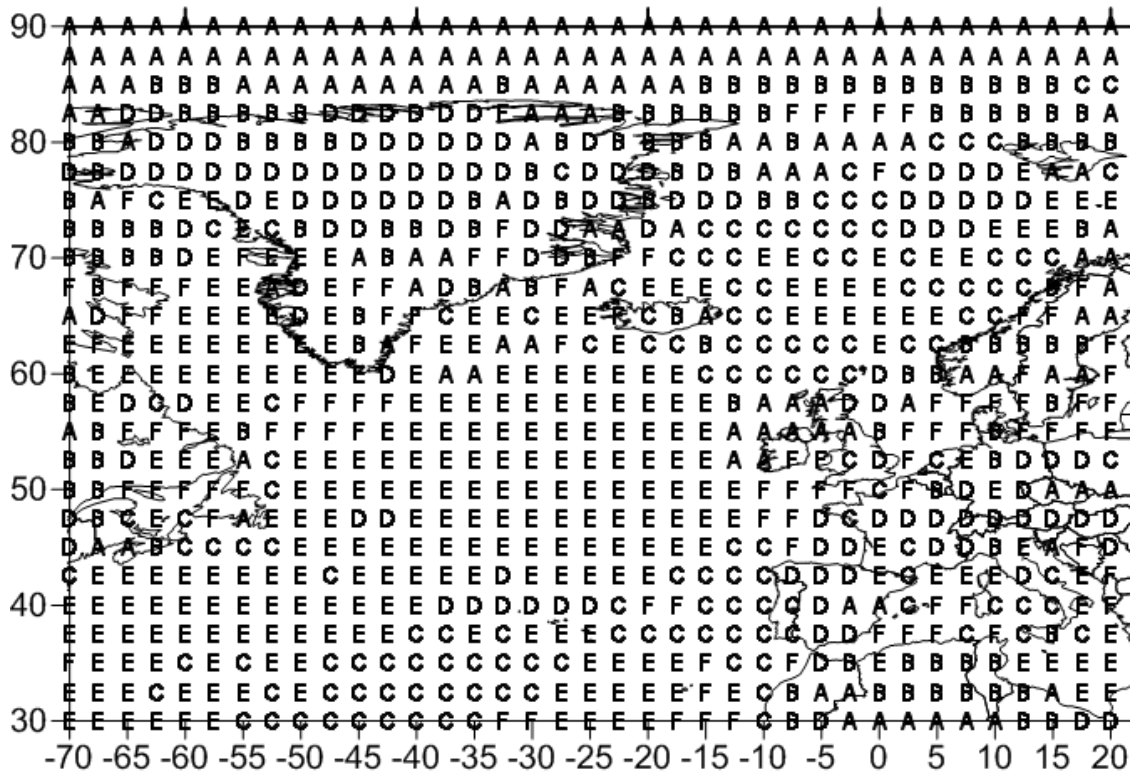


Рисунок 3.5 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (листопад)

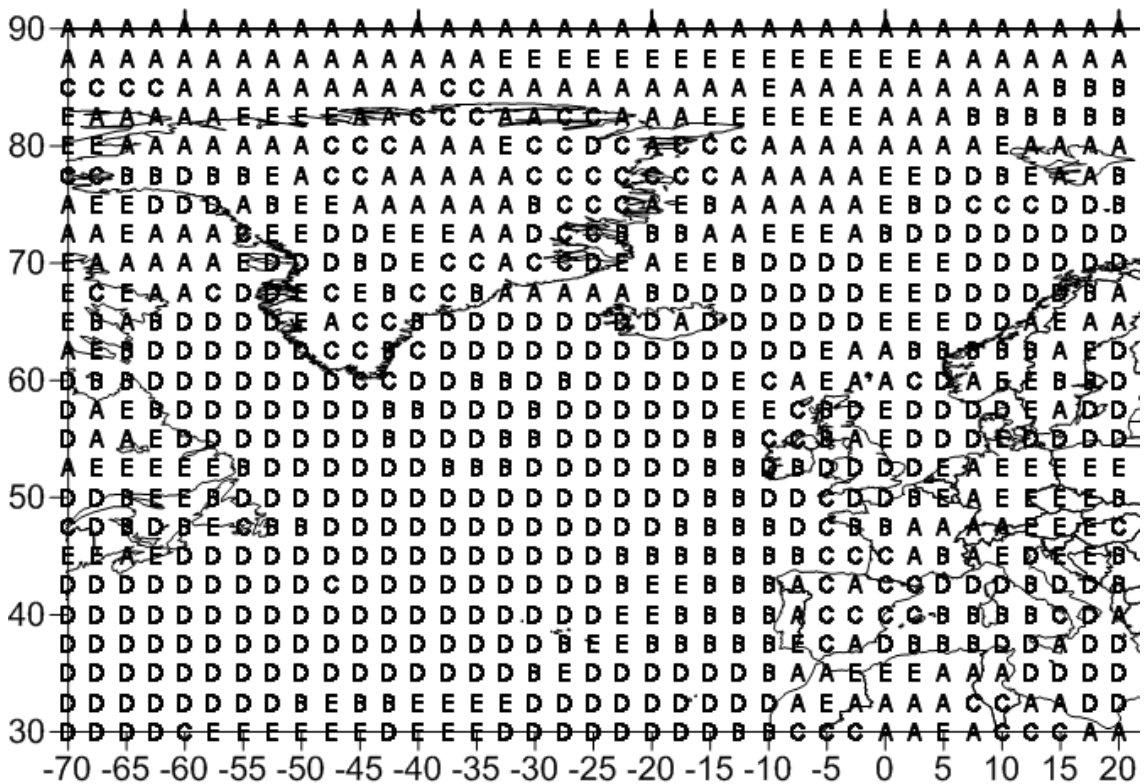


Рисунок 3.6 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (грудень)

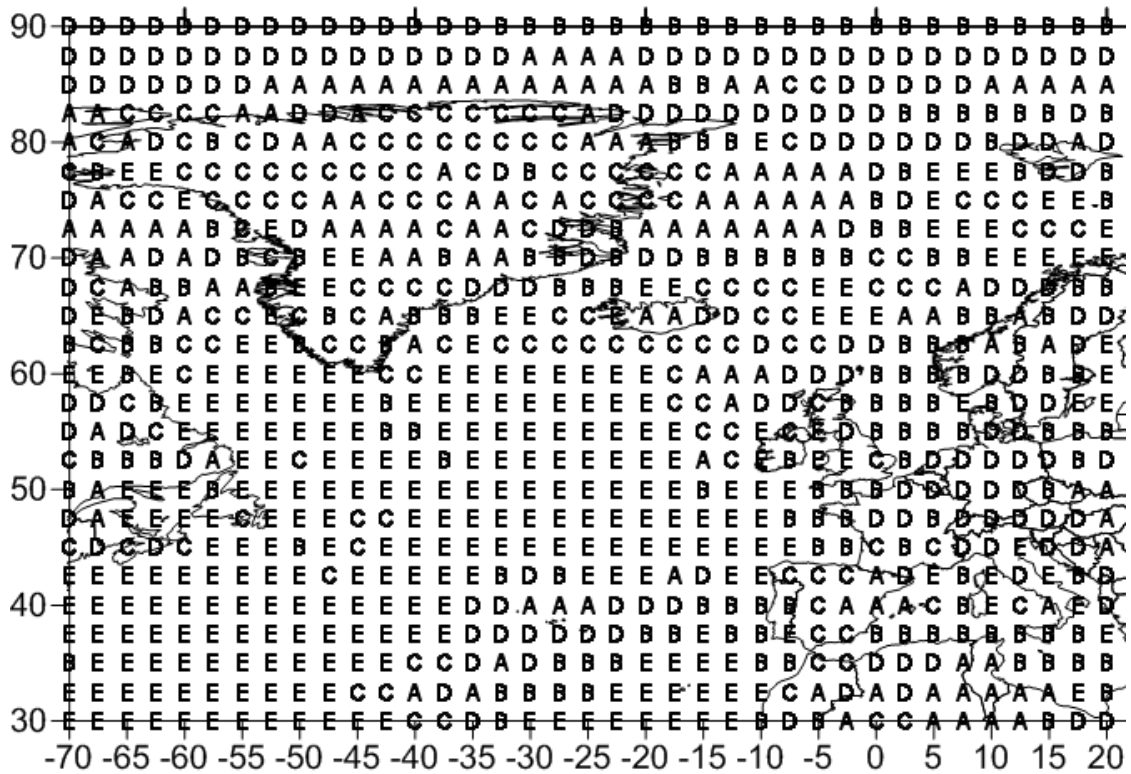


Рисунок 3.7 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (січень)

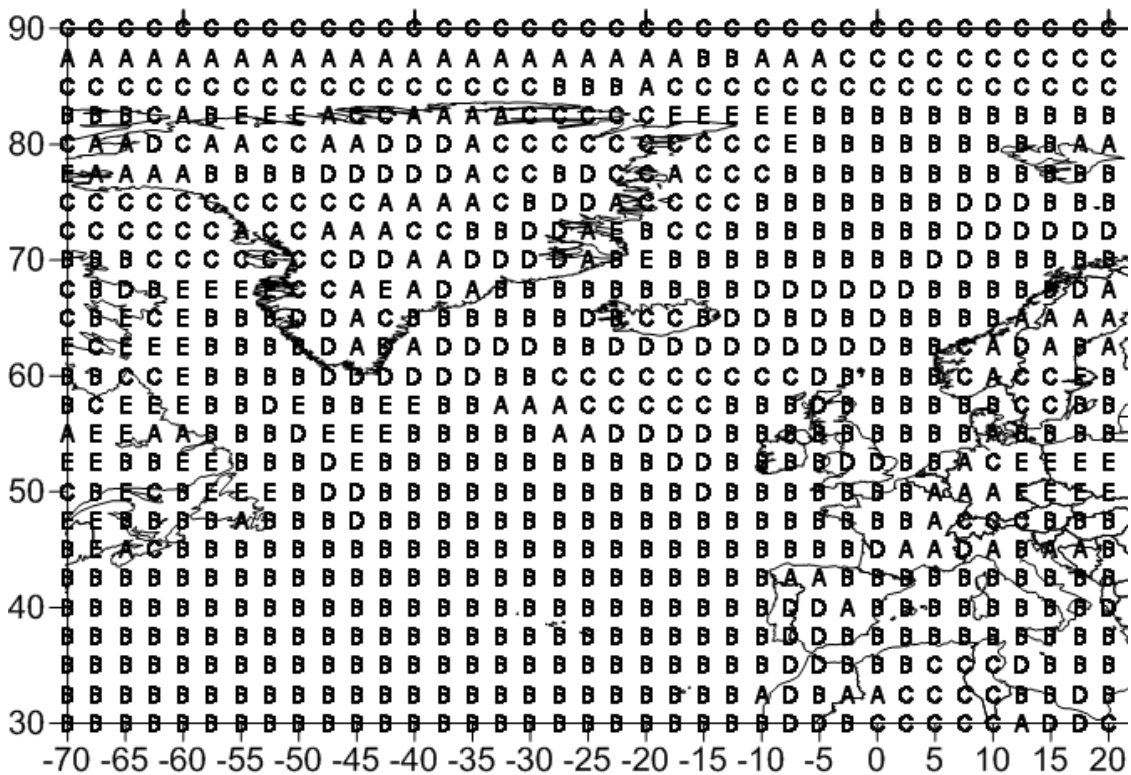


Рисунок 3.8 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (лютий)

Таблиця 3.10 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці (другий головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	0.4	3.3	4.6	7.5
	42.64	23.76	14.25	11.51
<b>B</b>	7.3	-12.2	-10.9	-18.7
	11.95	19.23	9.03	1.87
<b>C</b>	-15.4	17.2	17.8	0.1
	15.98	2.7	2.44	20.2
<b>D</b>	20.8	-22.2	-4.2	20
	2.86	0.67	17.42	1.47
<b>E</b>	-24	-4.9	-23.4	-6.2
	1.29	7.21	0.99	23.49
<b>F</b>	-8.6	-	-	-
	7.83	-	-	-

Згідно табл. 3.6 у листопаді у формуванні значень цього компонента основне навантаження приходить на температуру поверхні, що підстилає. Інші характеристики з меншими ваговими коефіцієнтами лише доповнюють цей внесок. У грудні й січні значення навантажень при вихідних характеристиках дещо вирівнюються, а протилежний знак вагового коефіцієнта при зональній складовій швидкості вітру компенсується протилежним знаком значень репрезентативного вектора (табл. 3.7 – 3.8). У лютому картина повністю змінюється (табл. 3.9). Це пояснюється зменшенням впливу температури поверхні, що підстилає, температури повітря на висоті 2м і потоків схованого тепла на другий компонент. До того ж, враховуючи на додатний знак і близькість значень вагових коефіцієнтів при різниці температур і зональної

швидкості вітру, що теж додатна, можна з повною впевненістю стверджувати, що значення другого головного компонента в межах даної однорідної зони формується тільки за рахунок різниці температур.

Інтерес представляє кластер **C** (рис. 3.5), що простежується у північно-західного узбережжя Скандинавії (Норвезька енергоактивна зона), західного узбережжя Піренейського півострова (Канарська холодна течія) і південне-західніше Азорських островів (Канарська енергоактивна зона). В інші місяці ці території займають в основному: у грудні кластери - **B, D, E** (рис. 3.6), у січні **B, D** (рис. 3.7), у лютому - описаний вище кластер **B** (рис. 3.8). Всі ці однорідні райони мають від'ємні середні значення і значну міжрічну дисперсію репрезентативних векторів другого головного компонента.

Координати репрезентативного другого власного вектора в кластері **C** у листопаді (рис. 3.5) мають максимальні значення при різниці температур повітря-вода і зональної складової швидкості вітру (табл. 3.6). Вагові навантаження при вихідних характеристиках, що формують значення другого головного компонента процесів взаємодії, для кластерів **B** і **E** у грудні (рис. 3.6) розподілені в такий спосіб: у кластері **B** вони практично збігаються із кластером **C** у листопаді, тобто основне навантаження несуть також різниця температур повітря-вода (табл. 3.6 – 3.7) і зональна складова швидкості вітру, а в кластері **E** – більшою мірою швидкістю вітру і потоками схованого тепла.

У кластері **B** у січні (рис. 3.7) максимальне додатне навантаження приходить на потоки схованого тепла і різницю температур, що мають від'ємні середні значення. У кластері **D** - значення другого компонента формуються в основному під дією різниці температур і зональної складової швидкості вітру. Січневий кластер **C** (рис. 3.7), що складається з локальних зон в акваторії Північної Атлантики, здебільшого представлений у Норвежсько-Гренландської енергоактивної зоні і має додатне значення репрезентативного вектора другого головного компонента при додатних вагових коефіцієнтах вихідних характеристик. Це дозволяє прийняти гіпотезу про посилення в цьому

кластері активності процесів взаємодії двох середовищ обумовленим другим компонентом.

Третій головний компонент, як складова загальних процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери, який відрізняється від другого головного компонента дещо меншим внеском у загальну дисперсію, представлений по місяцях приблизно такою же кількістю однорідних районів, виділених при кластеризації, як і перші два головні компоненти (табл. 3.11, рис. 3.9 – 3.12).

Однак, незважаючи на це, загальна картина розподілу кластерів третього компонента відрізняється від розподілу перших двох компонентів, тобто на схемах кластеризації (рис. 3.9 – 3.12) вони більш представлені локальними осередками в різних частинах розглянутої території.

Таблиця 3.11 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих у Північній Атлантиці (третій головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	2.9	8.8	-12.9	-1.1
	7.78	9	1.49	1.21
<b>B</b>	-0.9	-2.5	13.7	9.9
	10.62	2.21	1.79	3.21
<b>C</b>	14.6	18.6	0.6	-13.9
	3.13	2.42	4.25	2.51
<b>D</b>	-14	-15.9	-	-
	2.33	3.1	-	-

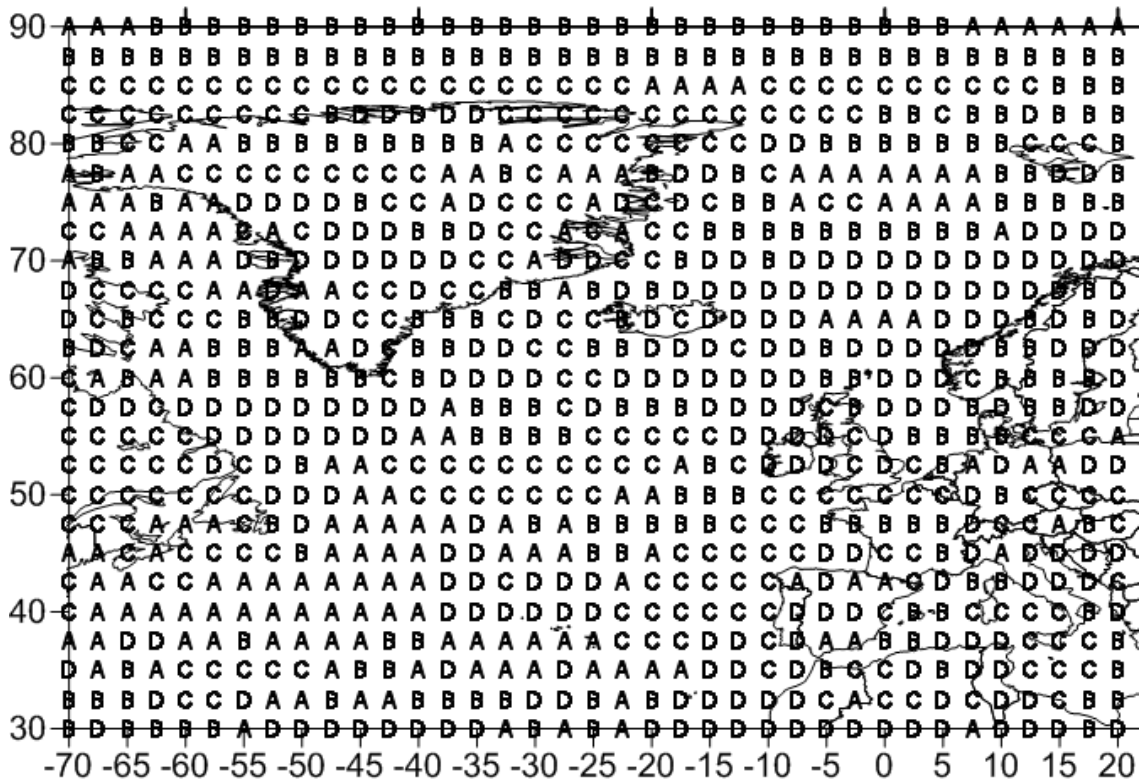


Рисунок 3.9 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (листопад)

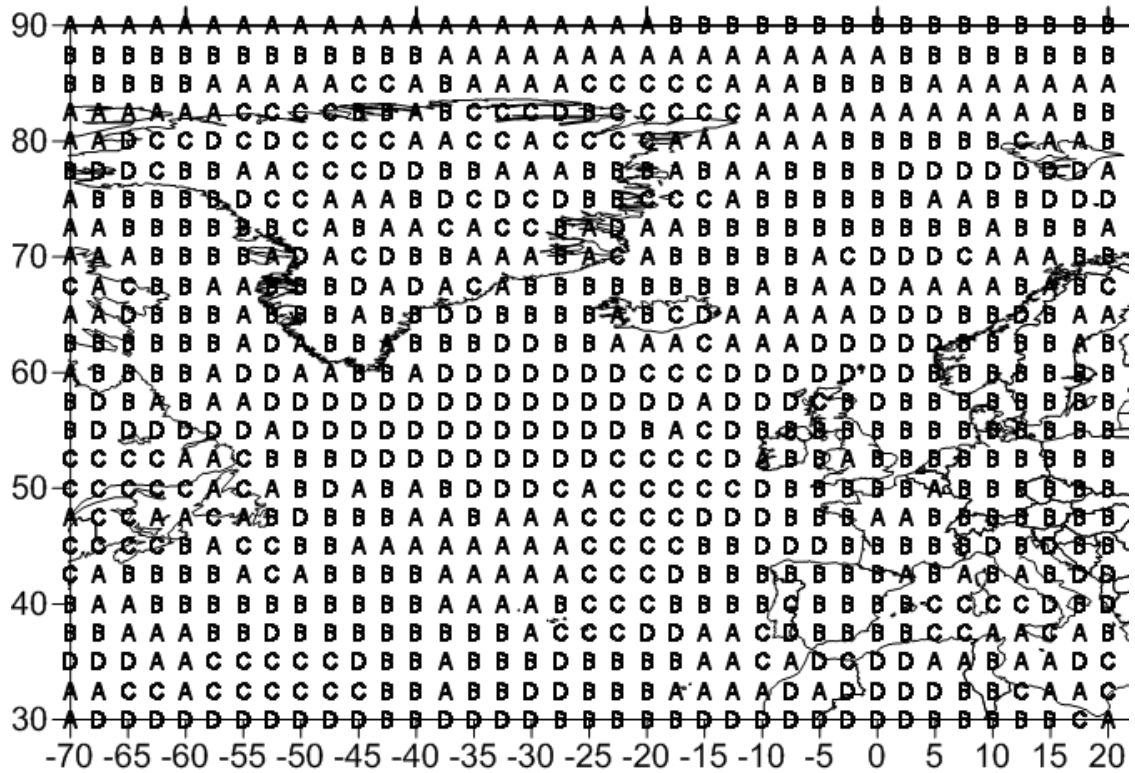


Рисунок 3.10 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (грудень)



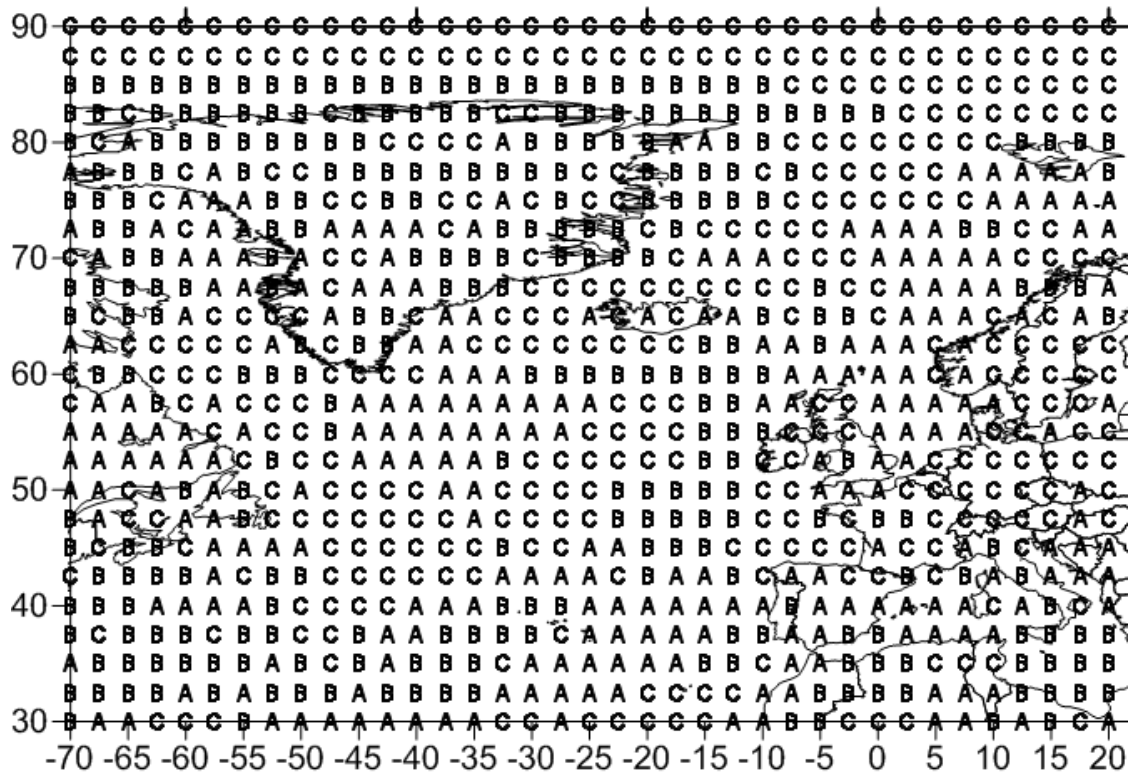


Рисунок 3.11 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (січень)

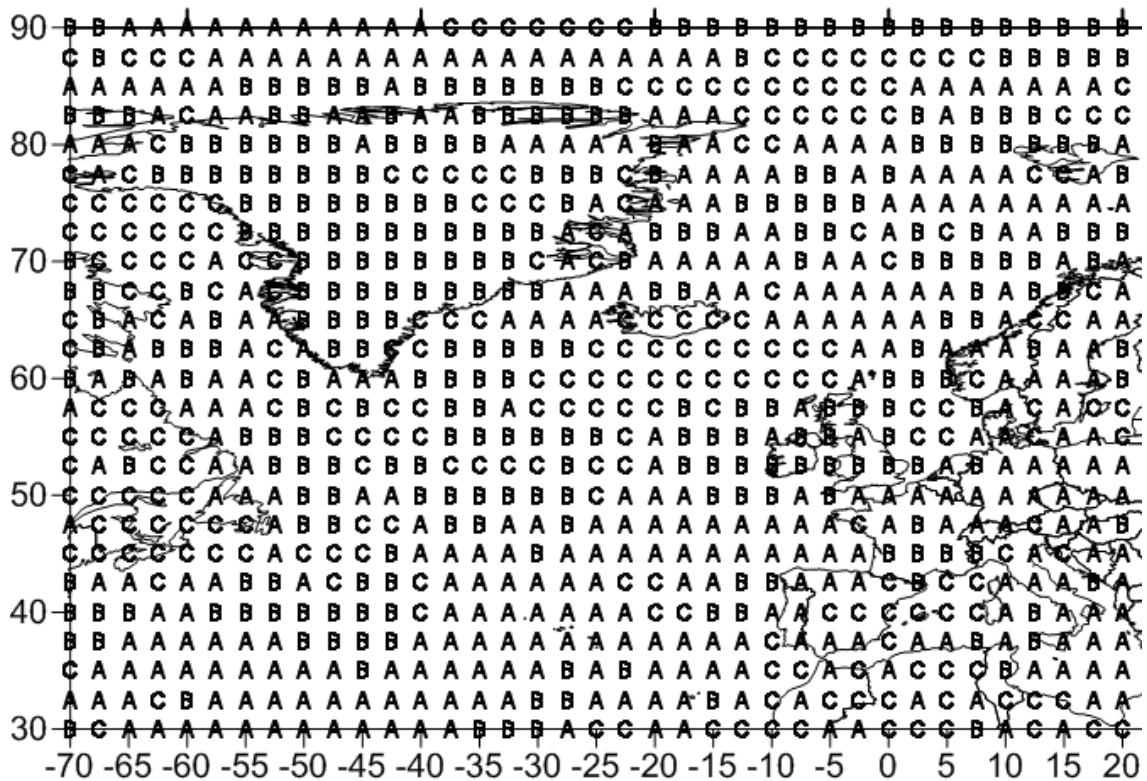


Рисунок 3.12 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в Північній Атлантиці , (лютий)

Згідно з ваговими коефіцієнтам (табл. 3.6 – 3.9), навантаження в третьому компоненті на вихідні характеристики приходяться, переважаючим чином, на зональну складову швидкості вітру (максимальне додатне навантаження в кластерах **B**, **D** (рис. 3.9), **B** (рис. 3.10), **A** (рис. 3.11), **A** (рис. 3.12)) і потоки схованого тепла (максимальне додатне навантаження в кластерах **A** (рис. 3.9), **A,C** (рис. 3.10), **C** (рис. 3.11), **B** (рис. 3.12)). Різниця температур повітря-вода проявляється з більшими ваговими коефіцієнтами спільно зі швидкістю вітру (кластер **C**, рис. 3.9), температурою повітря на висоті 2 м (кластер **B**, рис. 3.10) і зі значним від'ємним коефіцієнтом при температурі води (кластер **C**, рис. 3.12). Максимальні міжрічні дисперсії (табл. 3.11) репрезентативних векторів третього головного компонента (кластер **B** (рис. 3.9), **A** (рис. 3.10), **C** (рис. 3.11), **B** (рис. 3.12)) значно менше максимальних міжрічних дисперсій в однорідних районах, які мають відношення до перших двох головних компонентів. Це свідчить про наявність деякої стабільності в процесах, що характеризуються третім головним компонентом фізичних параметрів взаємодії океану й атмосфери в міжрічному періоді. Максимальні від'ємні значення даного компонента відзначаються в кластерах **D** (рис. 3.9), **D** (рис. 3.10), **A** (рис. 3.11), **C** (рис. 3.12), а додатні - у кластерах **C** (рис. 3.9, 3.10) і **B** (рис. 3.11, 3.12). Що стосується територіального розташування існуючих циклічних енергоактивних зон океану [37], найбільшу область їх охоплюють кластери: у Норвежсько-Гренландської ЕОА (а) – **B**, **C**, **D** (рис. 3.9), **A**, **B** (рис. 3.10), **A**, **B**, **C** (рис. 3.11), **A**, **B**, **C** (рис. 3.12); у Норвежсько-Гренландської ЕОА (б) - **B**, **D** (рис. 3.9), **A**, **B**, **D** (рис. 3.10), **A**, **C** (рис. 3.11), **A**, **B**, **C** (рис. 3.12); у Ньюфаундлендської ЕОА - **A**, **B**, **C** (рис. 3.9), **A**, **B**, **C** (рис. 3.10), **A**, **C** (рис. 3.11), **A**, **B**, **C** (рис. 3.12); Канарської ЕОА - **A**, **B**, **D** (рис. 3.9), **A**, **B**, **D** (рис. 3.10), **A**, **C** (рис. 3.11), **A**, **B**, **C** (рис. 3.12).

Наявність неоднорідностей у територіальному розподілі третього головного компонента в одній і тій ж енергоактивній зоні, а також повторення тих самих кластерів у різних ЕАО свідчить про різноманітність атмосферних

процесів у районах ЕАО. Цей факт підтверджується величиною внеску в загальну дисперсію третього головного компонента і знаходить відображення в розподілі вагових коефіцієнтів при вихідних характеристиках.

Наступною важливою задачею є визначення основних неоднорідностей у структурі параметрів, що визначають температурно-вологісний режим і деформацію висотного баричного поля на поверхнях 850 гПа й 700 гПа. Результати кластеризації перших трьох головних компонентів, як параметрів енергетичного стану атмосфери на цих поверхнях, а також статистичні характеристики репрезентативних векторів представлені нижче.

*Розподіл однорідних районів першого головного компонента на поверхні 850 гПа над територією Північної Атлантики в усі місяці показує наявність трьох однорідних районів з додатними середніми значеннями репрезентативних векторів (табл. 3.12). Ці райони мають як відмінності, так і схожість у значеннях і в знаках вагових коефіцієнтів при вихідних характеристиках.*

Таблиця 3.12 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих над районом Північної Атлантики (перший головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	17.9	18.4	20.5	18.5
	2.64	3.2	3.72	2.53
<b>B</b>	25.1	24.6	13.4	17.3
	5.47	4.39	25.36	56.89
<b>C</b>	0.8	0.6	0.9	2.3
	2.06	1.99	2.87	7.21

Враховуючи на це, а також, те, що значення температури повітря, масової частки водяної пари і геопотенціалу мають тільки додатний знак, а відносний вихор швидкості і зональна складова швидкості вітру міняють знак з додатного на від’ємний залежно від географічного розташування кластера, проведемо аналіз перших трьох головних компонентів.

Найбільший кластер А першого головного компонента, представлений на рис. 3.13, рис. 3.14, рис. 3.15, рис. 3.16, характеризується від’ємними ваговими навантаженнями на зональну складову швидкості вітру і відносний вихор швидкості (табл. 3.13 – 3.16), які, у свою чергу, у районі розташування цього кластера мають у середньому додатні значення. Тільки вище 80° півн.ш. швидкість вітру змінює знак. Ці навантаження по абсолютній величині дещо нижче навантажень на інші характеристики.

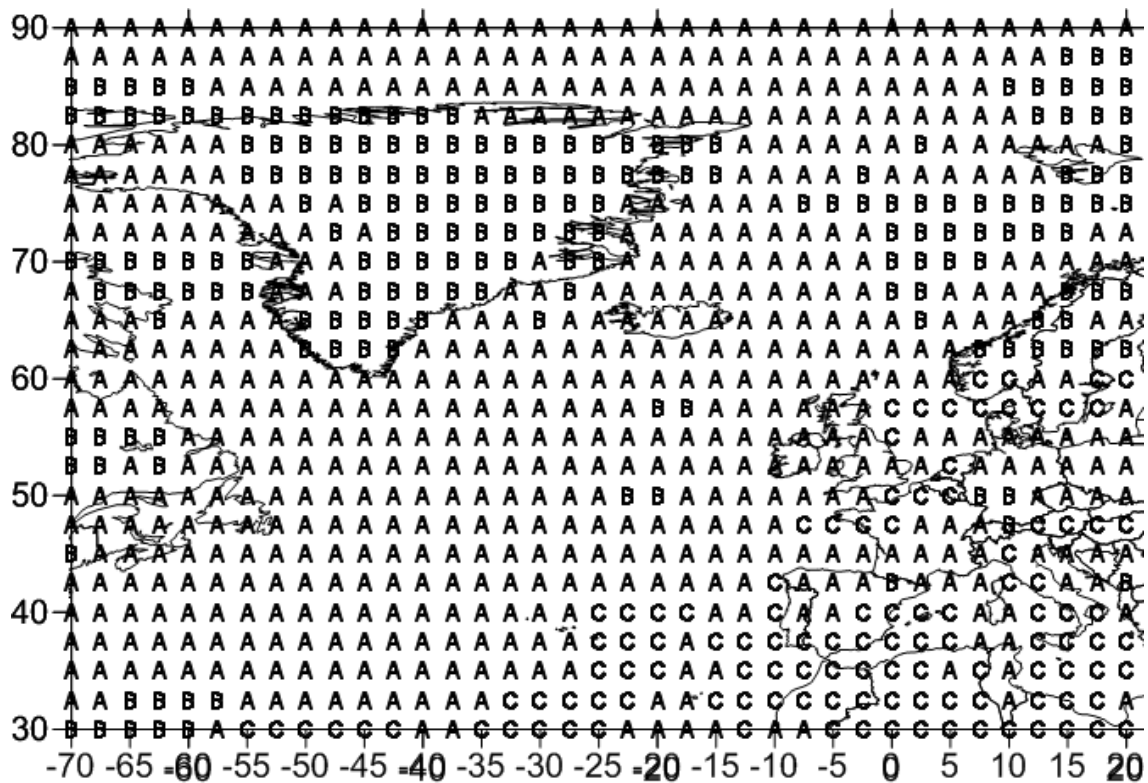


Рисунок 3.13 – Просторовий розподіл кластерів 1-ого головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (листопад)

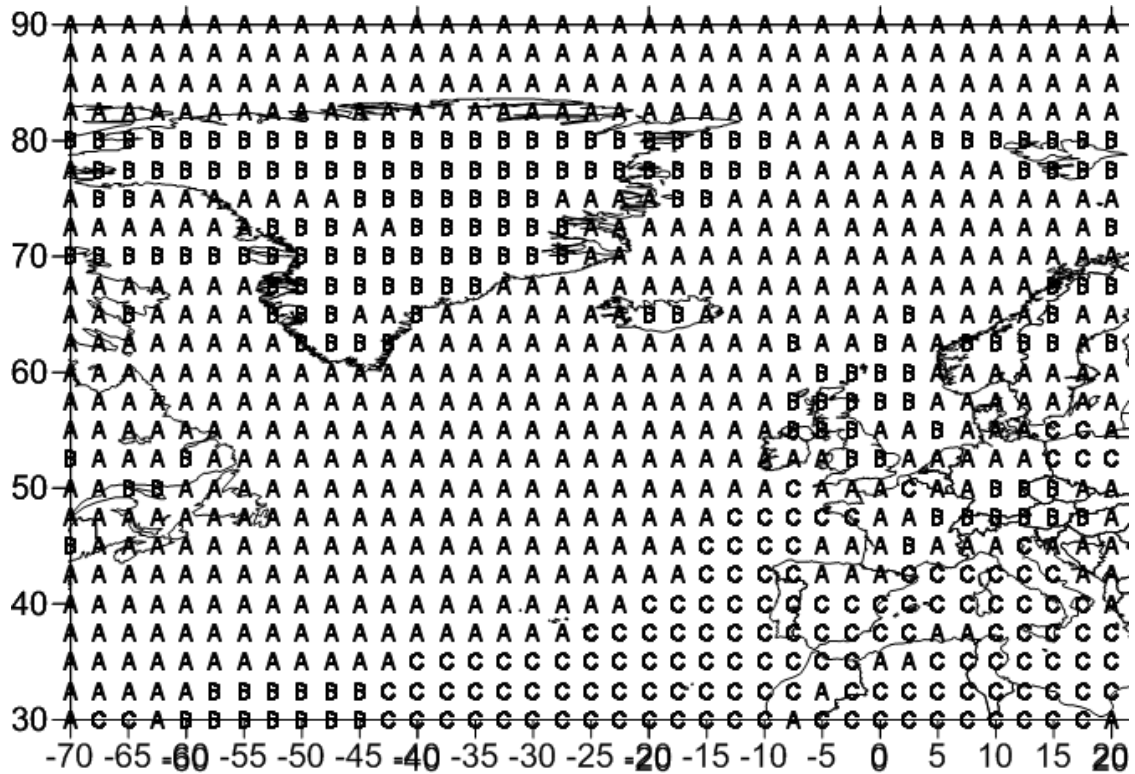


Рисунок 3.14 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (грудень)

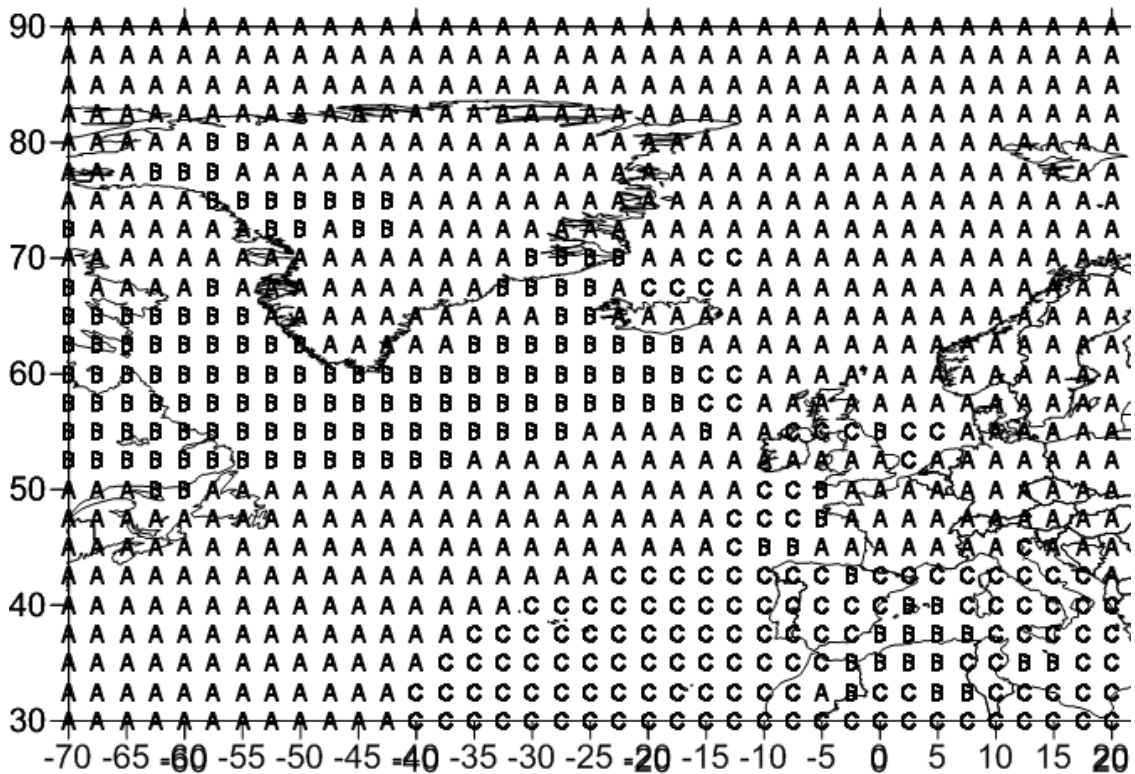


Рисунок 3.15 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (січень)

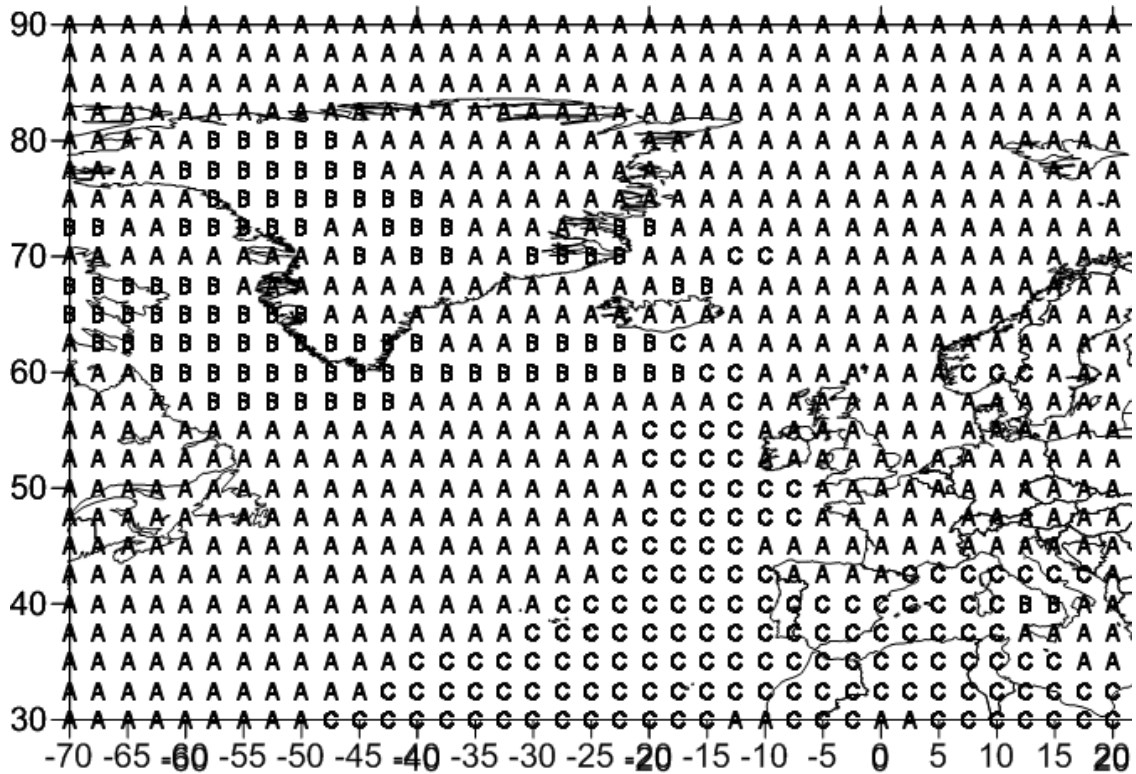


Рисунок 3.16 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (лютий)

Таблиця 3.13 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів на поверхні 850 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (листопад)

Координати власних векторів										
1-й власний вектор			2-й власний вектор				3-й власний вектор			
Літера кластера										
A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	D
0,51	0,54	-0,28	0,38	-0,11	0,37	0,03	0,24	-0,22	0,09	-0,44
0,43	0,53	0,41	0,57	-0,11	0,20	-0,13	0,34	-0,27	-0,01	-0,58
0,49	0,48	-0,59	-0,35	-0,61	0,25	0,34	-0,63	-0,06	0,51	0,01
-0,43	0,29	0,41	0,22	-0,36	-0,41	-0,25	0,48	0,89	0,77	-0,52
-0,36	-0,34	0,49	0,60	0,69	0,77	0,90	0,44	-0,29	0,37	0,46

Продовження табл.3.13

Координати власних векторів										
1-й власний вектор			2-й власний вектор				3-й власний вектор			
Літера кластера										
Власні значення/внесок у загальну дисперсію										
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
2,6	2,6	2,6	1,3	1,0	0,9	1,1	0,9	0,8	0,7	0,85
52,3	51,4	51,9	26,8	20,9	18,8	21,8	17,0	16,6	14,0	17,05

Таблиця 3.14 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів поверхні 850 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (грудень)

Координати власних векторів										
1-й власний вектор			2-й власний вектор				3-й власний вектор			
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0,49	0,50	-0,17	-0,41	-0,40	0,25	0,01	0,66	-0,2	0,02	0,07
0,34	0,54	0,48	-0,66	-0,20	0,26	0,16	0,44	-0,2	-0,1	0
0,55	0,47	-0,56	0,31	-0,07	-0,15	-0,40	0,38	0,16	0,84	-0,1
-0,38	0,33	0,33	-0,19	0,64	-0,64	0,63	0,28	0,86	0,41	-0,9
-0,45	-0,36	0,56	-0,51	-0,62	0,66	0,65	-0,37	-0,3	-0,3	0,5
Власні значення/внесок у загальну дисперсію										
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
2,2	2,7	2,6	1,5	1,6	1,2	1,4	1,7	0,7	0,7	0,9
44,1	53,9	52,2	29,3	32,3	24,0	27,3	33,7	14,8	13,5	18,4

Таблиця 3.15 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів на поверхні 850 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (січень)

Координати власних векторів													
1-й власний вектор			2-й власний вектор					3-й власний вектор					
Літера кластера													
А	В	С	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е	Ф
0,62	0,47	-0,12	-0,04	0,12	0,34	-0,62	0,00	0,08	-0,34	0,00	0,31	-0,48	0,20
0,46	0,44	-0,37	0,28	-0,22	0,39	-0,26	-0,10	0,05	-0,25	-0,06	0,13	-0,21	0,21
0,53	0,37	0,62	-0,50	0,61	0,47	-0,03	0,61	0,76	0,34	-0,01	0,12	-0,02	0,61
-0,25	-0,48	-0,28	0,54	-0,36	0,57	0,60	-0,43	0,62	0,79	-0,69	-0,72	0,76	0,50
-0,24	-0,46	-0,62	0,62	-0,67	-0,44	-0,43	-0,66	0,19	-0,29	0,72	0,60	0,39	0,55
Власні значення/внесок у загальну дисперсію													
Літера кластера													
А	В	С	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е	Ф
2,0	3,8	2,1	1,7	1,5	1,2	0,9	1,6	0,7	0,5	0,9	0,8	0,7	0,4
40,6	75,8	42,2	33,2	30,1	24,4	17,7	31,2	12,9	10,5	17,4	16,4	13,7	7,5

Таблиця 3.16 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів на поверхні 850 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (лютий)

Координати власних векторів											
1-й власний вектор			2-й власний вектор				3-й власний вектор				
Літера кластера											
А	В	С	А	В	С	А	В	С	Д	Е	Ф
0,69	0,48	0,26	0,16	-0,69	0,71	-0,01	0,19	-0,54	0,05	0,19	
0,66	0,47	-0,34	-0,27	-0,37	0,49	-0,18	-0,02	-0,01	0,00	0,40	



Продовження табл.3.16

Координати власних векторів										
1-й власний вектор			2-й власний вектор			3-й власний вектор				
Літера кластера										
0,08	0,38	0,54	0,68	0,29	0,24	0,63	0,39	-0,05	0,03	0,32
-0,29	-0,44	-0,55	-0,08	0,46	0,41	0,75	0,20	0,77	0,76	0,58
0,06	-0,47	0,47	-0,66	-0,31	-0,18	0,07	0,88	0,33	0,64	0,61
Власні значення/внесок у загальну дисперсію										
Літера кластера										
А	В	С	А	В	С	А	В	С	Д	Е
1,9	3,7	2,6	1,6	1,2	1,5	1,19	0,9	0,6	1,1	0,7
37,5	74,7	52,7	32,1	24,1	29,4	21,8	17,3	12,0	22,5	13,1

Викликає інтерес зміна форми і географічних границь однорідних зон залежно від місяця. Так у листопаді і у грудні кластер **В** відрізняється, практично, тільки додатковим осередком у районі Північного моря в грудні (рис. 3.14) і більш об'ємним осередком, що простирається від Норвезького моря, через острів Шпіцберген на північ у листопаді (рис. 3.13). На наступних схемах кластеризації (рис. 3.15, рис. 3.16) цей кластер проявляється у вигляді витягнутої зони, що займає простір від заливу Баффіна через південний край Гренландії до південного краю Ісландії. Таким же чином простежується зміна структури кластера **С** (рис. 3.13 – 3.16). У листопаді він має осередкову структуру в південно-східній частині Північної Атлантики, а в інші місяці перетвориться в єдину однорідну область, що поширюється з півдня на північ.

*Кластеризація полів другого головного компонента параметрів стану атмосфери на поверхні 850 гПа* відрізняється від кластеризації першого та третього компонентів більшою кількістю локальних осередків однойменних однорідних зон (рис. 3.17 – 3.20). Особливо це простежується в перші три місяці (листопад, грудень, січень).

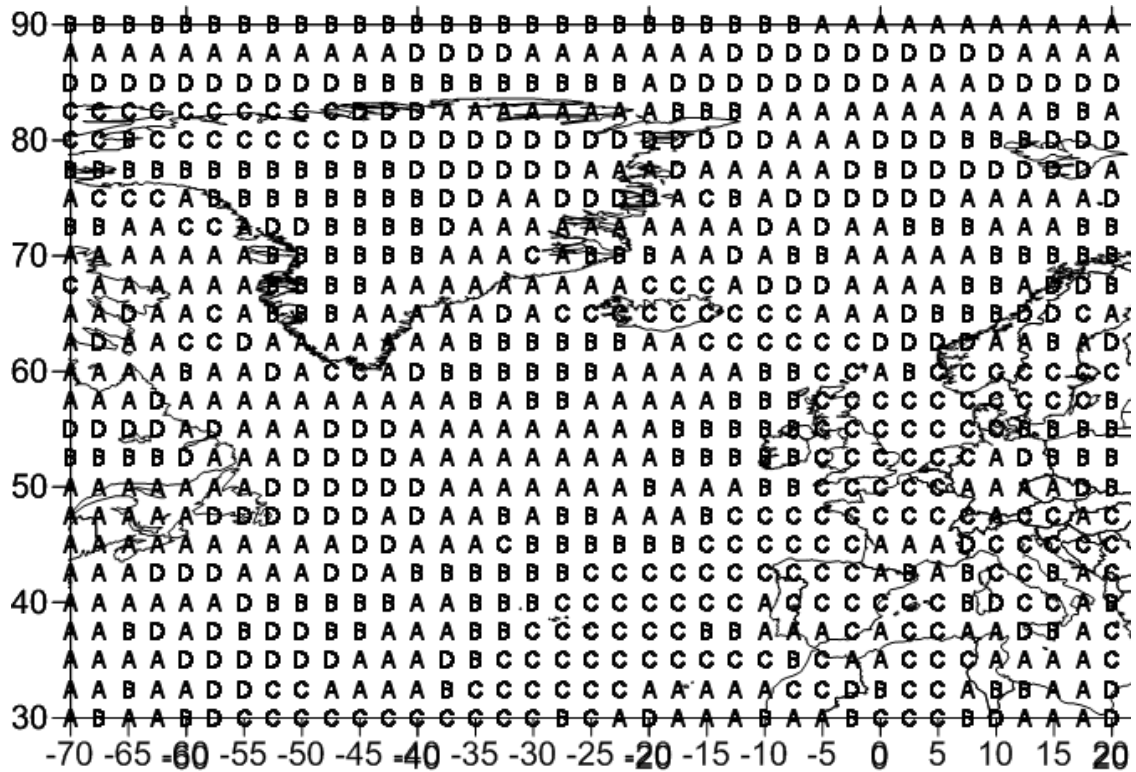


Рисунок 3.17 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (листопад)

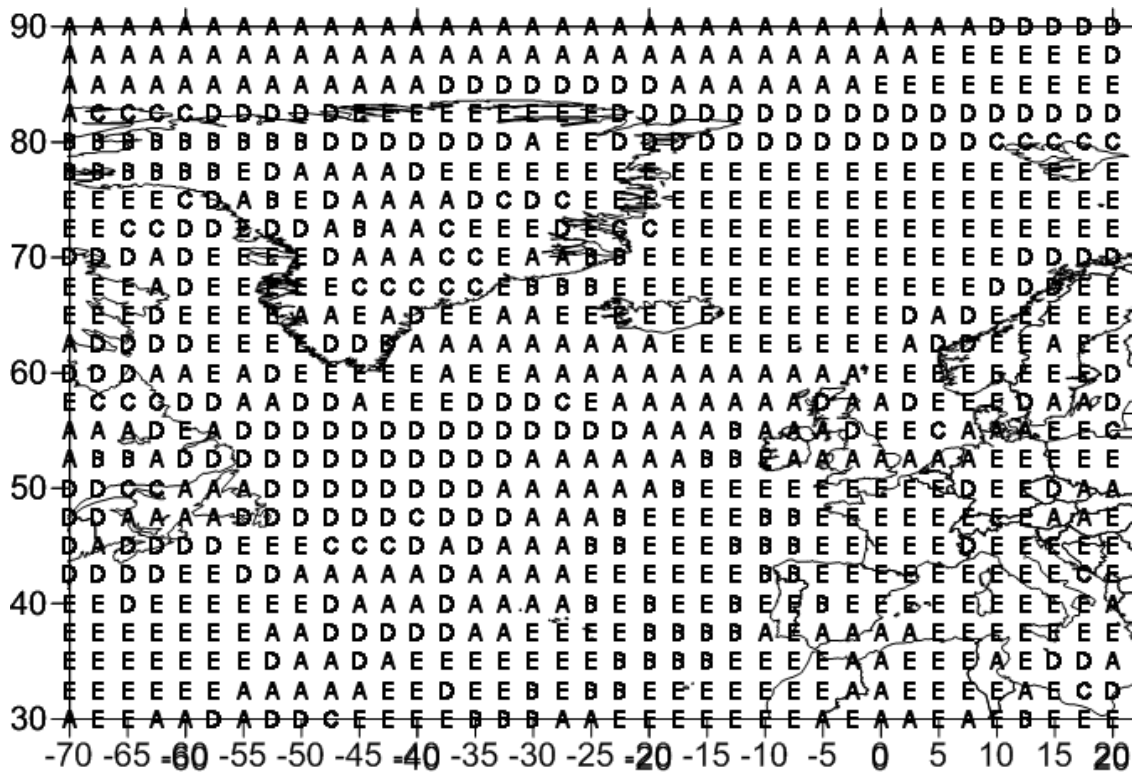


Рисунок 3.18 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (грудень)

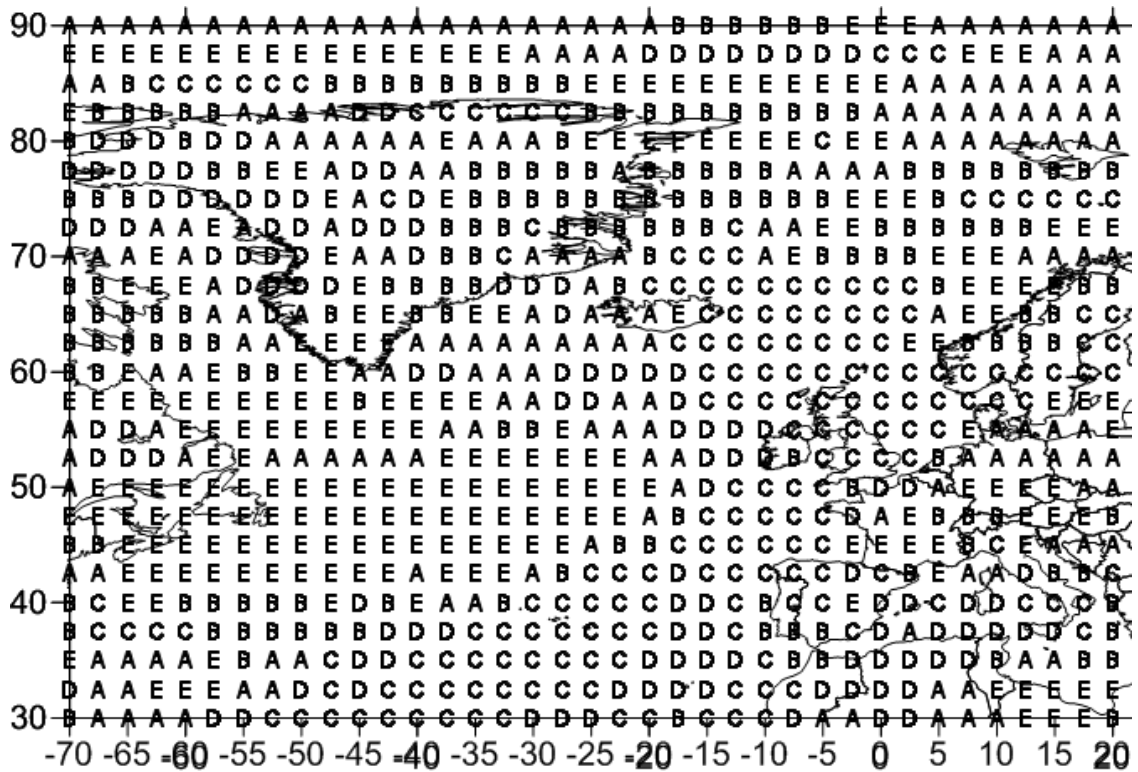


Рисунок 3.19 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (січень)

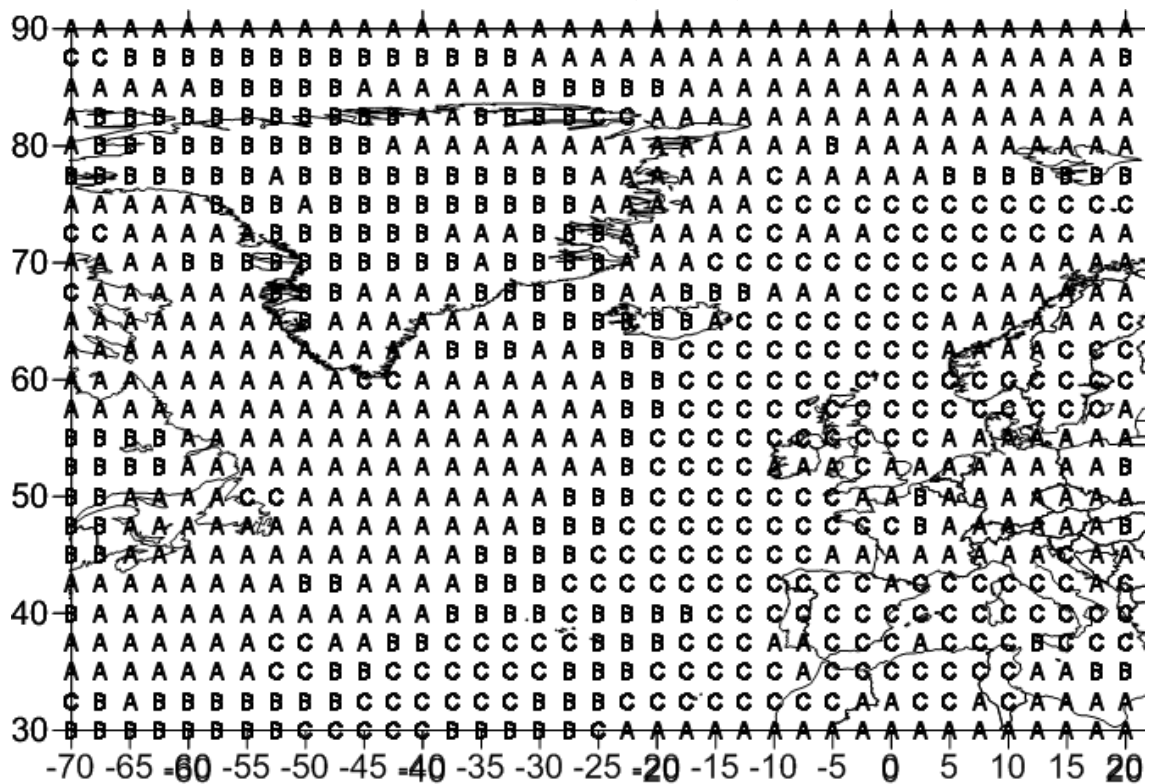


Рисунок 3.20 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (лютий)

У лютому, картина змінюється: у полі другого компонента присутні три кластери, а в поле третьої – п'ять, і кластери вже являють собою більш великі однорідні райони різноманітної конфігурації.

У листопаді в кластері С (рис. 3.17) середнє значення репрезентативного вектора другого компонента має максимальну додатну величину (табл. 3.17). Максимальне значення координати власного вектора з додатним знаком (0.77) тут відповідає відносному вихру швидкості.

Таблиця 3.17 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих над районом Північної Атлантики (другий головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	6.3	-9.6	-6.1	6
	4.38	4.57	9.23	2.83
<b>B</b>	-12.8	21.5	10	-13.9
	4.98	24.86	6.18	3.97
<b>C</b>	21.4	4.9	21.1	20.9
	2.26	30.89	2.05	3.79
<b>D</b>	-2	0.9	-18.1	-
	8.65	17.47	6.47	-
<b>E</b>	-	15.8	2.4	-
	-	2.62	2.04	-

Наступне за модулем значення координати власного вектора приходить на зональну складову швидкості вітру, але вже з від'ємним знаком (табл. 3.13). Додатний знак середнього значення цієї характеристики (табл. 3.17) свідчить про понижувальну роль її у формуванні значення другого головного

компонента. Невеликі осередки кластера **С** (рис. 3.17) розташовуються над північно-західною частиною Гренландії, північним сходом моря Баффіна, протокою Дейвиса.

Основна частина цієї однорідної зони (кластер **С**, рис. 3.17) являє собою меридіонально орієнтовану область протяжністю від острова Ісландія, через Північне море і острів Великобританія - уздовж холодної Канарської течії на південь.

Інтерес представляє також кластер **В** (рис. 3.17) значення репрезентативного вектора в якому, має від'ємний знак (знак вагових коефіцієнтів при чотирьох з п'яти вихідних характеристик є від'ємним) і другу по модулі величину. Основне навантаження в другому головному компоненті тут доводиться також на відносний вихор (знак додатний) і геопотенціал (знак від'ємний). Розташовується кластер **В** у такий спосіб: над західною половиною Гренландії (зона утворення циклонічних вихрів); над зоною зіткнення Східно-Гренландської і західної гілки Північноатлантичної (течії Ірмінгера) течій (над Норвежсько-Гренландською ЕАО, зона а); над акваторією океану, пов'язаною з західними берегами Скандинавського півострова (над Норвежсько-Гренландською ЕАО, зона б). Основна частина однорідної зони **В** граничить із найбільшим осередком кластера **С** з західної сторони.

У грудні найбільше середнє значення другого головного компонента (додатний знак) на поверхні 850 гПа відповідає кластеру **В** (рис. 3.18). Значення репрезентативного вектора в цьому кластері формуються в основному, так само як і в кластері **С** (рис. 3.17), за рахунок відносного вихру (знак навантаження від'ємний) і зональної складової швидкості вітру (знак навантаження додатний). Ці характеристики визначають і велику міжрічну дисперсію репрезентативного вектора кластера **В**. Друга однорідна зона з підвищеною енергетичною активністю атмосфери на поверхні 850 гПа в грудні – це зона **Е** (рис. 3.18). Стан атмосфери в цій зоні визначають наступні вихідні характеристики: з додатними навантаженнями - температура (0,66), вологість

(0,44), геопотенціал (0,38); з від'ємним навантаженням - вихор швидкості (-0,37) (табл. 3.14). Зона **Е** (рис. 3.18) розташовується великими осередками над Норвежсько-Гренландської ЕАО, Ньюфаундлендської ЕАО, протокою Дейвиса, а також разом з осередком кластера **В**, що перебуває над холодною Канарською течією, займає простір над східною частиною Північної Атлантики й Західною Європою.

Кластери **С** у січні (рис. 3.19) і лютому (рис. 3.20) мають схожість із кластером **Е** у грудні (рис. 3.18), а саме, мають максимальні додатні значення репрезентативних векторів і займають простір над східною частиною акваторії Північної Атлантики. Тут же, в районі знаходження однорідної зони **В** (рис. 3.18), розташовується зони **Д** (рис. 3.19) і **В** (рис. 3.20) з великим (за модулем) середнім значенням репрезентативного вектора, але з від'ємним знаком. Основні навантаження на характеристики стану атмосфери в цих кластерах розподілені таким чином: у кластері **С** (рис. 3.19) - на зональну складову швидкості вітру, геопотенціал (додатні знаки), вихор швидкості (від'ємний знак); у кластері **Д** (рис. 3.19) - на температуру повітря (від'ємний знак), зональну складову швидкості вітру (додатний знак) і вихор швидкості (від'ємний знак); у кластері **С** (рис. 3.20) - на температуру повітря, вологості й зональну складову швидкості вітру (додатні знаки); у кластері **В** (рис. 3.20) - на температуру повітря, зональну складову швидкості вітру (додатні знаки), вологість і вихор швидкості (від'ємні знаки) (табл. 3.15 – 3.16).

Однак, крім відмінностей у розподілі навантажень на характеристики стану атмосфери, у лютому спостерігаються ще відмінності в розташуванні осередків кластерів **В** і **С** (рис. 3.20). Великий осередок однорідної зони **В** (рис. 3.20) витягнутої форми займає простір над центральною гілкою Північноатлантичної течії, течії Ірмінгера, центральною й західною частинами Гренландії, а кластер **С** (рис. 3.20) - над Норвезьким морем (Норвежсько-Гренландською ЕАО, зоною б).

*Репрезентативні вектори третього головного компонента*, що відбивають на поверхні 850 гПа підвищений енергетичний стан атмосфери, відповідають кластерам **С** (рис. 3.21), **В** (рис. 3.22), **Г** (рис. 3.23), **Е** і **В** (рис. 3.24). Всі перераховані однорідні зони знаходяться над центральною й західною частинами акваторії Північної Атлантики, включаючи Ньюфаундлендську ЕАО (район сходження теплих і холодних вод Північноатлантичної і Лабрадорської течій), Лабрадорське море і море Баффіна. При цьому в листопаді кластер **С** (рис. 3.21) є самим великим з розглянутих кластерів і охоплює, ще додатково, область над островом Великобританія, Північним морем і південною частиною Норвезького моря.

Значення репрезентативних векторів третього головного компонента в цих однорідних зонах залежать, в основному, від геопотенціала, зональної складової швидкості вітру, і відносного вихору швидкості (табл. 3.13 – 3.16).

У кластері **Е** (рис.3.24) до цих характеристик додається вологість, а в кластері **В** (рис.3.24) беруть участь, тільки з більшим ваговим коефіцієнтом, відносний вихор і, набагато меншим по величині, але, проте, значимим - геопотенціал.

Репрезентативні вектори однорідних зон **Д** (рис. 3.21), **А** (рис. 3.22), **Е** (рис. 3.23), **С** (рис. 3.24) характеризуються великими по величині від'ємними значеннями третіх компонентів (табл. 3.18). Отже, ці однорідні зони теж можна віднести до розряду однорідних зон з підвищеною енергетичною активністю атмосфери. При цьому тільки в кластері **Д** (рис. 3.21) мають місце істотні від'ємні навантаження на вихідні характеристики (при масовій частки водяної пари (-0,58), зональної складової швидкості вітру (-0,52), температурі (-0,44)) (табл. 3.13).

У січні в зоні **Е** (рис. 3.23) велике по величині від'ємне значення третього компонента формується за рахунок від'ємних значень зональної складової швидкості вітру (навантаження – 0.76) і температури повітря (навантаження – (-0.48)) (табл. 3.15).

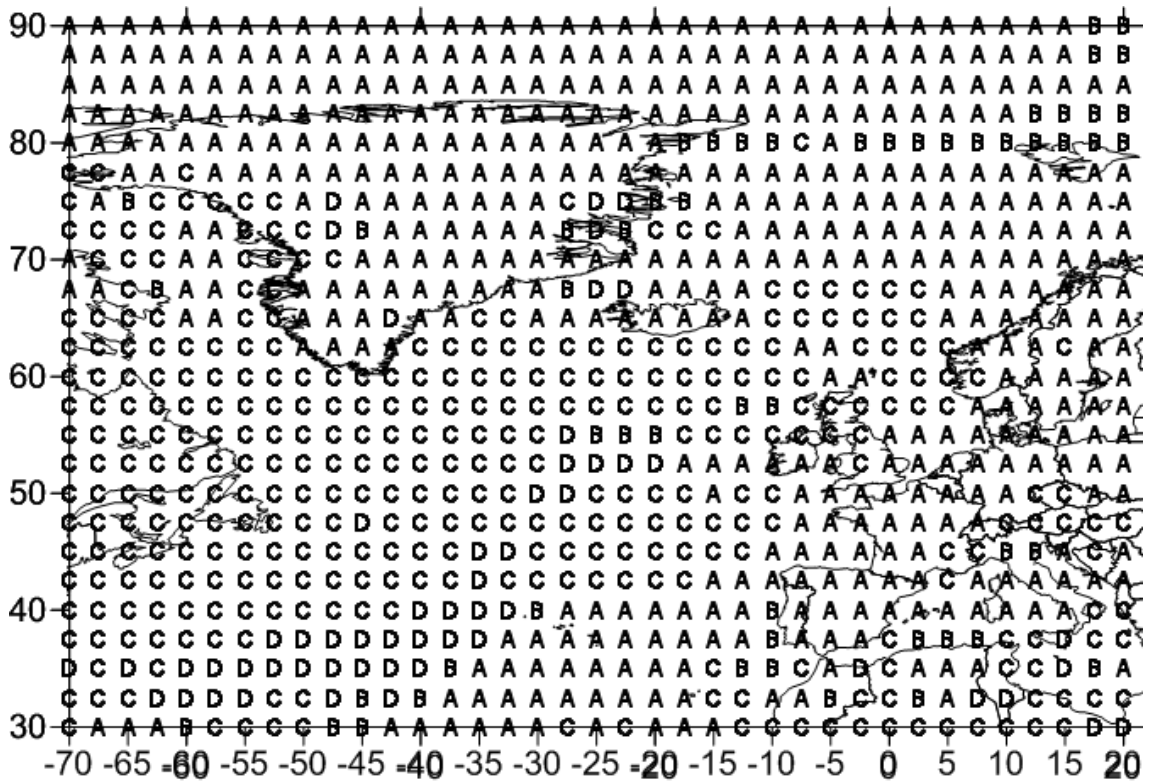


Рисунок 3.21 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (листопад)

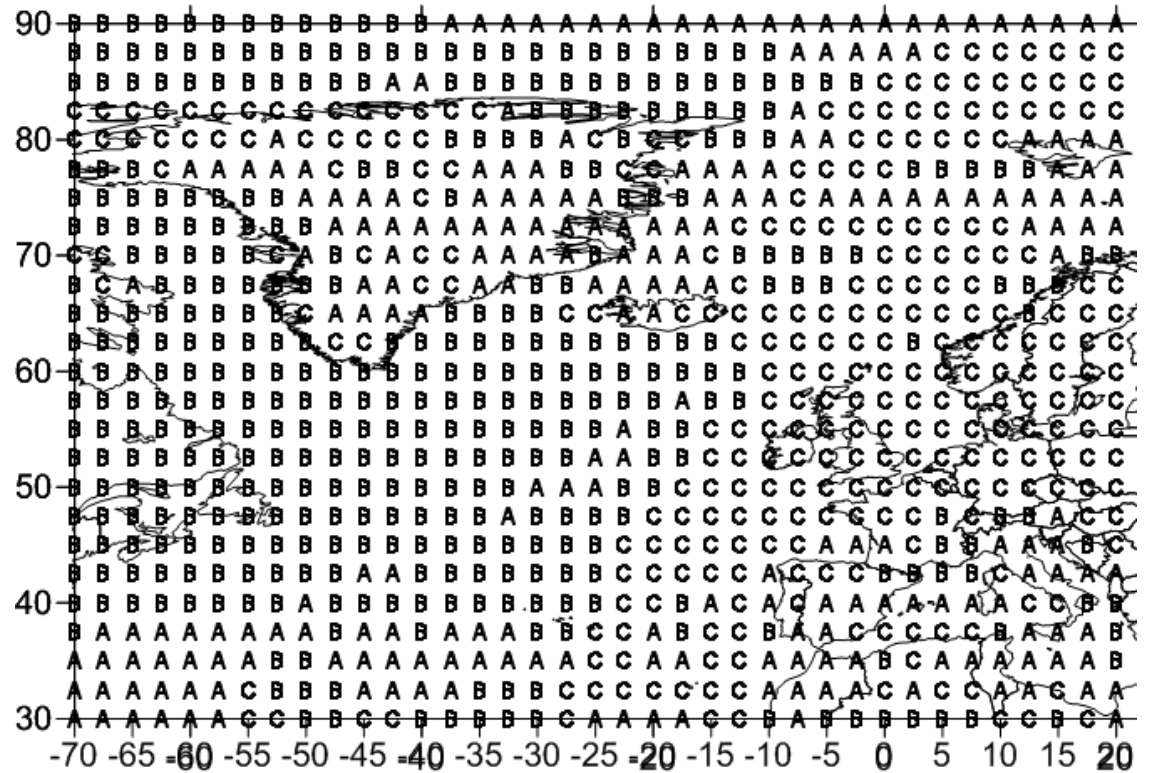


Рисунок 3.22 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (грудень)



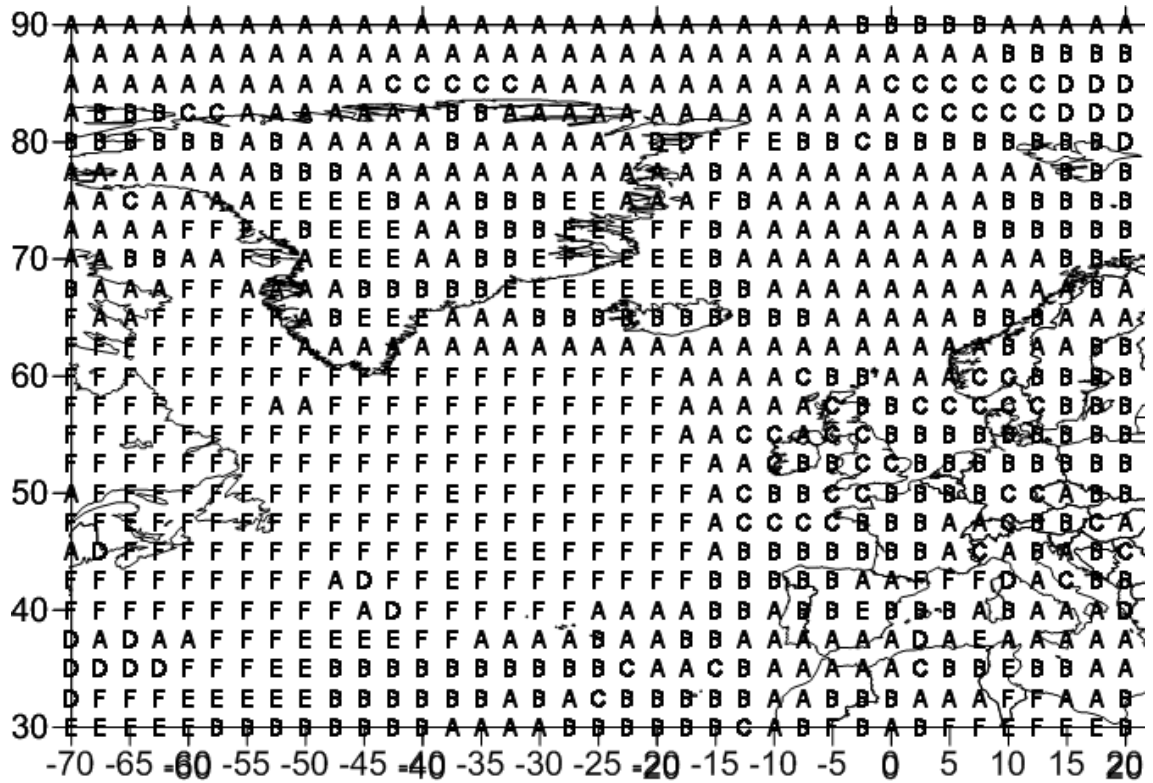


Рисунок 3.23 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (січень)

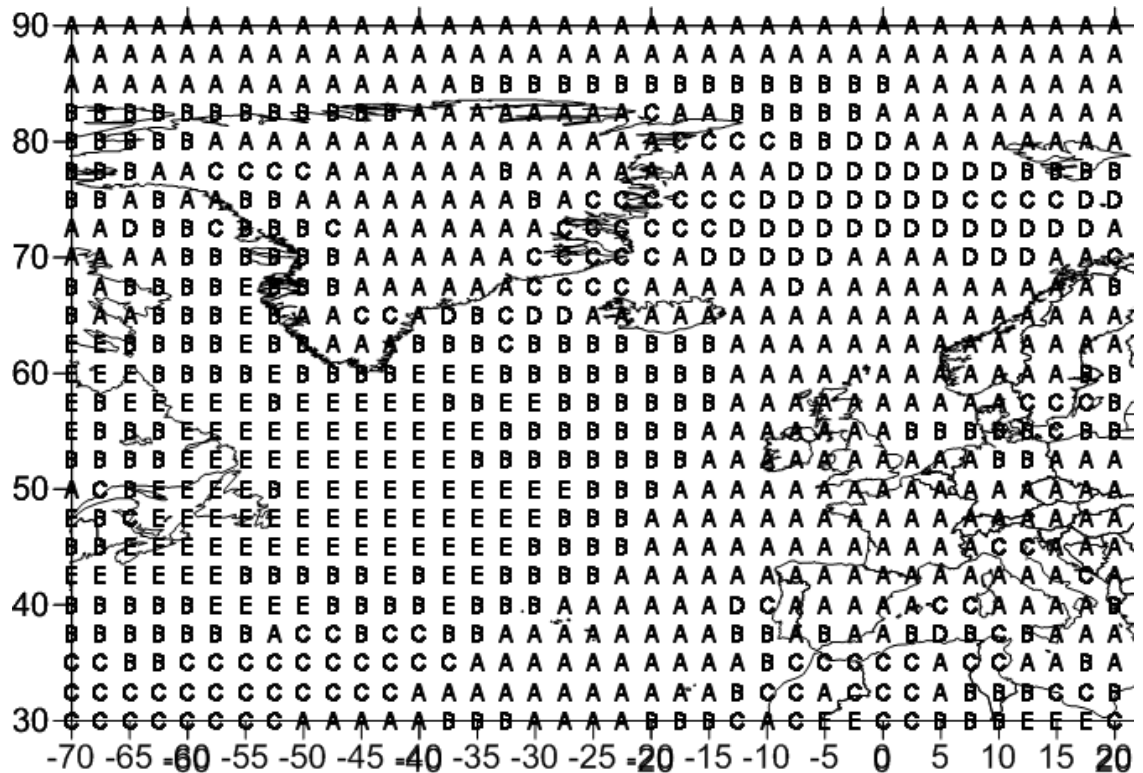


Рисунок 3.24 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа над Північною Атлантикою, (лютий)

Таблиця 3.18 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів енергетичного стану атмосфери на поверхні 850 гПа в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих над районом Північної Атлантики (третій головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	-0.3	-9.5	7.3	-1.5
	4.73	7.01	5.38	3.72
<b>B</b>	-11	14.7	-5.9	14.5
	40.72	3.88	4.24	3.33
<b>C</b>	17.9	1.5	2.5	-15.4
	7.76	8.91	25.99	4.64
<b>D</b>	-18.5	-	16.5	3.3
	19.13	-	45.07	76.19
<b>E</b>	-	-	-20.2	23.3
	-	-	8.17	20.75
<b>F</b>	-	-	20.9	-
	-	-	12.53	-

Аналогічна по навантаженнях картина спостерігається і у кластері **C** (рис. 3.24) у лютому. Осередки однорідних зон **E** (рис. 3.23) і **C** (рис. 3.24) практично збігаються і мають місце: над заходом Гренландії, над Східно-Гренландською течією (у східного узбережжя Гренландії, Норвежсько-Гренландською ЕАО, зоною а) і в районі Саргасова моря. Однак у зони **E** (рис. 3.23) є ще одне осередок, відсутній у лютому (**C** (рис. 3.24)) - над Британськими островами і їх прибережними водами. Листопадовий кластер **D** (рис. 3.21) територіально граничить із кластером **C** (рис. 3.21) і утворює два

осередки над системою Гольфстрім-Північноатлантична течія. Остання, із зазначених зон з від'ємним значенням третього головного компонента, зона **A** (рис. 3.22), частково повторює розташування кластерів **E** (рис. 3.23) і **C** (рис. 3.24), але й у теж час займає більшу частину простору над Гренландією і над північною акваторією Норвезького моря (Норвежсько-Гренландською ЕАО, зоною б))

*Розподіл значень першого головного компонента характеристик енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над територією Північної Атлантики відрізняється різноманітністю від місяця до місяця (рис. 3.25 – 3.28).*

У листопаді спостерігається велика однорідна зона, що займає близько двох третин простору над акваторією Північної Атлантики і ділянками суши, що примикають, (рис. 3.25 - кластер **A**).

Тільки в північній частині присутній витягнутий кластер - над більшою територією Гренландії, південною частиною моря Баффіна й Гренландським морем (Норвежсько-Гренландською ЕАО, частиною а) (рис. 3.25 - кластер **B**).

Другий осередок цього кластера розташовується над північною частиною Норвезького моря (Норвежсько-Гренландською ЕАО, частиною б). Кластеру **A** (рис. 3.25) відповідає мінімальна міжрічна дисперсія репрезентативного вектора першого головного компонента і мінімальне додатне середнє значення, а кластеру **B** (рис. 3.25) - значна дисперсія і максимальне додатне середнє значення (табл. 3.19).

Основний внесок у формування значень репрезентативних векторів головного компонента однорідних зон **A** і **B** (рис. 3.25) вносять значення температури повітря, масової частки водяної пари і геопотенціалу (значення додатні). Вагові навантаження при них мають додатний знак (табл. 3.20).

Дещо меншу роль тут грають значення зональної складової швидкості вітру (у кластері **A** - вагове навантаження від'ємне, у кластері **B** - додатне, значення характеристики - додатне) і відносного вихру швидкості (в обох кластерах вагові навантаження від'ємні (табл. 3.20), значення характеристики в центральній частині Гренландії від'ємне, на іншій території - незначне додатне).

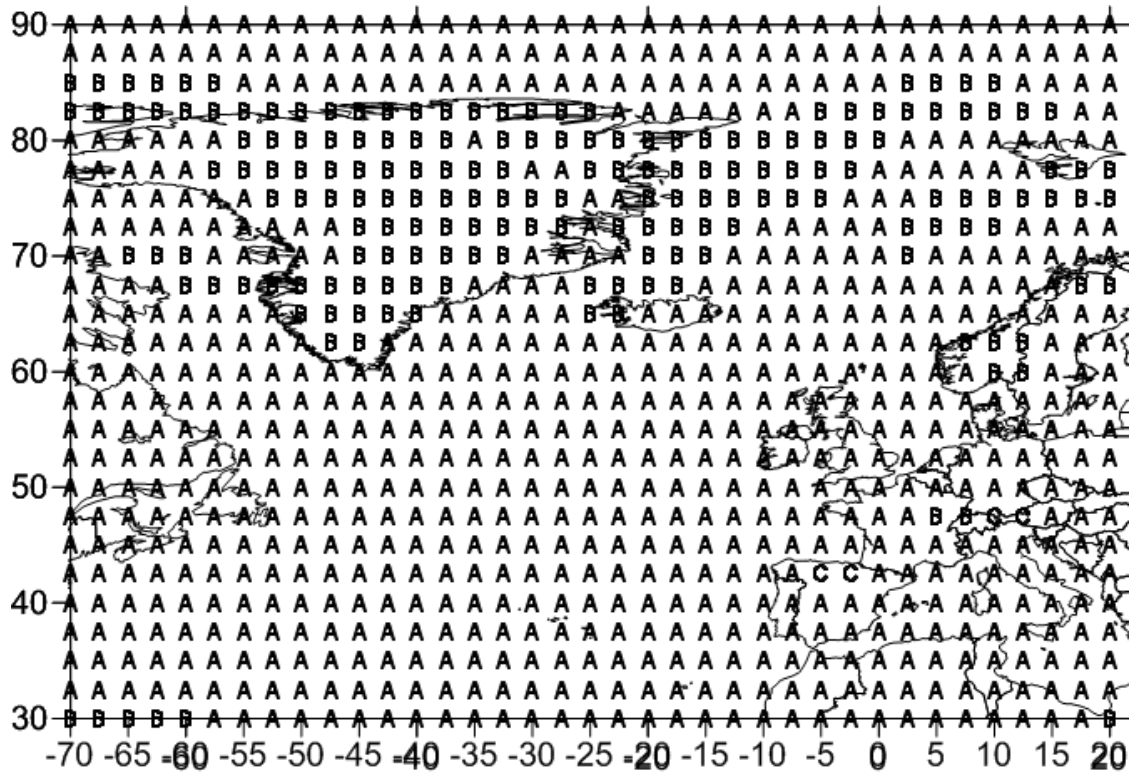


Рисунок 3.25 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (листопад)

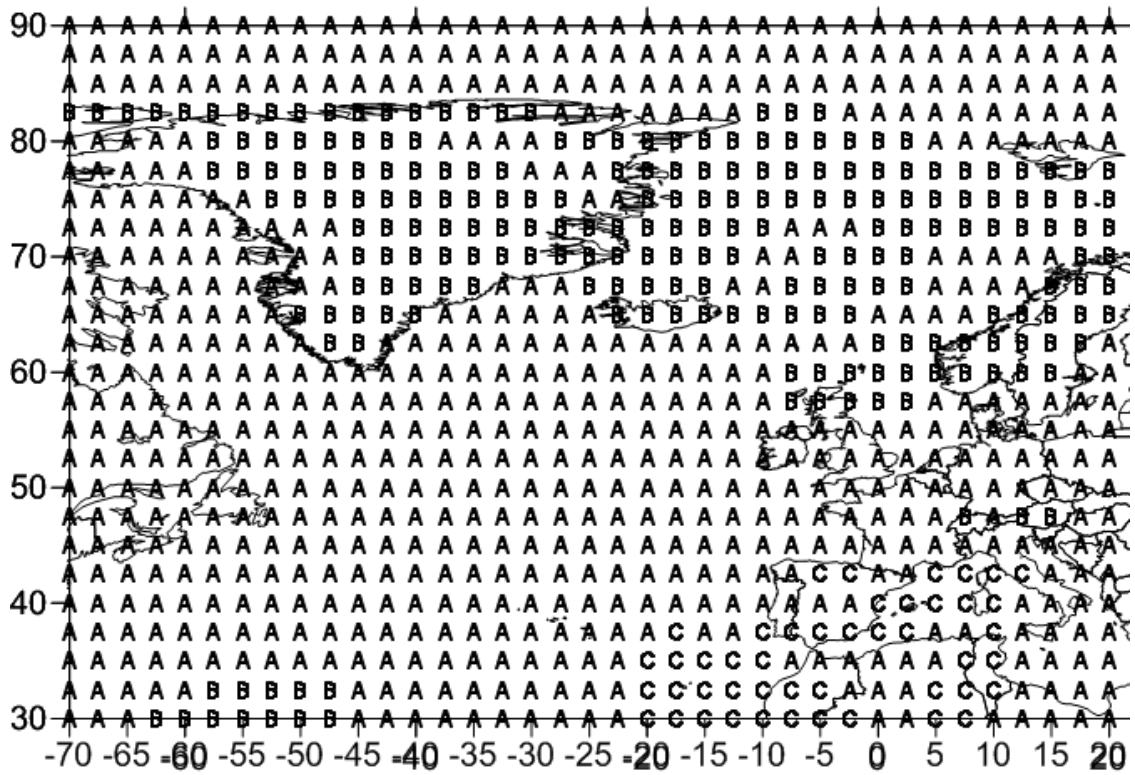


Рисунок 3.26 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (грудень)

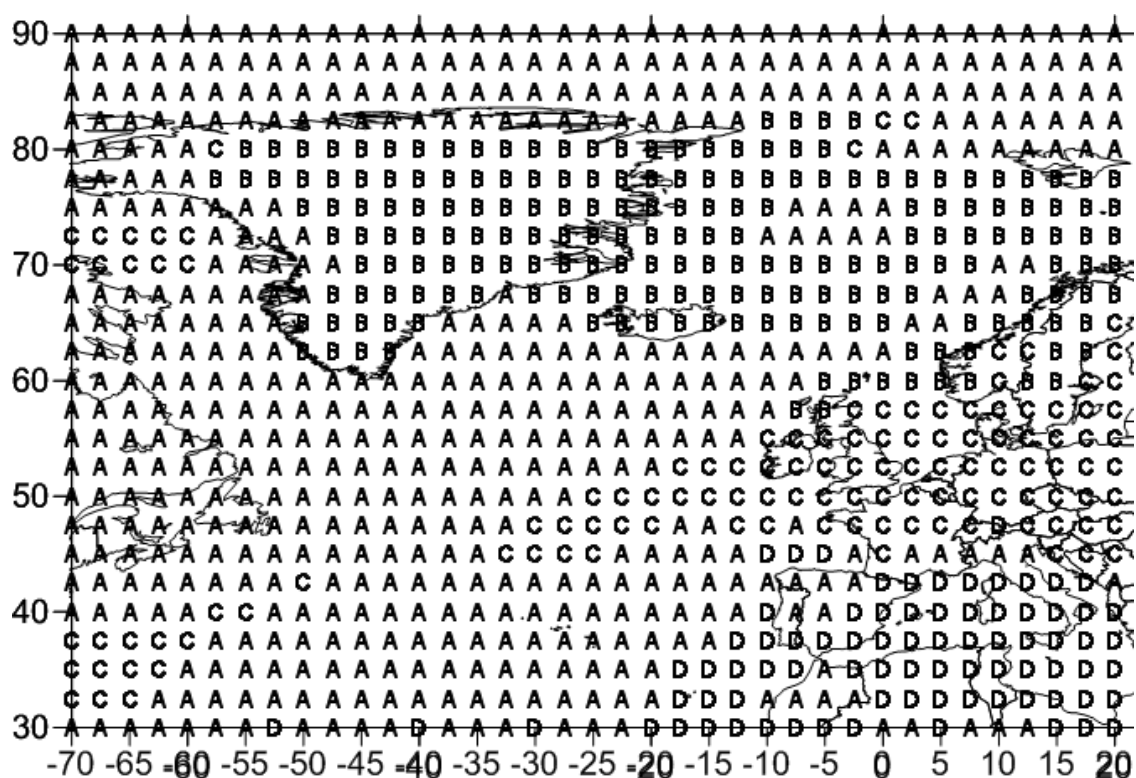


Рисунок 3.27 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (січень)

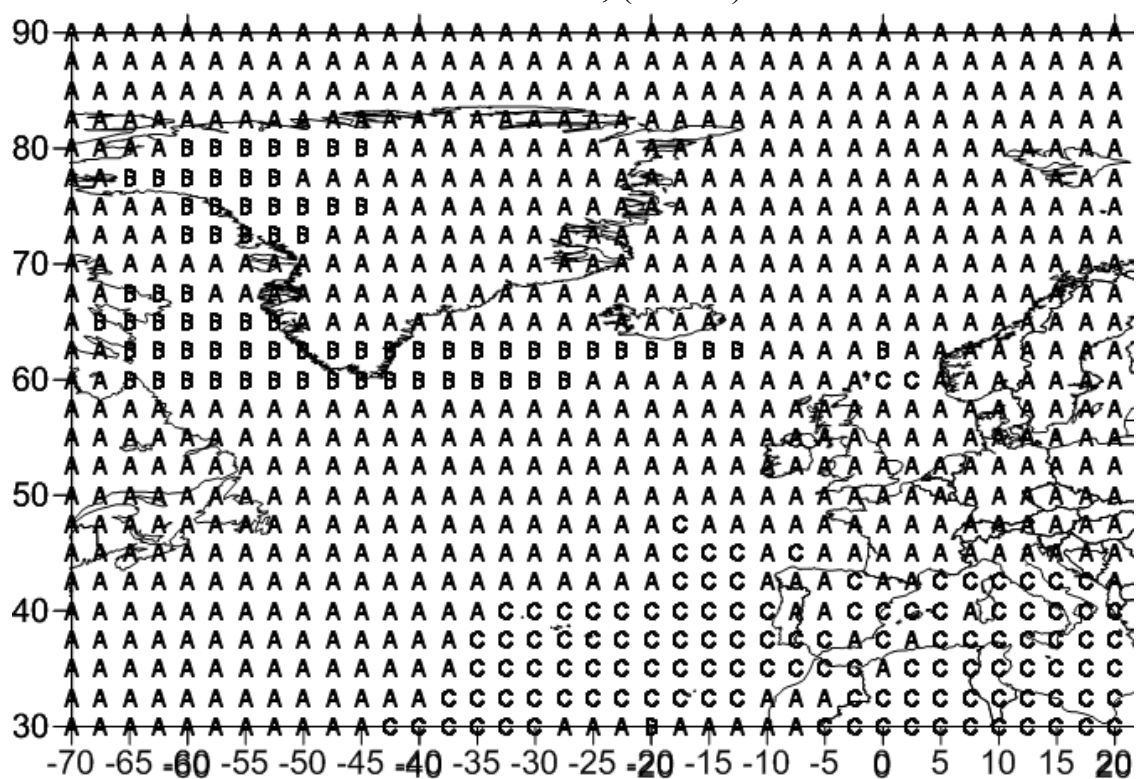


Рисунок 3.28 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (лютий)

Таблиця 3.19 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих над районом Північної Атлантики (перший головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	18.5	18.5	17.7	21.2
	1.53	1.35	2.38	2.22
<b>B</b>	26.4	26.3	25.8	17.4
	6.02	6.44	13.66	51.55
<b>C</b>	-5.1	2.7	21.8	2.8
	12.17	8.29	8.5	3.89
<b>D</b>	-	-	0.9	-
	-	-	5.14	-

Таблиця 3.20 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів на поверхні 700 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (листопад)

Координати власних векторів									
1-й власний вектор			2-й власний вектор			3-й власний вектор			
Літера кластера									
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
0,54	0,49	-0,59	-0,09	0,22	-0,57	-0,14	0,29	0,23	-0,24
0,45	0,52	0,11	-0,18	0,26	-0,68	-0,22	0,25	-0,04	-0,85
0,51	0,49	-0,64	-0,15	0,22	-0,21	-0,04	0,06	0,04	-0,34

Продовження табл.3.20

Координати власних векторів									
1-й власний вектор			2-й власний вектор			3-й власний вектор			
Літера кластера									
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
-0,39	0,36	0,19	-0,65	0,78	-0,27	0,93	0,22	-0,09	-0,14
-0,30	-0,34	0,43	0,72	0,47	0,31	-0,26	0,90	0,97	0,29
Власні значення/внесок у загальну дисперсію									
Літера кластера									
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
2,49	3,06	2,09	1,28	1,03	1,51	0,92	0,64	0,98	0,56
49,75	61,17	41,71	25,58	20,56	30,24	18,44	12,88	19,69	11,25

Такий розподіл навантажень, максимальне позитивне середнє значення і велика міжрічна мінливість першого головного компонента в кластері **B** свідчить про підвищену енергетичну активність атмосфери на поверхні 700 гПа в цьому районі.

У грудні і у січні кластер **B** (рис. 3.26 – 3.27) поширюється на більшу частину Гренландського моря, північну половину Норвезького і далі – до Баренцева моря. Південніше він охоплює північну частину Північного моря і Скандинавський півострів. Вагові коефіцієнти при вихідних характеристиках у першому головному компоненті не перетерплюють істотних змін (табл. 3.21 – 3.22).

Зберігаються також максимальні середні значення репрезентативного вектора головного компонента і істотна міжрічна мінливість (табл. 3.19).

У такий спосіб можна стверджувати, що в ці місяці висока енергетична активність атмосфери на поверхні 700 гПа в зазначеній однорідній зоні зберігається. У грудні над південно-східною частиною акваторії Північної Атлантики над холодною Канарською течією утворюється кластер **C**

(рис. 3.26), що поширюється, у тому числі, і на Європейську частину суши. У січні він простежується у вигляді кластера **D** (рис. 3.27).

Таблиця 3.21 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів на поверхні 700 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (грудень)

Координати власних векторів										
1-й власний вектор			2-й власний вектор				3-й власний вектор			
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
0,56	0,50	-0,22	0,42	-0,41	0,28	0,24	-0,07	0,10	0,18	0,26
0,41	0,51	0,04	0,63	-0,16	0,26	0,57	0,02	-0,09	0,08	0,15
0,51	0,54	-0,64	-0,28	-0,07	0,40	-0,12	-0,14	0,13	0,26	0,03
-0,33	0,32	0,49	0,30	0,77	0,50	0,69	-0,84	0,91	0,86	-0,61
-0,38	-0,32	0,55	0,52	-0,46	0,67	-0,36	0,51	-0,38	-0,39	0,73
Власні значення/внесок у загальну дисперсію										
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
2,3	2,6	2,1	1,4	1,3	0,8	1,8	0,8	0,9	0,8	0,6
46,5	52,6	41,1	27,9	25,5	16,5	35,4	15	17,8	15,3	10,9

Координати власних векторів у цих однорідних зонах, практично, не змінюються (табл. 3.21 – 3.22).



Таблиця 3.22 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів на поверхні 700 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (січень)

Координати власних векторів											
1-й власний вектор				2-й власний вектор					3-й власний вектор		
Літера кластера											
A	B	C	D	A	B	C	D	E	A	B	C
0,56	0,50	0,58	-0,43	0,27	-0,05	-0,21	0,17	0,41	-0,19	-0,21	0,07
0,46	0,56	0,27	0,33	0,48	-0,23	0,03	0,27	0,45	-0,15	-0,25	0,50
0,46	0,44	0,53	-0,58	-0,30	-0,52	0,32	0,29	0,06	-0,24	0,86	0,08
-0,39	0,39	0,15	0,33	0,26	-0,45	0,67	0,85	0,56	0,82	0,38	0,68
-0,35	-0,30	-0,54	0,51	0,73	0,69	-0,63	0,30	-0,56	-0,46	-0,11	0,53
Власні значення/внесок у загальну дисперсію											
Літера кластера											
A	B	C	D	A	B	C	D	E	A	B	C
2,5	2,9	2,65	2,7	1,4	1,5	1,2	0,9	1,7	0,9	1,0	0,7
50,1	57,4	51,0	54,7	27,3	29,5	24,2	17,8	32,9	17,3	19,2	14,3

Для обох місяців найбільші їх значення спостерігаються для геопотенціалу (знак від'ємний) і відносного вихру швидкості (знак додатний). У грудні для температури повітря навантаження від'ємне незначна по величині, для масової частки водяної пари додатна незначна по величині, для зональної складової швидкості вітру значна додатна. У січні, у порівнянні із груднем, при збереженні знака, значення навантажень по абсолютній величині змінюються: для температури і для вологості збільшуються, а для швидкості вітру дещо зменшується.

У цьому ж місяці присутній ще один кластер (кластер **С**, рис. 3.27), по розмірах не уступає кластеру **В** (рис. 3.27). Кластер **С** (рис. 3.27) представлений осередками над різними частинами Північної Атлантики: над морем Баффіна; над районом південніше Ньюфаундленду (над Гольфстрімом, над Ньюфаундлендської ЕАО). Найбільший осередок знаходиться над південною частиною Північноатлантичної течією, Ірландією, Великобританією, Північним морем, Балтикою і Північною Європою. Основне навантаження в цій однорідній зоні приходяться на температуру повітря, геопотенціал (додатний знак) і відносний вихор швидкості (від'ємний знак і від'ємне середнє значення характеристики) (табл. 3.22). Середнє значення головного компонента в кластері **С** (рис. 3.27) незначно відрізняється від її значення в кластері **В**. Його теж можна віднести до категорії максимальних. Така ж тенденція спостерігається й у значенні міжрічної дисперсії (табл. 3.19). Це дає підставу розглядати осередки кластера **С** (рис. 3.27) як зони підвищеного енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа.

Кластеризація першого головного компонента в лютому в значній мірі відрізняється від кластеризації в попередніх трьох місяцях. У цьому місяці більшу частину простору на поверхні 700 гПа займає кластер **А** (рис. 3.28). Стан атмосфери в цьому кластері в основному залежить від температури повітря і вологості (великі додатні вагарні навантаження (табл. 3.23)) і дещо менше від деформації баричного поля на цій висоті (додатний знак вагового коефіцієнта). Середнє значення репрезентативного вектора компоненти має максимальну величину, що відповідає про високу інтенсивність процесів, які описуються нею. Мінімальна внутрішньокластерна дисперсія свідчить про деяку стабільність цих процесів у міжрічному періоді (табл. 3.19).

Над південно-східною частиною акваторії Північної Атлантики, над районом розташування холодної Канарської течії і далі на Європу, зберігається однорідна зона **С** (рис. 3.28).

Таблиця 3.23 Координати власних векторів і власні значення (внесок у загальну дисперсію) параметрів енергетичного стану атмосфери в репрезентативних вузлах кластерів на поверхні 700 гПа, розташованих над районом Північної Атлантики, (лютий)

Координати власних векторів										
1-й власний вектор			2-й власний вектор					3-й власний вектор		
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0,69	0,50	-0,35	0,03	-0,12	0,05	-0,32	0,62	0,38	0,34	-0,57
0,64	0,48	0,39	-0,23	0,16	0,11	-0,73	0,34	0,18	0,10	-0,14
0,32	0,42	-0,56	0,66	-0,69	0,38	0,02	0,04	0,05	0,35	0,06
-0,05	-0,35	0,37	-0,13	0,04	0,90	-0,61	0,54	0,90	-0,31	0,47
0,03	-0,46	0,53	-0,70	0,70	0,20	0,07	-0,45	-0,04	0,81	-0,65
Власні значення/внесок у загальну дисперсію										
Літера кластера										
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
2,00	3,5	2,8	1,5	1,5	1,0	1,5	1,8	0,8	0,77	0,5
39,1	69,9	56,7	30,5	30,1	20,9	30,1	35,0	16,0	13,2	9,7

Вона відповідає зонам **D** (рис. 3.27) у січні і **C** (рис. 3.26) у грудні, що знаходиться над зазначеним районом, але має менші розміри. Вагові навантаження на характеристики стану атмосфери на даній поверхні в порівнянні із груднем і січнем, практично, залишаються без змін. Те ж саме стосується і середнього значення головного компонента. Воно є мінімальним. Даний факт обумовлений слабкою активністю в зимовий період Азорського максимуму, у зону впливу якого входить кластер **C** (рис. 3.28).

Третій по розмірах, кластер **В** (рис. 3.28), складається із двох осередків. Перший осередок розташовується над західною Гренландією, другий – над районом акваторії Північної Атлантики, примикаючим до південного берега Ісландії, і далі за течією Ірмінгера через південний край Гренландії він охоплює більшу частину над морем Лабрадор. Цей кластер, як впливає із середнього значення репрезентативного вектора, є також однією із зон підвищеної енергетичної активності атмосфери на поверхні 700 гПа. Це має підтвердження і у відповідній йому найбільшій міжрічній дисперсії (табл. 3.19). Крім зазначеного, необхідно відзначити, що дана однорідна зона знаходиться в районі виникнення й переміщення циклонічних утворень Північної Атлантики.

*Кластери полів другого головного компонента* параметрів стану атмосфери на поверхні 700 гПа мають собою осередкову структуру (рис. 3.29 – 3.32). Кількість однорідних зон і їх осередків збільшується протягом зимового періоду. Кластер **В** (рис. 3.29), якому відповідає максимальне додатне середнє значення репрезентативного вектора головного компонента (табл. 3.13), у листопаді займає більше половини простору над розглянутою територією. Наступний по розмірах кластер **А** (рис. 3.29) з мінімальним значенням другого головного компонента має наступні осередки: перший - над півостровом Лабрадор, о. Ньюфаундленд, над холодним Лабрадорською течією; другий - над центральною Гренландією, над акваторією Північного Льодовитого океану, пов'язаною з північним узбережжям Гренландії, над західною частиною Гренландського моря. В однорідній зоні **В** (рис. 3.29) підвищений енергетичний стан атмосфери на поверхні 700 гПа визначається тільки циркуляційними характеристиками, а саме відносним вихром швидкості (вагове навантаження 0,78) і зональної складової швидкості вітру (0,47) (табл. 3.20).

У наступні місяці кластер **В** (рис. 3.29) трансформується. У грудні він розбивається на два кластери **С** і **Д** (рис. 3.30), що мають максимальні додатні середні значення репрезентативних векторів (22,7 і 20,4) і міжрічні дисперсії (18,9 і 16,2) (табл. 3.24).

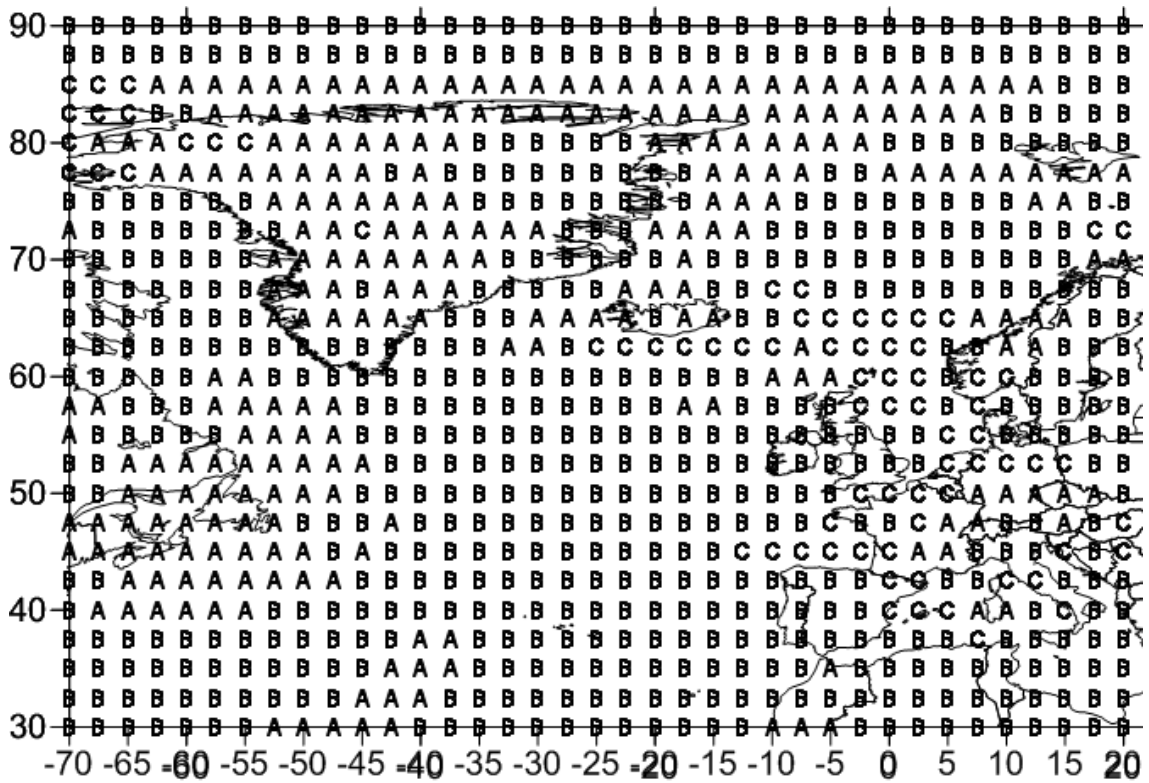


Рисунок 3.29 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (листопад)

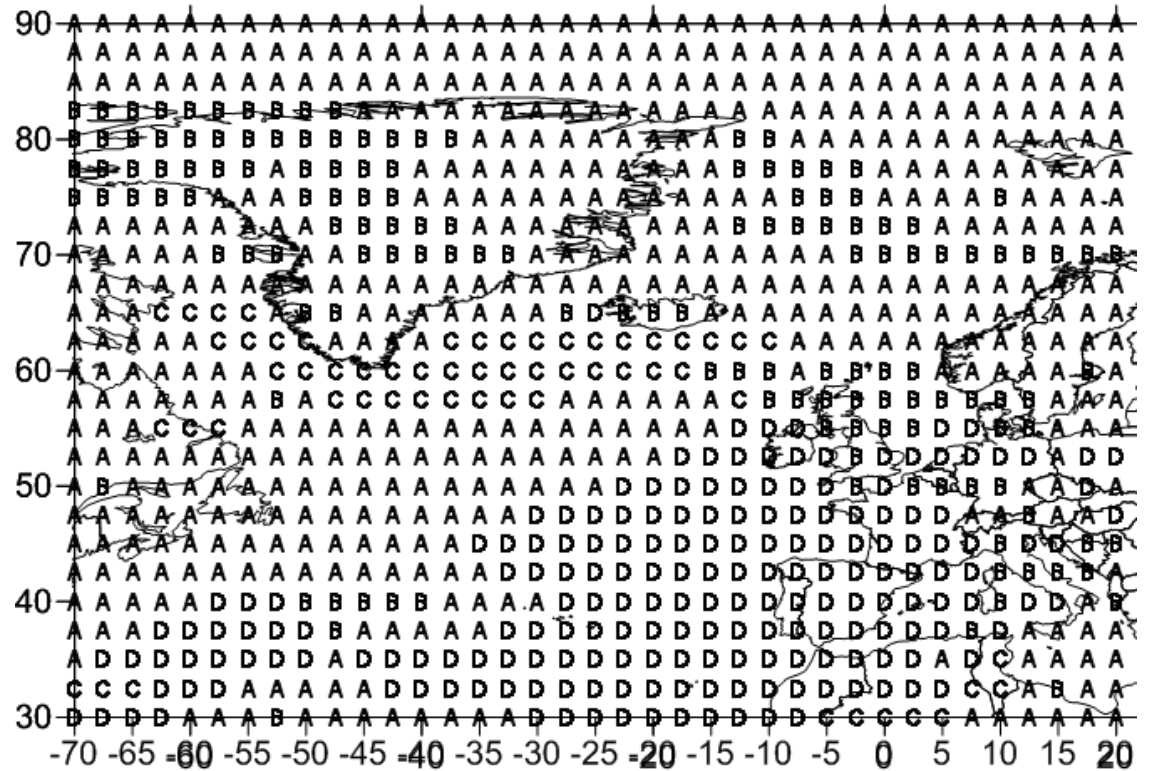


Рисунок 3.30 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (грудень)

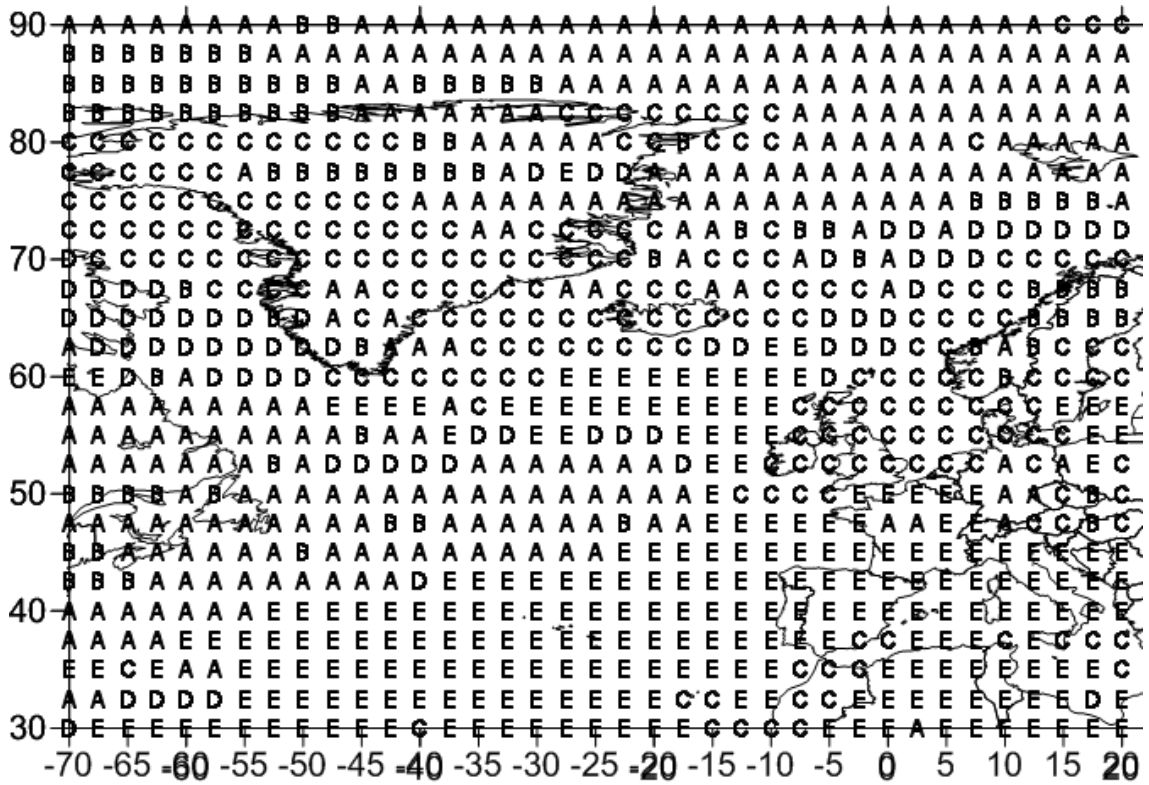


Рисунок 3.31 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (січень)

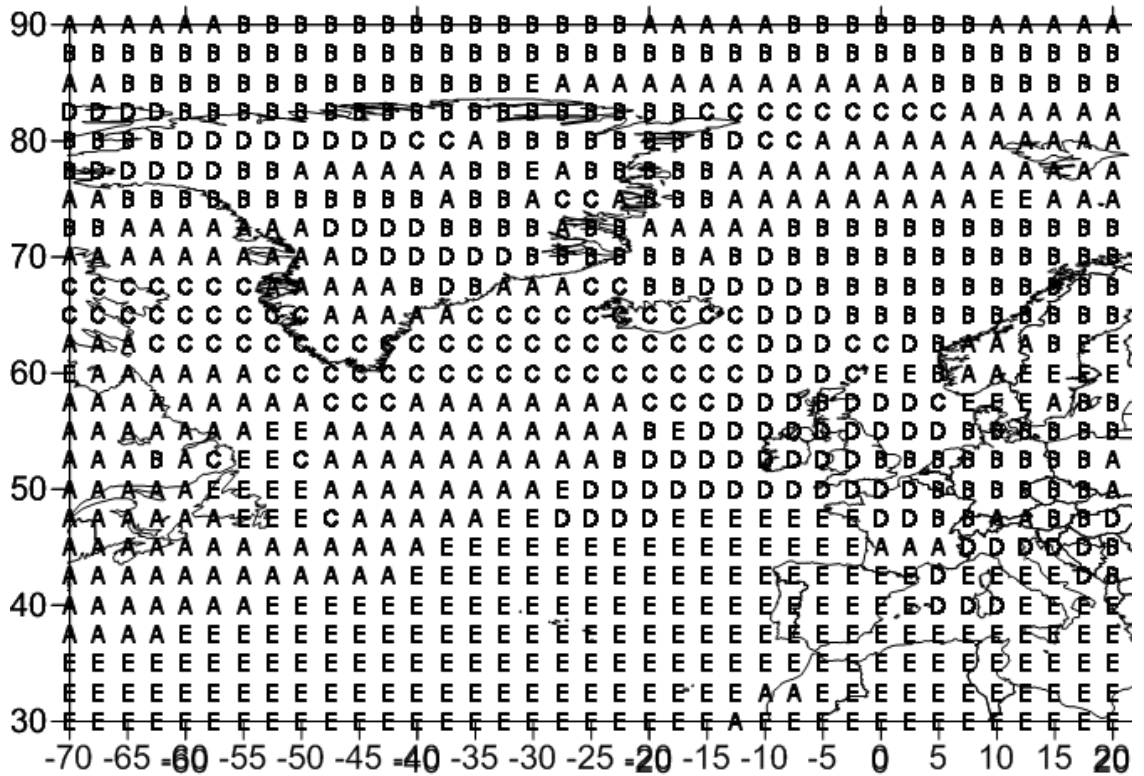


Рисунок 32 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (лютий)

Таблиця 3.24 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих над районом Північної Атлантики (другий головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	-0.3	9.5	6.7	3.7
	6.84	7.48	14.45	6.89
<b>B</b>	14.6	-10.5	-2.8	-4.3
	3.68	11.98	13.3	27.33
<b>C</b>	-18.2	22.7	-10.7	13.8
	7.08	18.86	12.28	47.68
<b>D</b>	-	20.4	13.8	-16
	-	16.2	21.84	17.04
<b>E</b>	-	-	21.6	22
	-	-	4.66	8.52

Перший із цих кластерів, у вигляді витягнутої по широтному колу структури, розташовується над північною половиною моря Лабрадор і далі на схід охоплює простір над течією Ірмінгера. Другий, знаходиться над південною і південно-східною акваторією Північної Атлантики і Західною Європою. У кластері **C** (рис. 3.30) основне навантаження приходить на відносний вихор, зональну складову швидкості вітру і геопотенціал (знаки додатні), а в кластері **D** (рис. 3.30) – на зональну складову швидкості вітру і на масову частку водяної пари (додатні знаки) (табл. 3.21). На відносний вихор у кластері **D** (рис. 3.30) приходить порівняно невелике від’ємне навантаження. У січні і у лютому великі осередки однорідних зон з максимальними додатними значеннями репрезентативного вектора другого головного компонента (21,6 і

22) (табл. 3.24), так само як і в грудні, займають простір над південною акваторією Північної Атлантики і над Західною Європою (**Е** рис. 3.31 – 3.32). Крім цього, на схемах спостерігаються менші по площі осередки: у січні має місце осередок, розташований в океані над місцем розгалуження Північноатлантичної течії на течію Ірмінгера і Норвезьке, а в лютому – в області зіткнення холодної Лабрадорської і теплої Північноатлантичної течій. Стан атмосфери в цих однорідних зонах визначається процесами, що описуються такими вихідними характеристиками, як температура повітря (у січні навантаження 0,41; у лютому, відповідно, 0,62), масова частка водяної пари (0,45; 0,34), зональна складова швидкості вітру (0,56; 0,54) і відносний вихор (-0,56; -0,43) (табл. 3.22 – 3.23).

У листопаді і у лютому присутні ще два кластери **С** (рис. 3.29) і **Д** (рис. 3.32) з великими по величині, але від'ємними за знаком значеннями другого головного компонента (табл. 3.24). Враховуючи, що в ній вагові навантаження на характеристики є від'ємними, а саме, у кластері **С** (рис. 3.29) – на вологість (-0,68) і температуру повітря (-0,57), у кластері **Д** – (рис. 3.32) – на вологість (-0,73), зональну складову швидкості вітру (-0,61) і температуру повітря (-0,32), є підстава стверджувати, що в цих зонах стан атмосфери визначають процеси великої інтенсивності. У взаємному розташуванні кластерів з максимальними по величині значеннями другого головного компонента зберігається така ж тенденція – зони із протилежними знаками компонента граничать меду собою. Осередки кластерів **С** (рис. 3.29) і **Д** – (рис. 3.32) займають на поверхні 700 гПа простір над центральною і північно-західною Гренландією, над акваторією Північної Атлантики в районі Ісландії, Норвезького півострова та Британських островів.

При кластеризації третього головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа спостерігається обернена картина. Кількість кластерів і очаговість протягом розглянутого холодного періоду убуває. Місце розташування кластерів з максимальними по величині значеннями репрезентативних векторів зміщається в західну частину Північної Атлантики (рис. 3.33 – 3.36).



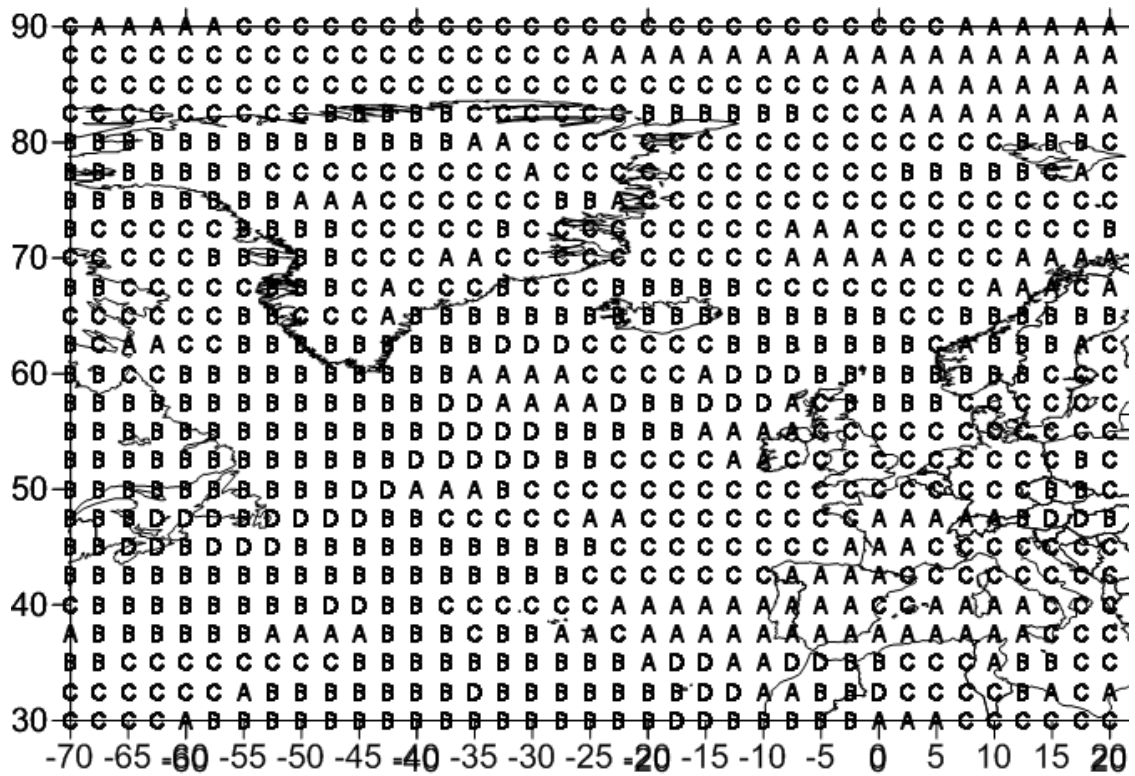


Рисунок 3.33 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (листопад)

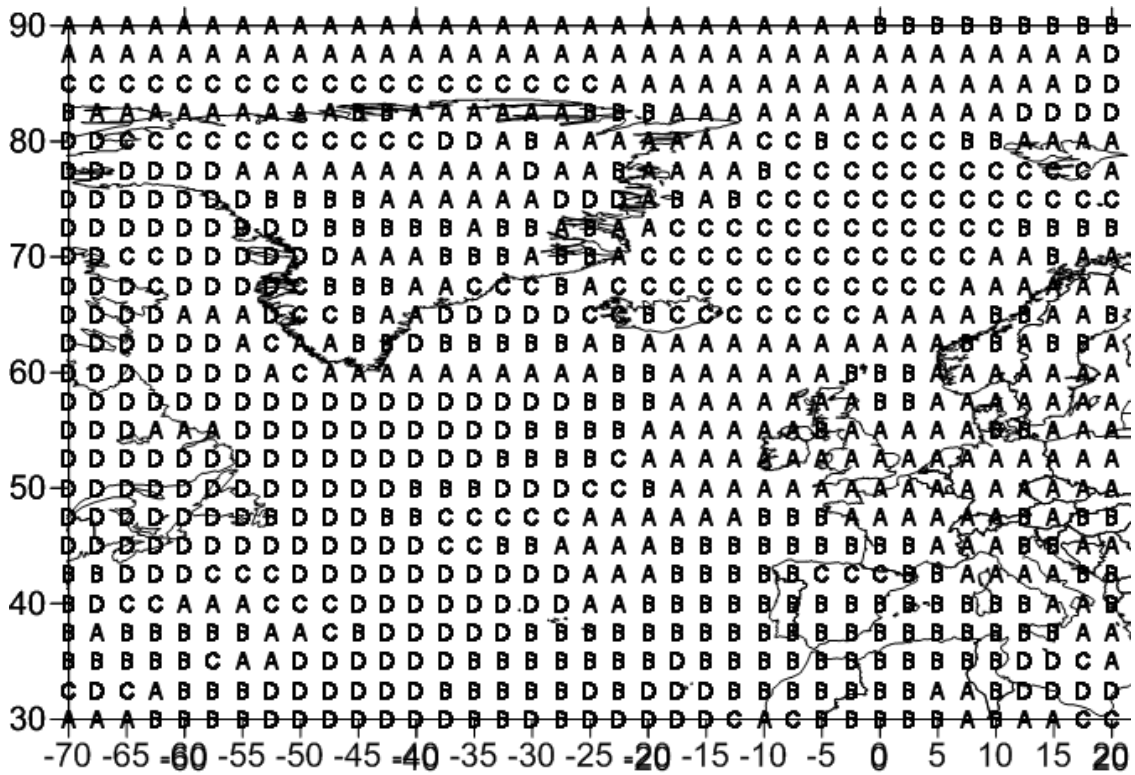


Рисунок 3.34 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (грудень)

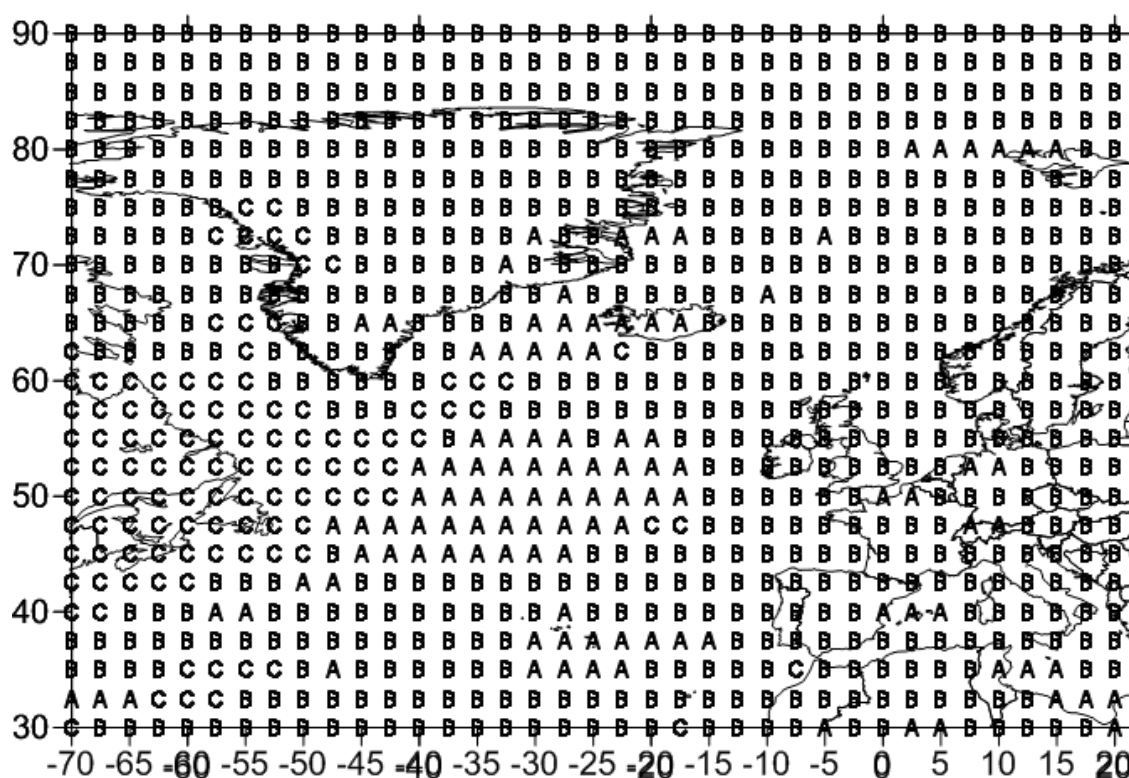


Рисунок 3.35 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (січень)

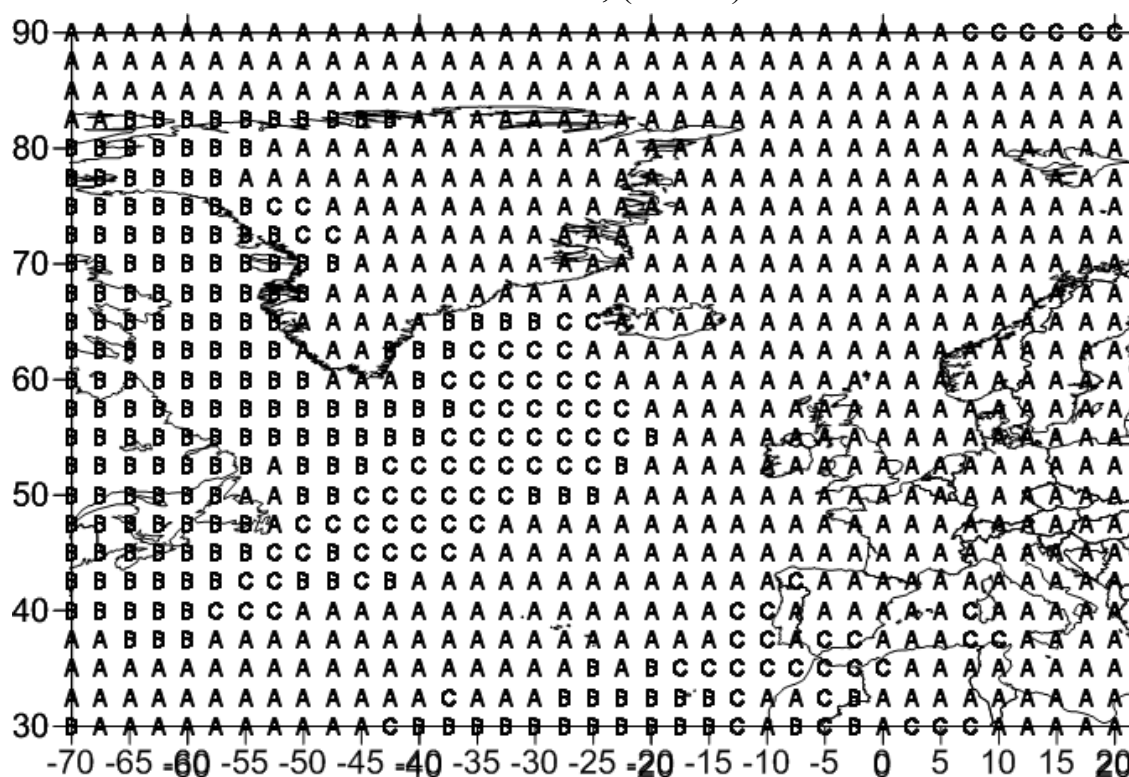


Рисунок 3.36 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа над Північною Атлантикою, (лютий)

У листопаді такі кластери представлені зонами **В** і **Д** (рис. 3.33). Зона **В** має складну форму і займає простір над західною Гренландією, морем Лабрадор, на схід від південного краю Гренландії через Ісландію і Норвезький півострів, на південь над півостровом Лабрадор, над Ньюфаундлендською ЕАО до центральної частини океанського північного субтропічного антициклонального кругообігу.

На півночі Гренландського моря й над островом Шпіцберген присутні ще два осередки кластера **В**. Основне навантаження в третьому компоненті в зоні **В** (рис. 3.33) приходяться на відносний вихор швидкості (0,93) (табл.3.20). Додатне значення репрезентативного вектора і розподіл навантажень у кластері **В** (рис. 3.33) свідчить про посилення циклонічного вихру процесами, які описуються третім компонентом. У зоні **Д** (рис. 3.33), осередки якої розосереджені над центральною частиною акваторії Північної Атлантики, значення головного компонента має від'ємний знак (табл. 3.25) і, в основному (за винятком навантаження на відносний вихор), від'ємні вагові коефіцієнти при вихідних характеристиках. Найбільший по величині з коефіцієнтів має відношення до масової частки водяної пари (-0,85) (табл. 3.20).

У грудні зону з активними процесами в атмосфері на поверхні 700 гПа представляє кластер **Д** (рис. 3.34), який займає простір практично над всією західною частиною акваторії Північної Атлантики (крім району над Ньюфаундлендською енергоактивною зоною) і прилягаючої до неї території суші.

У січні і у лютому зони з атмосферними процесами високої інтенсивності (кластери **С** (рис. 3.35) і **В** (рис. 3.36)) мають менші розміри, чим у грудні й листопаді. Цим зонам відповідають максимальні додатні середні значення репрезентативних векторів третього головного компонента (табл. 3.25).

Максимальні навантаження з додатним знаком у кластері **С** (рис. 3.35) приходяться на циркуляційні характеристики і вологість, у кластері **В** (рис. 3.36) – на відносний вихор швидкості (табл. 3.22 – 3.23). У лютому

присутня ще одна однорідна зона атмосферних процесів високої активності з літерою С (рис. 3.36).

Таблиця 3.25 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії і середні значення головних компонентів енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих над районом Північної Атлантики (третій головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	листопад	грудень	січень	лютий
<b>A</b>	-5.1	1.9	-12	0.9
	19.94	5.01	2.32	3.6
<b>B</b>	14.5	-6.9	5.1	18.6
	2.95	2.45	2.16	7.15
<b>C</b>	1.9	6.8	21.7	-13.3
	2.91	13.52	7.87	13.81
<b>D</b>	-16.2	17.5	-	-
	6.55	4.12	-	-

Середнє значення головного компонента в ній - друге по величині, але з від'ємним знаком. Основні навантаження в ній доводяться на відносний вихор і температуру повітря (відповідно, -0,65 і -0,57), а також на зональну складову швидкості вітру (0,47). Кластер С (рис.3.36) представлений над акваторією Північної Атлантики двома осередками. Найбільший з них знаходиться над центральною частиною акваторії і примикає до кластера В зі східної сторони. Другий осередок розташовується над Португальською і далі Канарською течіями.

### 3.5 Структура полів приземного тиску північної акваторії Тихого океану

#### 3.5.1 Характеристика вихідних даних

В якості вихідної інформації використовувалися дані реаналіза ERA-40. Дослідження були проведені ECMWF, працюючої при співпраці з великою кількістю інститутів. Отримані дані досліджень ECMWF, були доповнені і зібрані, в основному Американським Національним Центром Атмосферних Досліджень (NCAR), Національними Центрами Прогнозів Навколишнього Середовища (NCEP) та іншими організаціями.

Глобальна система спостережень ECMWF ERA-40 значно змінювалася за період з 1957 по 2014 рік. Якість вимірювань, колись існуючих спостережень з наземних станцій і кораблів за записами радіозондів і пілотованих куль, покращилися за цей період, але географічне і тимчасове покриття скоротилося. Завдяки іншим, новим типам спостережень, введеним протягом цього періоду, було компенсоване скорочення покриття радіозонда станцій. Ключовим роком був 1979, який показав значне збільшення числа авіаспостережень, проведених інструментами VTPR орбітальних супутників. Вимірювання параметрів вітру і висот изобаричних поверхонь проводиться геостаціонарними супутниками і водними буями.

Дані ERA-40 доступні через:

- публічний Інтернет, що включає набір даних у вузлах регулярної сітки точок  $2.5^\circ$  на  $2.5^\circ$ , на ECMWF (<http://data.ecmwf.int/data>);
- пряме звернення в Метеорологічний Архів ECMWF і систему передачі даних, користувачам з авторизованих інститутів і співробітників ECMWF;
- Служба даних ECMWF (<http://www.ecmwf.int/products/data>).

При дослідженні особливостей циркуляційних атмосферних процесів над північною акваторією Тихого океану були використані дані реаналіза ERA-40

середньомісячних значень приземного атмосферного тиску та температури в вузлах регулярної сітки точок  $2.5^\circ$  на  $2.5^\circ$ , в секторі, обмеженому широтно від  $20^\circ$  півн.ш. до  $70^\circ$  півн.ш. і меридіанально від  $160^\circ$  сх.д. до  $120^\circ$  зах.д., за період 1979 - 2014 рр..

### 3.5.2 Методи дослідження статистичної структури полів приземного тиску

Рішення ряду задач сучасної метеорології потребує знання статистичної структури метеорологічних полів, таких як полів температури, опадів, вологості, тиску і інш.

Сукупність  $m$  метеорологічних полів, з певними межами термінів вимірювання, можна представити у вигляді матриці порядку  $n \times m$  (у нашому випадку поля температури):

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}. \quad (3.18)$$

Матриця (3.18) містить великий об'єм інформації. Її стовпці є відповідними метеорологічними об'єктами (міститься інформація про  $n$  таких об'єктів). Рядками матриці є часові ряди відповідної метеорологічної величини. Таке матричне зображення метеорологічних об'єктів є дуже раціональним, оскільки дає можливість побудувати прості алгоритми дослідження її статистичної структури.



де

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i . \quad (3.22)$$

Операція, яка проведена над матрицею (3.18), називається операцією центрування. Тоді матриця коваріації ( $K_x$ ) визначається таким матричним рівнянням:

$$K_x = \frac{1}{m} \Delta X \Delta X' . \quad (3.23)$$

Ця матриця має таку структуру:

$$K_x = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 K_{12} \dots K_{1j} \dots K_{1n} \\ K_{21} \sigma_2^2 \dots K_{2j} \dots K_{2n} \\ \dots \dots \dots \\ K_{i1} K_{i2} \dots K_{ij} \dots K_{in} \\ \dots \dots \dots \\ K_{n1} K_{n2} \dots K_{nj} \dots \sigma_n^2 \end{pmatrix} . \quad (3.24)$$

Елементи матриці (3.24) розраховуються по формулах:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \Delta x_{is}^2 , \quad (3.25)$$

$$K_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \Delta x_{is} \Delta x_{js} . \quad (3.26)$$



З формул (3.25) і (3.26) видно, що на головній діагоналі матриці (3.24) розташовані дисперсії метеорологічних величин. Порядковий номер дисперсії на діагоналі відповідає номеру метеорологічної станції, якщо це стосується метеорологічного поля, номеру стандартної висоти, якщо досліджуються вертикальні профілі метеорологічних величин або номеру предиктора, якщо досліджуються статистичні особливості системи предикторів при побудові моделі прогнозу. Решта елементів матриці (3.24) – відповідні коваріації.

### 3.5.3 Поля середніх значень та мінливості

Як відомо, закономірності сезонних змін циркуляції атмосфери пов'язані з нерівномірним надходженням сонячної радіації. Особливо це проявляється у північній півкулі, де великі простори займають континенти: відносно охолодження материків взимку та нагрівання їх влітку спричиняють сезонні особливості поля тиску. Завдяки сезонним змінам притоку сонячної радіації відбувається загальне зміщення планетарних зон тиску до полюсу влітку відповідної півкулі і до екватора – взимку.

Погоду і клімат північної частини Тихого океану та прилеглих областей у значній мірі визначає атмосферна циркуляція над океаном, яка складається з областей низького та високого тиску. Загалом треба відмітити, що центр циклонічної системи низького тиску розташовується у середньому за рік на півночі Беренгова моря, північніше Алеутських островів, тому він і отримав назву алеутського мінімуму. Південніше, в районі Гавайських островів, розташований центр антициклональної системи високого тиску, що має назву північнотихоокеанського або гонолулського максимуму тиску.

В якості прикладу на рис. 3.37-3.38 представлені поля середніх значень приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів осереднених за останнє 35-ти рячча, розглянемо їх основні особливості.

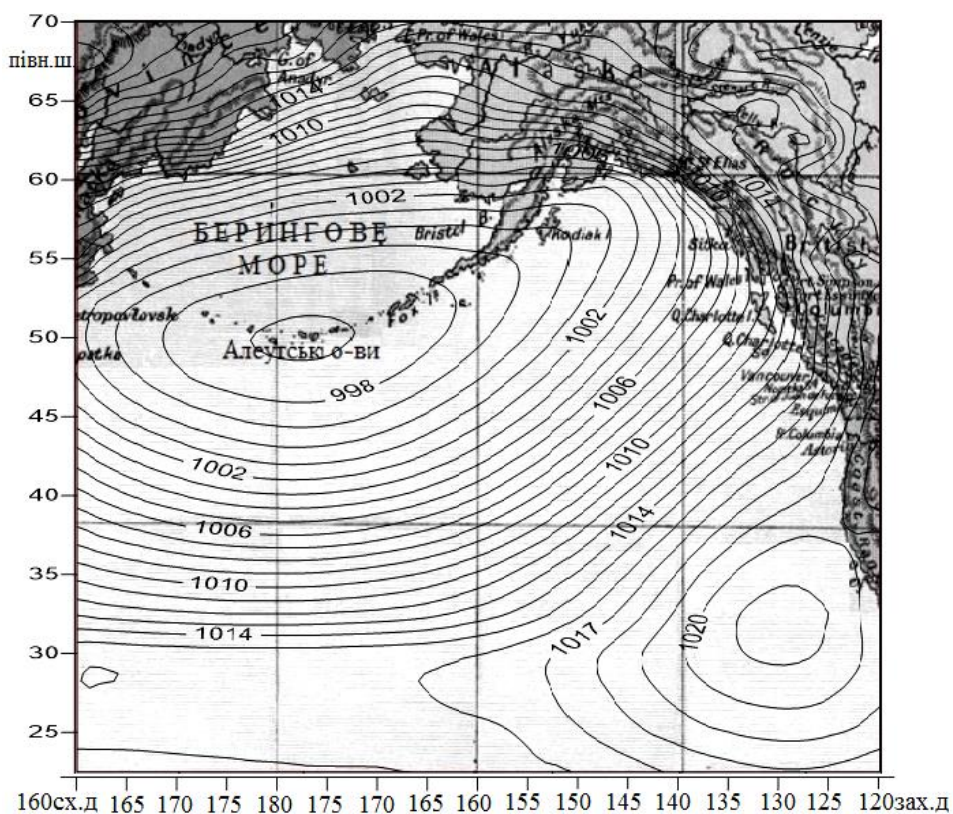


Рисунок 3.37 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску, січень

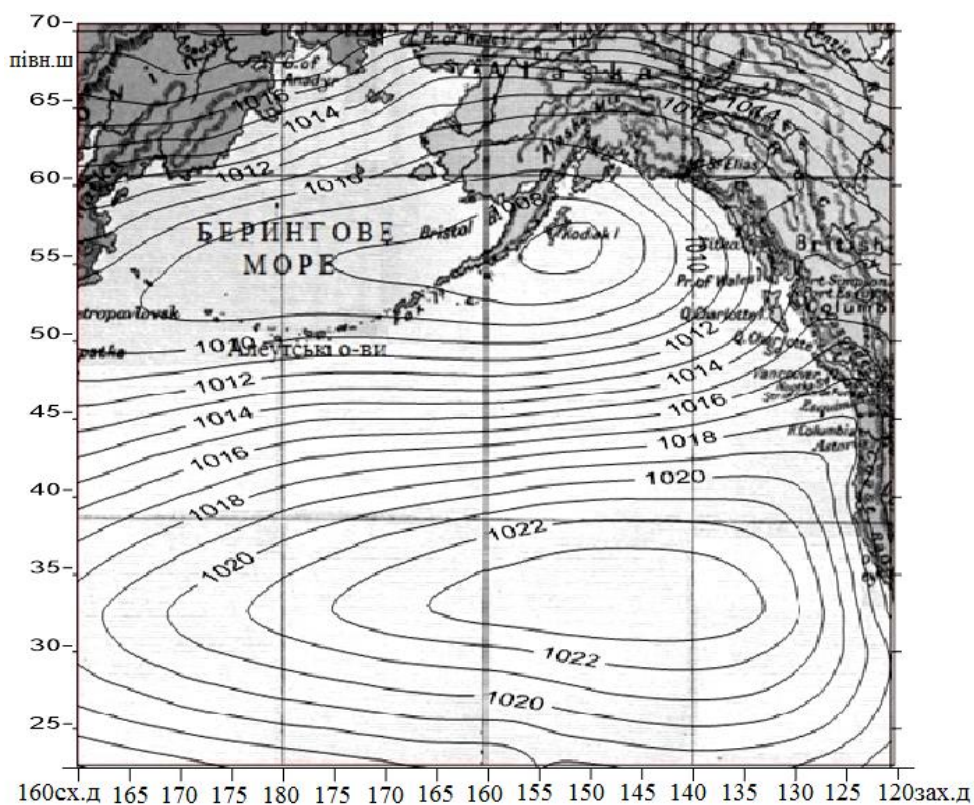


Рисунок 3.38 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску, квітень

У зимовий період (рис. 3.37) помірних широт вказаного регіону спостерігається обширна область низького тиску (алеутський мінімум), центр якої розташовується на  $50^{\circ}$  півн.ш та  $180^{\circ}$  сх.д., з тиском у центрі 997 гПа. Вона виникає над більш теплими у цей час океаном. У південно – західній частині регіону розташовується область високого тиску з тиском у центрі 1021 гПа.

Субтропічний антициклон над Тихим океаном посилюється восени (рис. 3.38) і досягає максимального розвитку у літні місяці (рис.3.39) з центром на  $37^{\circ}$  півн.ш. та  $150^{\circ}$  зах.д (замкнута ізобара 1026 гПа). Влітку (рис. 3.39) циклонічний центр зміщується у північно-східному напрямку й майже зникає у цьому районі. Восени (рис. 3.40) субтропічний антициклон над Тихим океаном знову послаблюється і зміщується на південь регіону.

Зміна положення циклонічного центру за довготою ще більша: найбільш західне положення займає у перехідні сезони (квітень, жовтень), а найбільш східне – у липні (рис. 3.39). Влітку він майже зникає у цьому районі.

Розглядаючи зміни переміщення центрів дії атмосфери для інших місяців року, які для кращої наочності наведені на рис. 3.41 та рис. 3.42, можна відзначити, що найбільш північне положення Алеутська депресія займає в літній сезон (липень - серпень) на відміну від попередніх досліджень, а найбільш південне - взимку (січень - лютий). Також на рис. 3.41 видно, що мінімальний тиск в циклонічному вихорі спостерігається взимку (грудень - лютий), а максимально високий – на початку літнього періоду (травень - червень).

В Гонолульському антициклоні (рис. 3.42) мінімум тиску спостерігається у лютому й жовтні, а максимум – у липні. Другий, більш слабкий максимум у змінах тиску в центрі антициклону спостерігається в квітні. Найбільш північне положення Гонолульський максимум займає в червні та вересні, а найбільш південне взимку (грудень – березень).



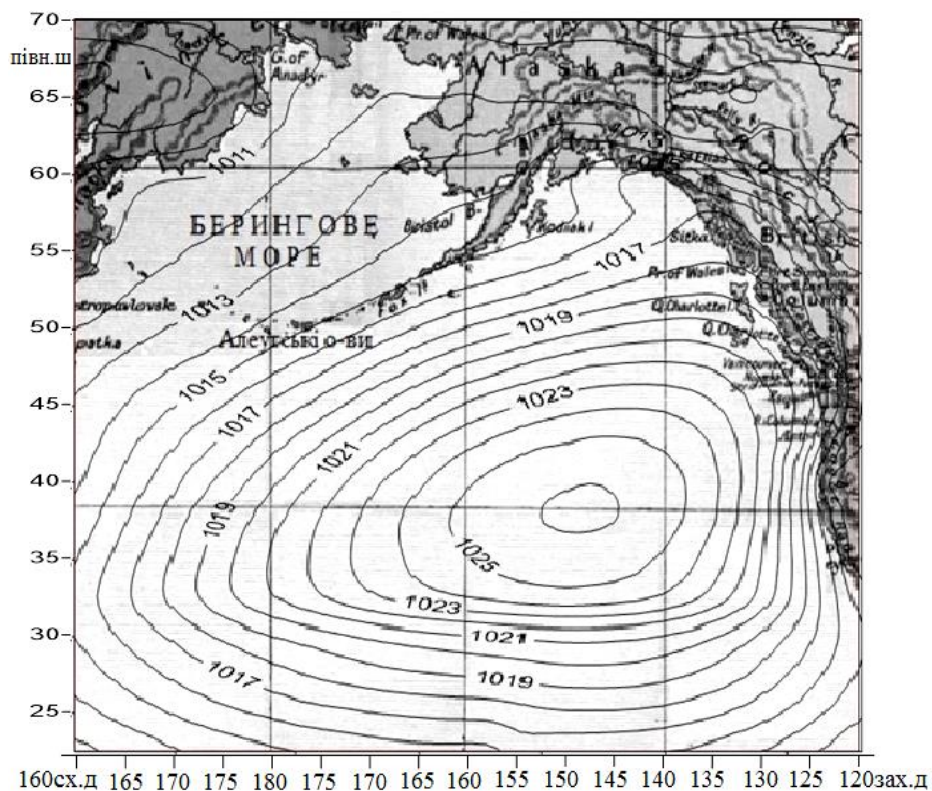


Рисунок 3.39 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску, липень

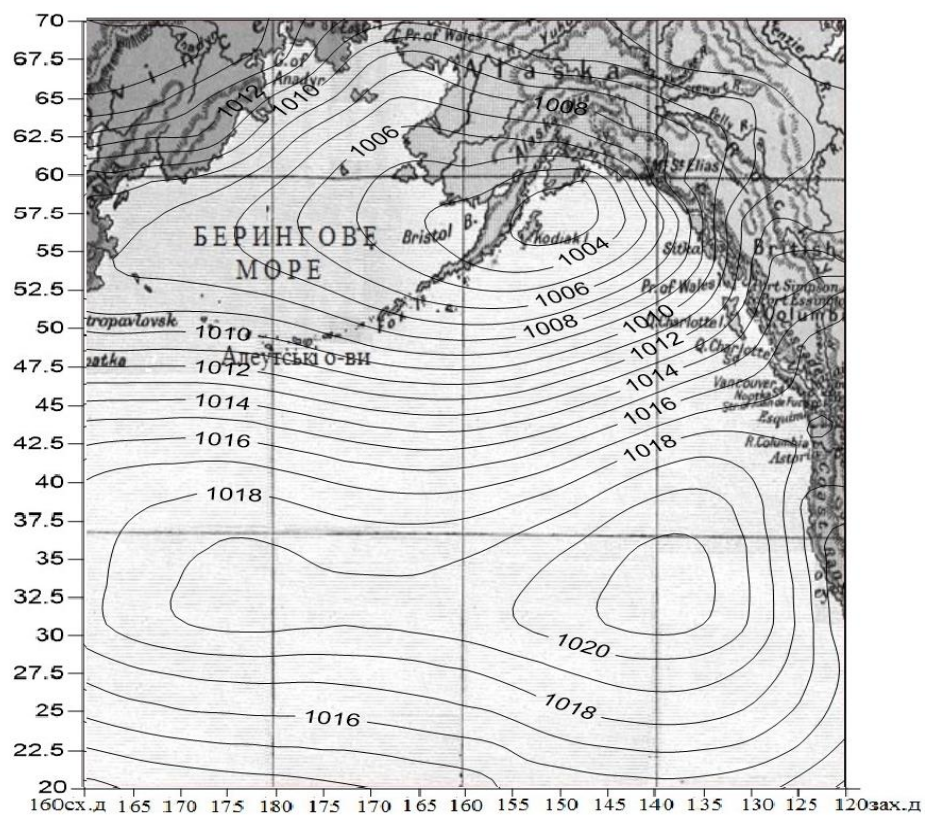


Рисунок 3.40 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску, жовтень

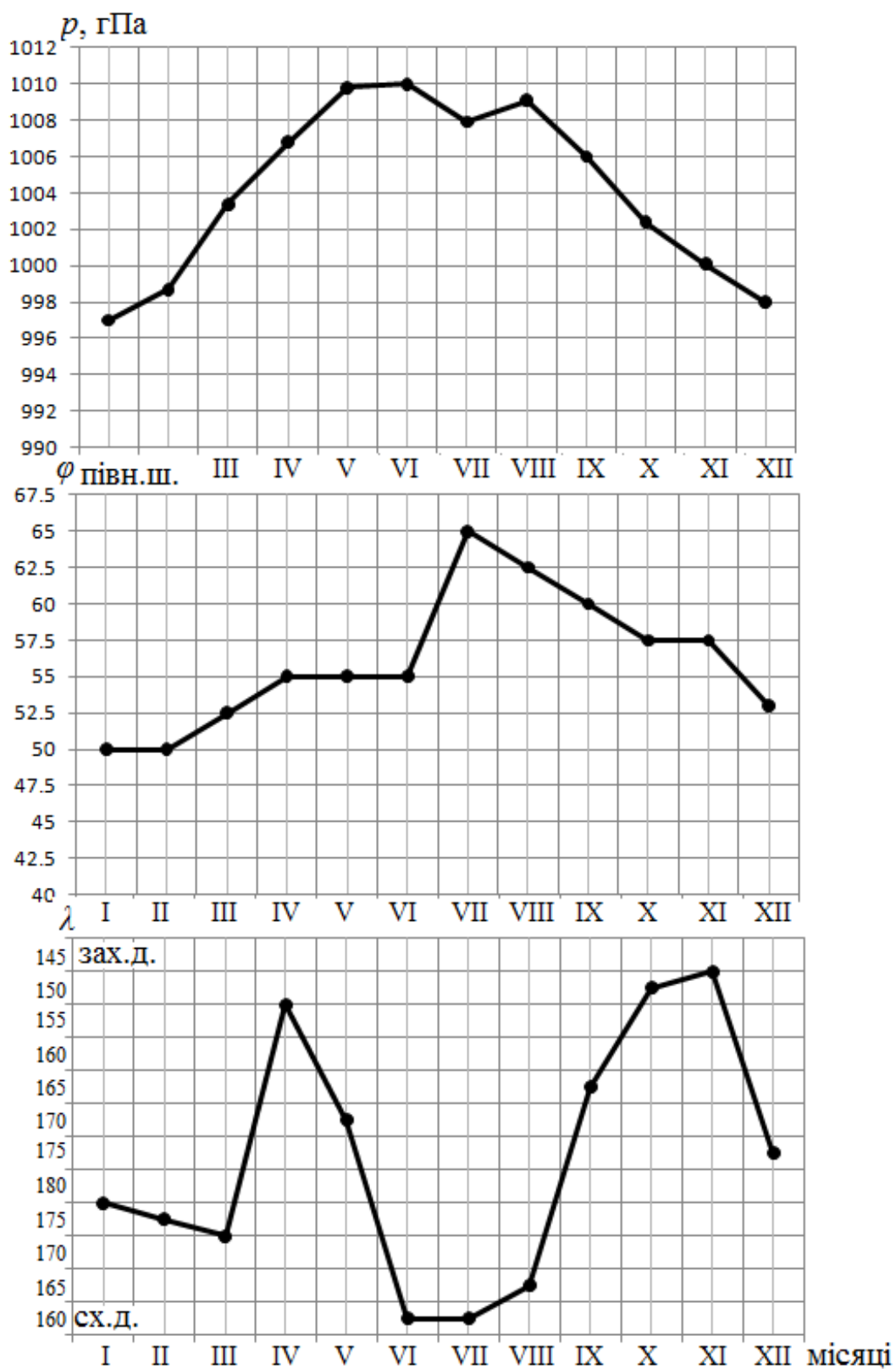


Рисунок 3.41 – Сезонні зміни тиску в центрі, широти та довготи центру дії атмосфери в північній частині Тихого океану (Алеутської депресії)

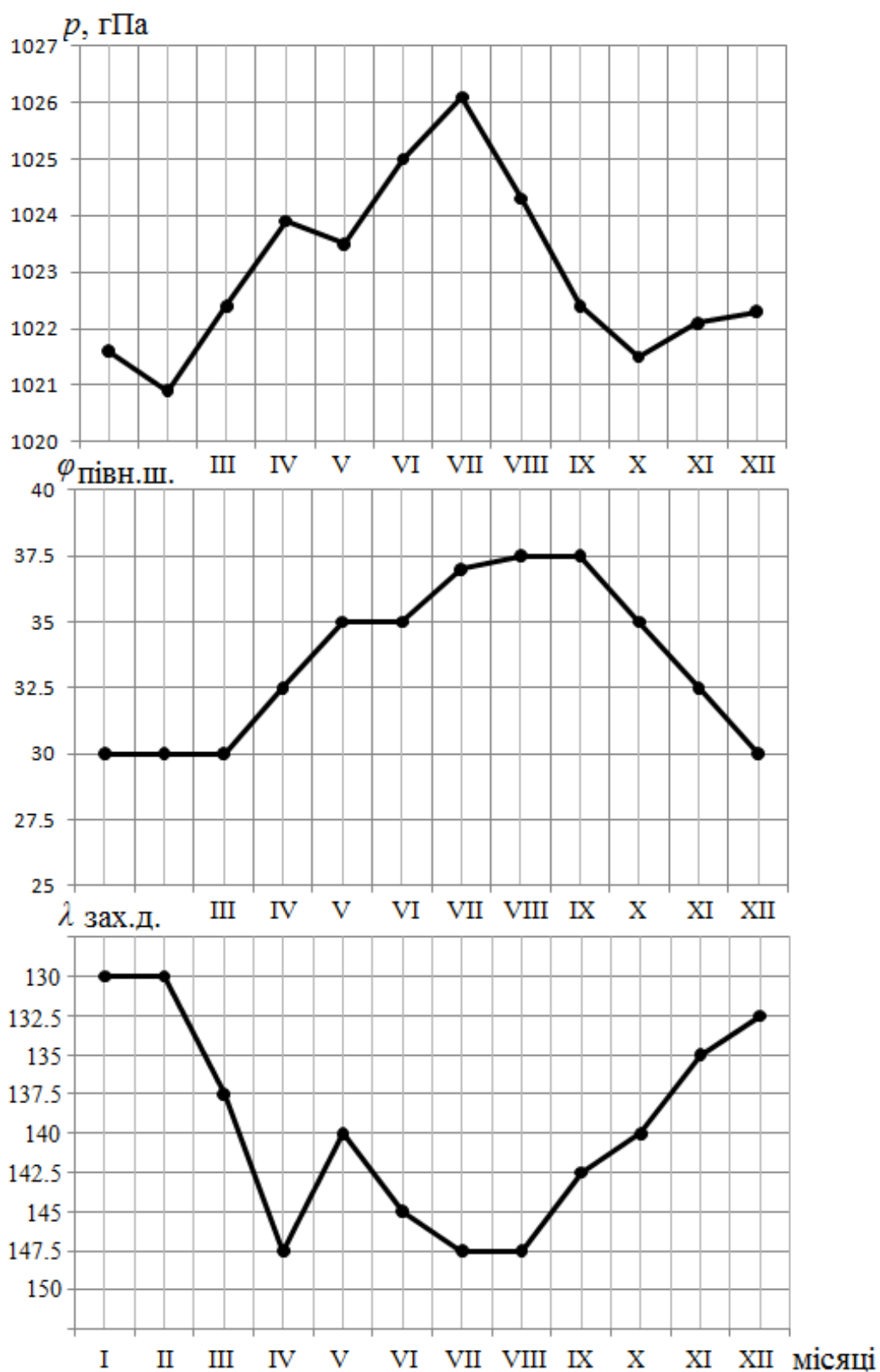


Рисунок 3.42 – Сезонні зміни тиску в центрі, широти та довготи центру дії атмосфери в північній частині Тихого океану (Гонолульського антициклону)

При цьому необхідно відмітити, що амплітуда коливання в антициклональному центрі (5.2 гПа) значно поступається за величиною розмаху змін тиску в сезонному ході Алеутської депресії (13 гПа).

У змінах розташування центрів дії за довготою коливання ще більші. Алеутська депресія (рис. 3.41) найменш східне положення займає влітку (червень – липень), а західне – восені (жовтень – листопад). Найбільш східне положення Гонолульський максимум тиску займає взимку (грудень – лютий) (рис. 3.42), а найзахіднішому положенні Північнотихоокеанський антициклон перебуває в осінній період (квітень) та літній сезон (червень – липень) на відміну від попередніх досліджень проведених за період 1900 - 1995 рр.

Представлені поля середніх значень приземного атмосферного тиску відображають особливості найбільш переважаючих великомасштабних процесів. Як відомо, операція осереднення представляє собою операцію фільтрації за допомогою фільтра з високими фільтруючими якостями, які у більшій мірі залежать від періоду згладжування.

Особливості мінливості полів приземного атмосферного тиску у різних областях розглядаємого регіону обумовлені виникненням та розвитком атмосферних вихорів.

Осереднений характер цих флуктуацій висвітлюють поля середніх квадратичних відхилень. В якості прикладу на рис. 3.41-3.46 представлені поля середніх квадратичних відхилень приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів.

Видно, що область максимальної мінливості змінює своє розташування у впродовж року. Найбільших значень середніх квадратичних відхилень (8 гПа) вона досягає у зимовий період (рис. 3.43).

У квітні положення центру максимальної мінливості зміщується у північному напрямку при цьому спостерігається зменшення, як масштабу її розповсюдження, так і значень середньоквадратичних відхилень.

$\varphi$ , ПІВН.Ш.

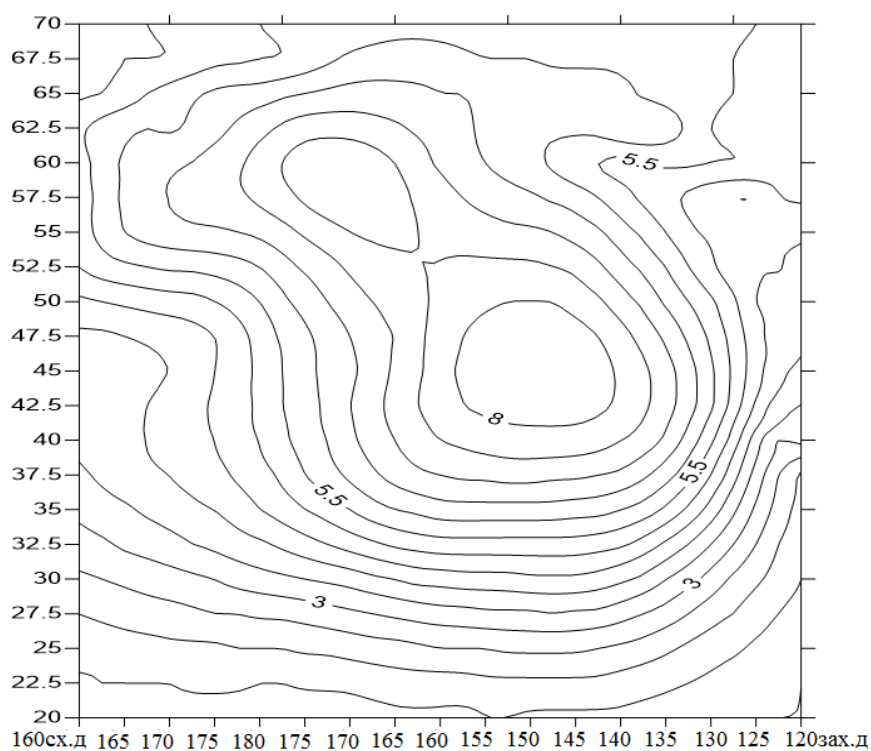


Рисунок 3.43 – Поле мінливості приземного атмосферного тиску, січень

$\varphi$ , ПІВН.Ш.

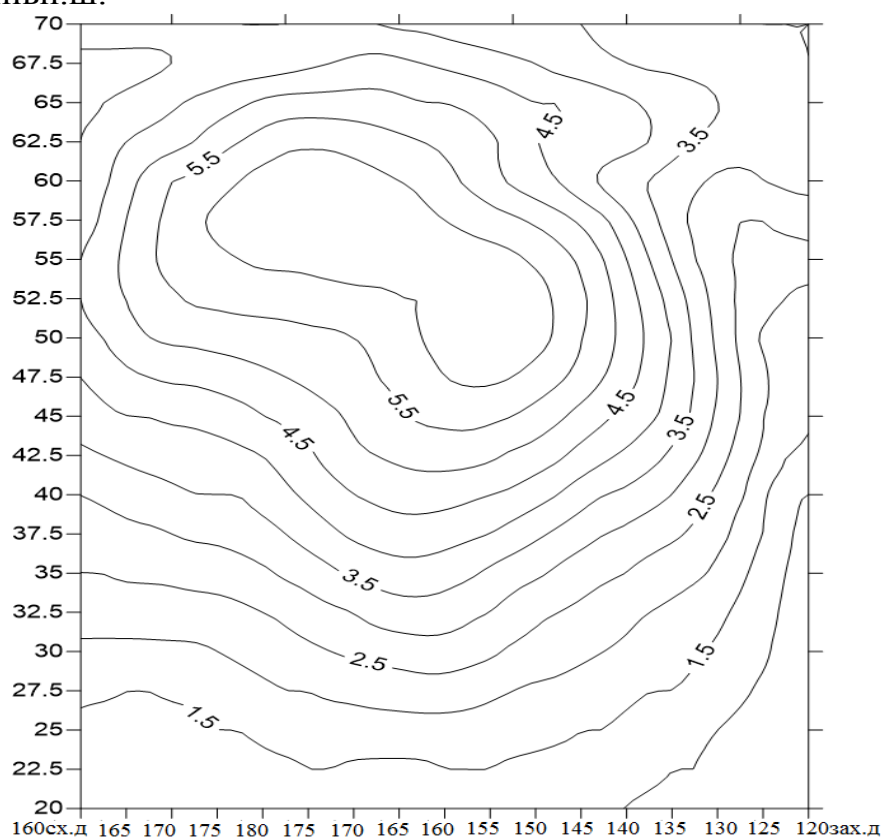


Рисунок 3.44 – Поле мінливості приземного атмосферного тиску, квітень



$\varphi$ , ПІВН.Ш.

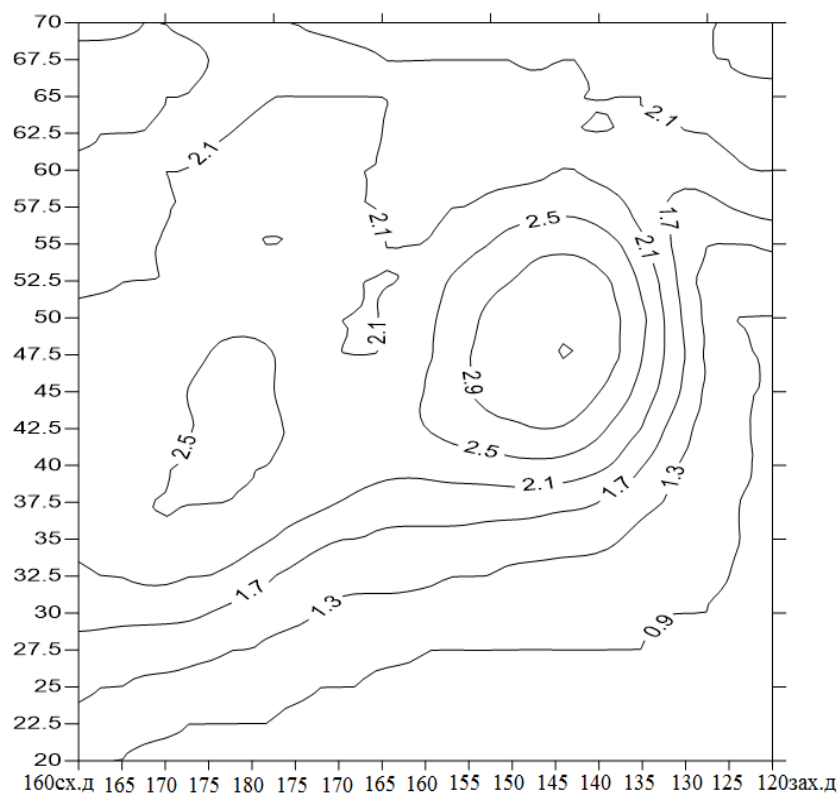


Рисунок 3.45 – Поле мінливості приземного атмосферного тиску, липень

$\varphi$ , ПІВН.Ш.

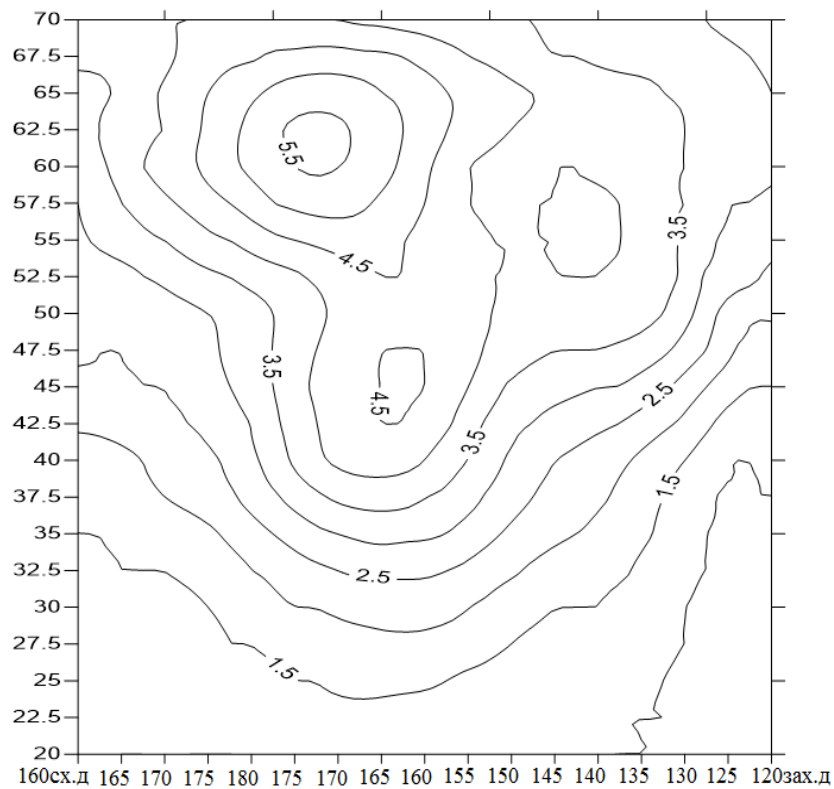


Рисунок 3.46 – Поле мінливості приземного атмосферного тиску, жовтень

Така мінливість структури поля може бути пов'язана із зміною розташування алеутської депресії, яка теж зміщується у весняний період у північному напрямку.

Найменших значень середні квадратичні відхилення досягають у липні (рис. 3.45), при цьому розташуванням області максимальної мінливості співпадає з антициклональним центром дії атмосфери у цей період.

Восені (рис. 3.46), значення середніх квадратичних відхилень полів приземного атмосферного тиску знову збільшуються (5,6 гПа) і центр максимальної мінливості знову зміщується у північному напрямку де посилюється у цей період циклонічний центр дії атмосфери.

#### 3.5.4 Компонентний аналіз полів приземного тиску та температури

*Власні значення та власні вектори матриці коваріації.* Раніше, при опису алгоритму компонентного аналізу, було відмічено, що власні значення мають сенс дисперсій ортогональних компонент полів приземного тиску. Оскільки сума всіх власних значень дорівнює сумарній дисперсії досліджуємих полів та власні значення упорядковані, а саме, розташовуються у порядку зменшення і характеризуються швидкою сходимістю, то як правило перші з них вичерпують значний відсоток від сумарної дисперсії полів. Саме цей відсоток і відноситься до найбільш великомасштабних циркуляційним атмосферним процесам. Властивості цих процесів висвітлюють ортогональні компоненти полів приземного тиску, які називають головними компонентами. Їх значення отримують шляхом ортогонального перетворення полів приземного тиску власними векторами, які відповідають вказаним вище власним значенням. Тому поля цих перших власних векторів відбивають властивості досліджуємих полів, а саме властивості найбільш великомасштабних циркуляційних процесів.

У табл. 3.26 містяться вклад величин перших чотирьох власних значень, які вичерпують більшу частину (більше 60%) від сумарної дисперсії полів приземного тиску.

Аналіз табл. 3.26 вказує на те, що найбільша енергія циркуляційних процесів на зимовий період (грудень – лютий), коли активується і досягає максимального розвитку циклонічний вихор (Алеутський мінімум).

Таблиця 3.26 – Вклад власних значень матриці коваріації полів приземного тиску

Місяць	Власні значення				
	$\lambda_1, \%$	$\lambda_2, \%$	$\lambda_3, \%$	$\lambda_4, \%$	$\sum_{i=1}^4 \lambda_i, \%$
Січень	31.8	25.7	12.0	9.7	79
Лютий	35.3	24.0	11.5	8.7	79
Березень	28.9	24.2	12.2	10.4	76
Квітень	34.2	19.8	11.1	10.1	75
Травень	30.5	17.9	13.7	10.4	73
Червень	27.2	19.1	14.4	8.6	69
Липень	23.5	19.1	11.9	9.7	64
Серпень	26.9	19.4	11.5	9.4	67
Вересень	31.1	17.7	13.6	9.2	72
Жовтень	33.6	16.1	13.9	8.9	73
Листопад	29.7	21.9	16.6	9.3	78
Грудень	35.6	24.9	13.5	8.6	83

Найменша сумарна дисперсія спостерігається у літній сезон (червень – серпень), що може бути пов'язано зі зміщенням на північ алеутської депресії та розвиненням антициклональної циркуляції майже над усім регіоном що розглядається. В табл. 3.27 представлені вклади перших власних значень та сумарне значення перших чотирьох власних значень які вичерпують більшу частину від сумарної дисперсії полів температури.

Видно, що перше власне значення вносить найбільший вклад в сумарну

дисперсію полів температури, тому відповідний власний вектор відбиває вплив найбільш великомасштабних процесів, що формують поля температури досліджуемого регіону.

Таблиця 3.27 – Вклад власних значень матриці коваріації полів приземної температури

Місяць	Власні значення				
	$\lambda_1, \%$	$\lambda_2, \%$	$\lambda_3, \%$	$\lambda_4, \%$	$\sum_{i=1}^4 \lambda_i, \%$
Січень	26.0	18.4	12,3	7,6	64
Лютий	24.1	20.3	14,5	9,2	68
Березень	28.0	19.2	11,3	8,5	67
Квітень	23.8	16.6	11,2	8,7	60
Травень	30.2	18.9	9,6	6,3	65
Червень	22.1	12.9	10,1	7,4	53
Липень	18.9	11.3	10,6	7,3	48
Серпень	39.8	14.5	8,7	5,5	69
Вересень	19.3	18.5	11,6	10,6	60
Жовтень	20.2	17.3	12,9	9,8	60
Листопад	23.3	20.1	11,5	7,8	63
Грудень	24.2	16.2	13,4	8,6	62

Найменша сумарна дисперсія спостерігається в літній сезон (липень), що може бути пов'язано зі зміщенням на північ Алеутської депресії та розвиненням антициклонального центру дії майже над усім регіоном. Як видно із табл. 3.26, перше власне значення вносить найбільший вклад у сумарну дисперсію полів приземного тиску, тому перший власний вектор, що відповідає цьому власному значенню, відбиває найбільш великомасштабні риси циркуляційних атмосферних процесів. В якості прикладу на рис. 3.47 – 3.50, представлені поля перших власних векторів приземного тиску для центральних місяців календарних сезонів.

$\varphi$ , півн.ш.

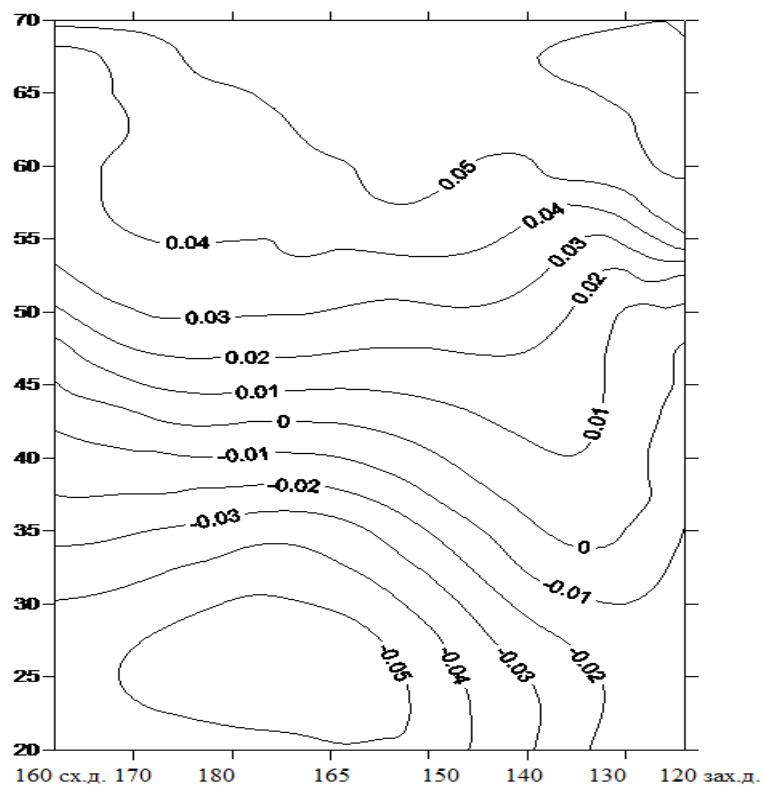


Рисунок 3.47 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, грудень

$\varphi$ , півн.ш.

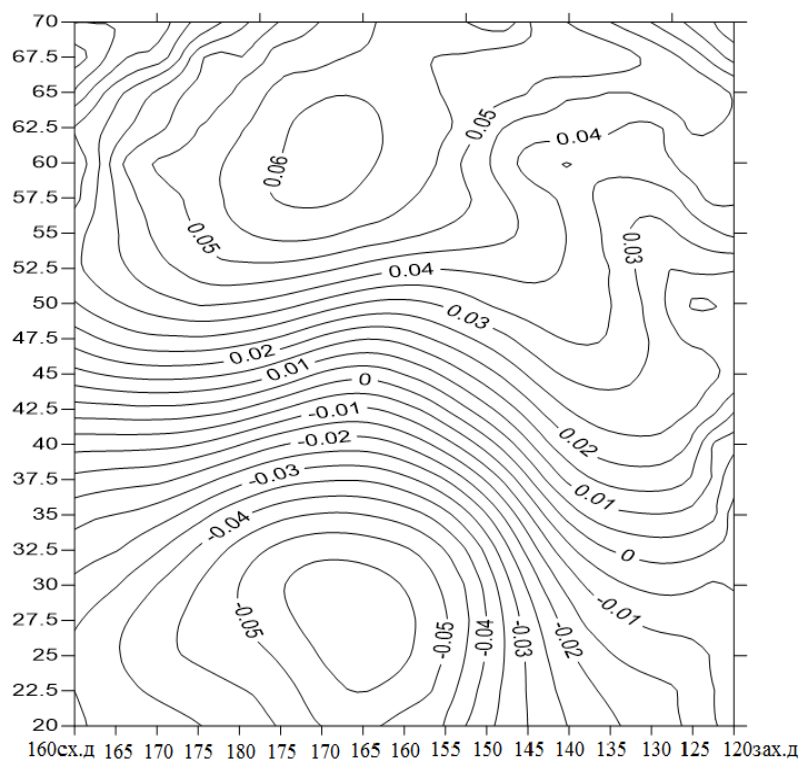


Рисунок 3.48 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, квітень

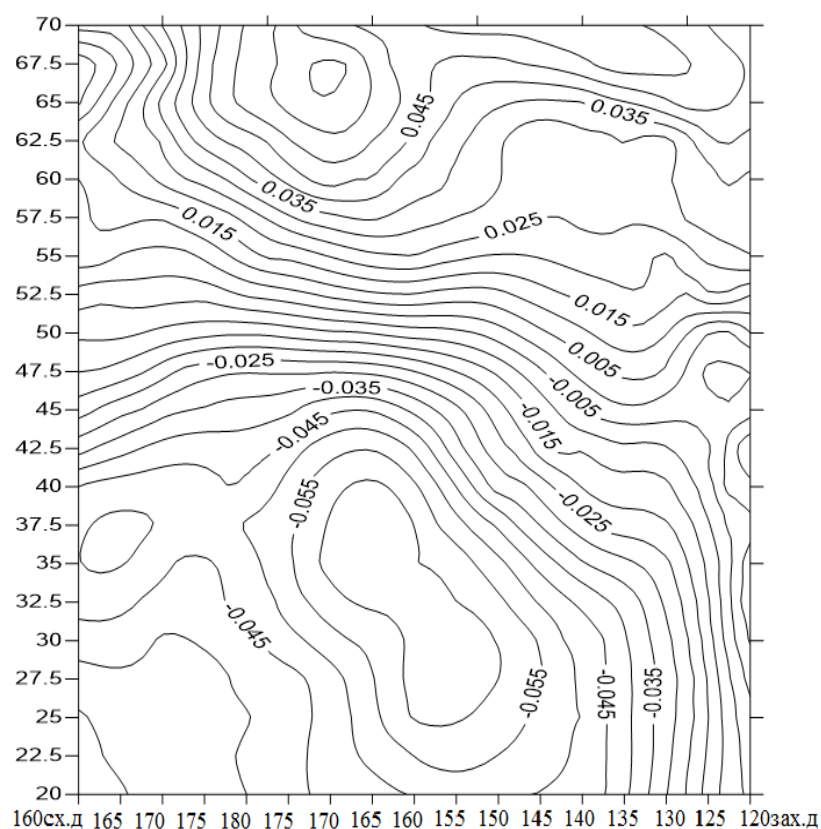
$\varphi$ , ПІВН.Ш.

Рисунок 3.49 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, липень

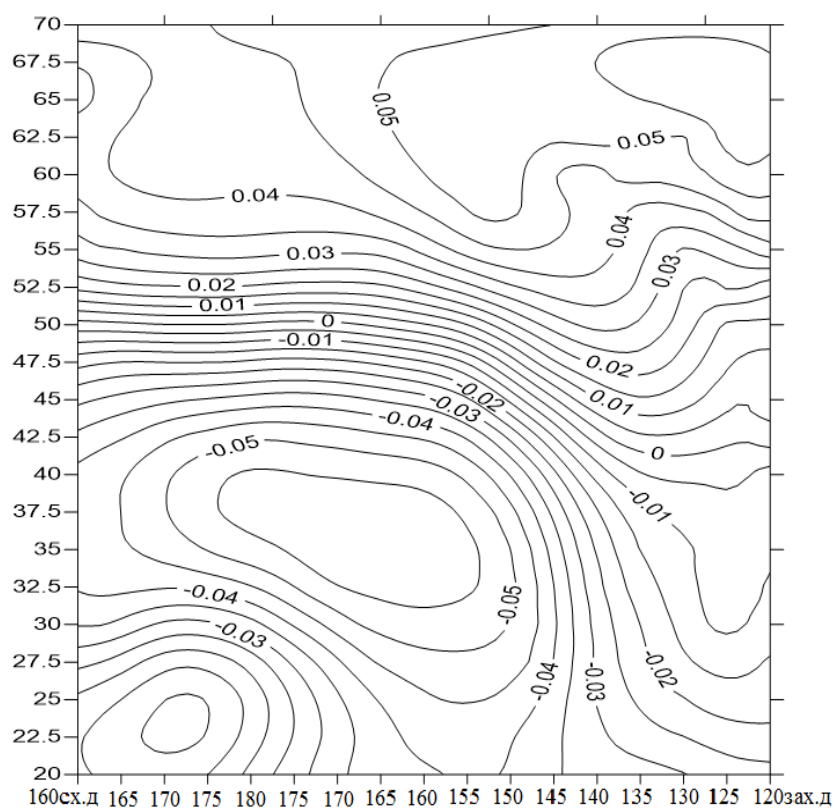
 $\varphi$ , ПІВН.Ш.

Рисунок 3.50 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, жовтень

Поле першого власного вектора змінює свою конфігурацію у продовж року. Як видно у грудні (рис. 3.47), поле охоплює значна область додатних значень власного вектора, яка може бути пов'язана з розвиненням циклонічного центру дії атмосфери (Алеутським мінімумом), характерним для зимового періоду.

У весняний період (рис. 3.48), поле першого власного вектора розділяється паралеллю  $45^\circ$  півн.ш. на дві майже рівнозначні області з різними знаками у центрах.

Така структура полів першого власного вектора свідкує про постійну наявність осциляції, яка може відповідати розташуванням двох центрів дії атмосферної циркуляції (Алеутського мінімуму та Гонолульського максимуму) у цей період року, що добре відображається на полях середніх значень приземного атмосферного тиску представлених раніше.

У літній та осінній сезони (рис. 3.49, 3.50), спостерігається перебудова полів перших власних векторів, а саме зміщення центрів з протилежними знаками в північному напрямку, яке відповідає фактичним переміщенням циклонічного та антициклонічного центрів дії атмосфери (рис. 3.39, 3.40).

Як видно з представлених полів перших власних векторів, вони дійсно відбивають найбільш великомасштабні риси циркуляційних атмосферних процесів в регіоні, а саме центри дії атмосфери північної частини Тихого океану.

*Статистична структура часових рядів головних компонент полів атмосферного тиску та температури.* Раніше шляхом ортогонального перетворення полів приземного тиску в базису власних векторів були отримані ортогональні компоненти. Аналіз власних значень показав, що більше 60% сумарної дисперсії полів приземного тиску вичерпують перші чотири власні значення. Оскільки, як було вказано вище, власними значеннями є дисперсії ортогональних компонент, перші компоненти несуть в собі основну

інформацію про статистичну структуру полів приземного тиску, тобто грають роль головних компонент цих полів.

Аналіз полів власних векторів підтвердив той факт, що загальні найбільш важливі риси процесів, що впливають на циркуляційний режим регіону, відбиваються в їх структурі. Тому подальшому розгляду будуть підвергнуті перші дві головні компоненти.

Для кожної компоненти були побудовані графіки часових рядів  $Z_i(t)$  ( $i=1, 2$ ), з дискретністю 1 місяць, довжина ряду склала 426 значень.

На рис. 3.51 та 3.52 представлені графіки першої  $Z_1(t)$  і другої  $Z_2(t)$  головних компонент приземного атмосферного тиску та на рис. 3.53 та 3.54 представлені графіки першої та другої головних компонент полів температури.

Графіки часових рядів головних компонент приземного атмосферного тиску та температури повітря свідчать про те, що вони містять не тільки коливання, які обумовлені циркуляційними процесами в даному регіоні, але і шумову компоненту.

$Z_1(t)$

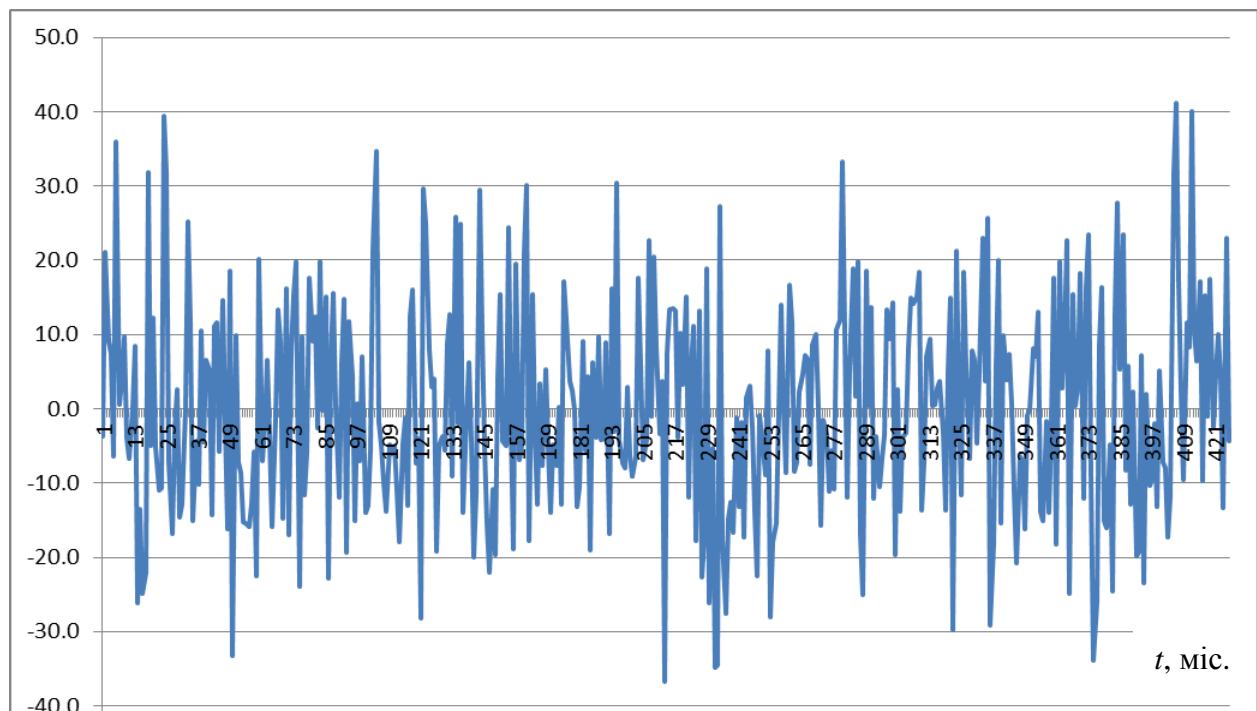


Рисунок 3.51 – Часовий ряд першої головної компоненти приземного тиску за період 1979 – 2014 рр.



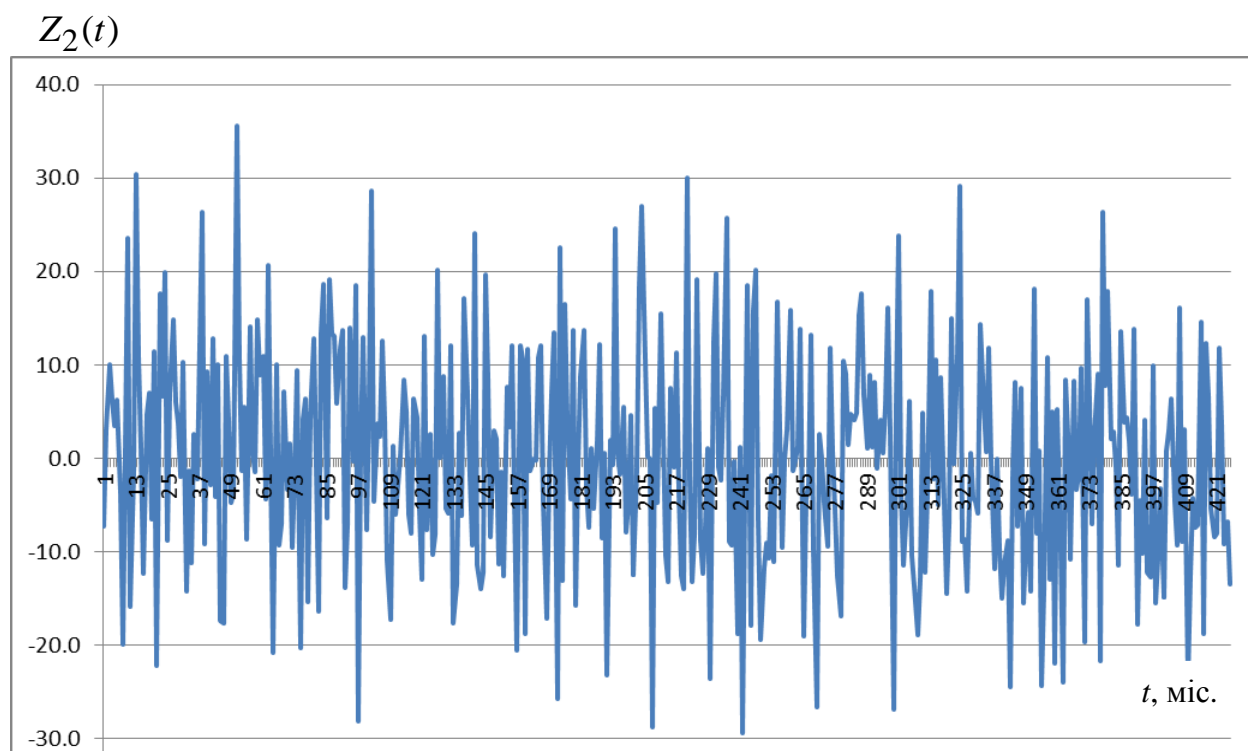


Рисунок 3.52 – Часовий ряд другої головної компоненти приземного тиску за період 1979 – 2014 рр.

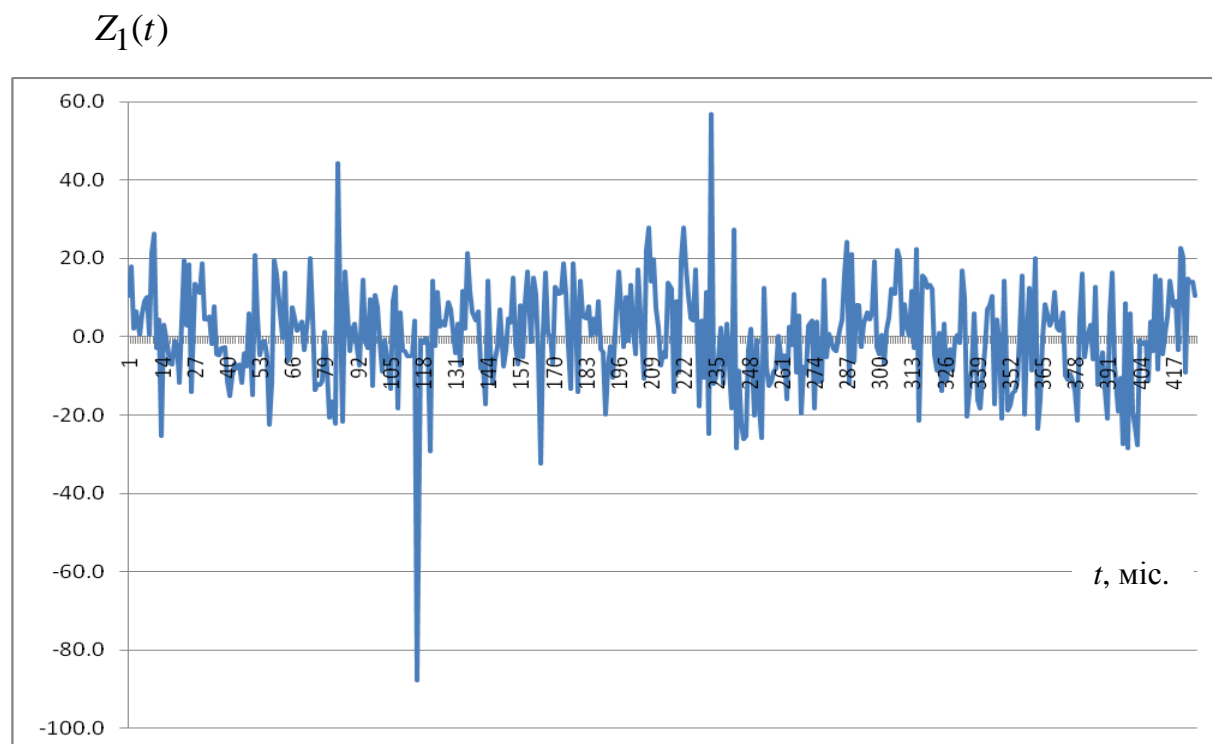


Рисунок 3.53 – Часовий ряд першої головної компоненти приземної температури за період 1979 – 2014 рр.

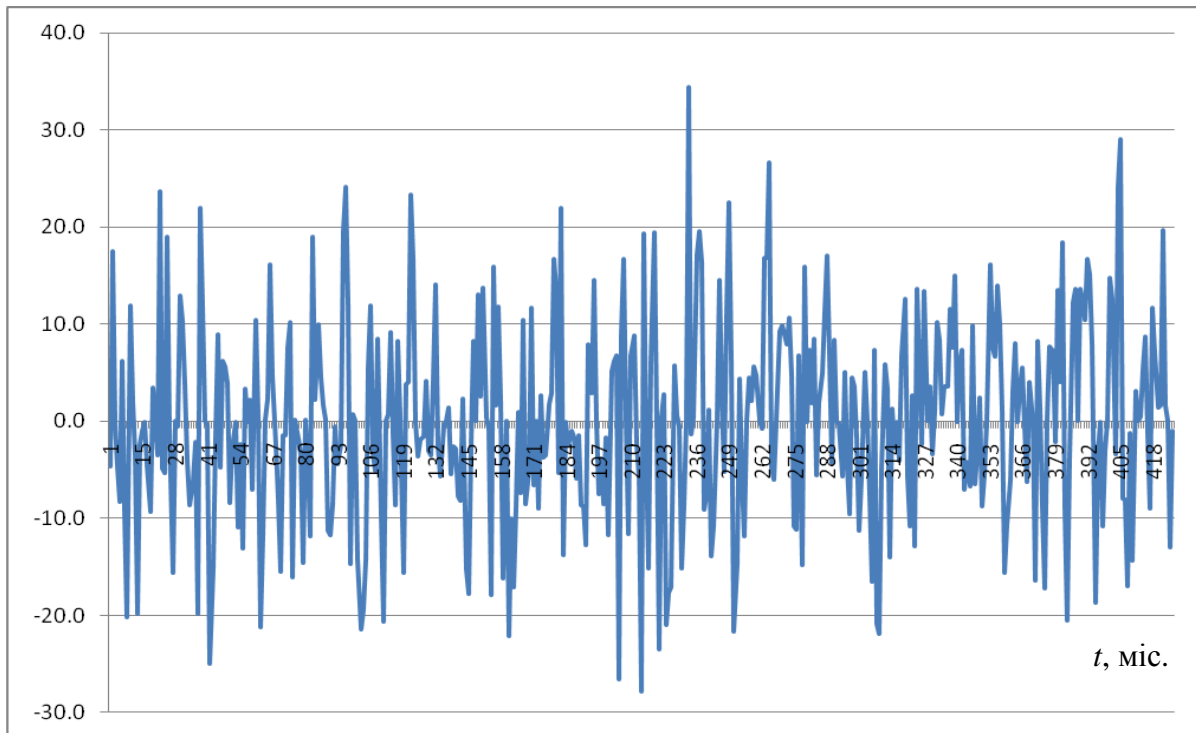
$Z_2(t)$ 


Рисунок 3.54 – Часовий ряд другої головної компоненти приземної температури за період 1979 – 2014 рр.

Позбавитися від неї можна шляхом операції фільтрації за допомогою ковзного осереднення [10]. Вагові множники при цьому мають вигляд, який прийнято називати косинус – фільтром. Він дозволяє проводити ковзне осереднення так, щоб максимальне значення приписувалося точці, яка є серединою інтервалу згладжування.

Від останнього залежить і жорсткість фільтру, а також його реакція. Тому вибір інтервалу згладжування є важливим завданням. Існують різні підходи для вирішення цієї задачі. На наш погляд, доцільно як період згладжування вибрати інтервал, який відповідає періодичності, що має велику енергію коливання з одного боку, і достатньо великий інтервал згладжування – з іншого. Такі періодичності можна встановити за допомогою перетворення Фур'є.

*Приховані періодичності в часових рядах головних компонент.* Аналіз часових рядів головних компонент приземної температури повітря дає підстави вважати, що кожен з них утримує в собі періодичні компоненти. Тому була зроблена спроба відфільтрувати ці періодичності за допомогою перетворення Фур'є.

Часовий ряд  $Z(t)$ , визначений на інтервалі  $t \in [-\tau, \tau]$  можна розглядати як кусково-гладку функцію часу [10]. Таку функцію згідно з теоремою Діріхле можна виразити суперпозицією простих гармонік. Оскільки  $M[Z_{ij}] = 0$ , то відповідний вираз має вид

$$Z(t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (3.27)$$

або за теоремою синусів

$$Z(t) = \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t]. \quad (3.28)$$

Якщо позначити

$$a_k = A_k \sin \varphi_k, \quad (3.29)$$

$$b_k = A_k \cos \varphi_k, \quad (3.30)$$

то очевидно,

$$A_k = [a_k^2 + b_k^2]^{1/2}, \quad (3.31)$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k}. \quad (3.32)$$

Така функція може утримувати періодичні компоненти, які характеризуються амплітудою (3.31), частотою  $\omega_k$  і початковою фазою (3.32). Для визначення періодичностей, які приховані у часовому ряді  $Z(t)$  будемо застосовувати перетворення Фур'є з вікном Гіббса.

Визначення періодичностей, характерних для процесу  $Z(t)$ , базується на побудові верхньої довірчої границі для амплітуд з заданою ймовірністю. Періоди  $T_k$  гармонік  $\omega_k$ , які відповідають пікам амплітуд  $A_k$ , що виходять за довірчу границю, ототожнюються з періодами гармонічних коливань, які утримуються у випадковому процесі  $Z(t)$ .

Результати розрахунків дали можливість отримати амплітудно – частотну характеристику  $A(\omega_i)$  для кожного з процесів  $Z_i(t)$  ( $i = 1, 2$ ).

Як вказувалось вище, значущими є ті частоти, піки амплітуд, яких виходять за довірчий інтервал  $\bar{A} + \sigma_A$ , відповідний ймовірності  $p = 0.68$ , де  $\bar{A}$  – середнє значення амплітуди періодограми,  $\sigma_A$  – середньоквадратичне відхилення.

У табл. 3.28, 3.29 представлені характеристики статистично значущіх періодичних коливань часових рядів першої та другої головних компонент приземного атмосферного тиску, отриманих за допомогою інтегрального перетворення Фур'є.

Аналіз табл. 3.28 свідчить про те, що часовий ряд першої головної компоненти  $Z_1(t)$  містить статистично значущі коливання з періодами 5 років, квазірічні, а також піврічні та сезонні періодичні коливання. З табл. 3.29 видно, що часовий ряд другої головної компоненти полів приземного тиску  $Z_2(t)$ , який характеризує атмосферні процеси меншого масштабу, містить статистично значущі гармоніки з періодами 1 рік, а також, як і у часовому ряді першої головної компоненти, піврічні та сезонні періодичні коливання.

Таблиця 3.28 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду першої головної компоненти приземного тиску

№ п/п ( <i>i</i> )	$\omega_i$	$T_i$ , місяці	$T_i$ , роки	$A_i$
1	0.1	63	5.2	2.3
2	0.6	10	0.9	1.6
3	0.69	9	0.8	1.8
4	0.88	7	0.6	1.6
5	1.25	5	0.4	1.6
6	1.45	4	0.4	1.6
7	2.18	3	0.24	2.2

Таблиця 3.29 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду другої головної компоненти приземного тиску

№ п/п ( <i>i</i> )	$\omega_i$	$T_i$ , місяці	$T_i$ , роки	$A_i$
1	0.48	13	1.1	1.5
2	0.63	10	0.8	1.9
3	0.76	8	0.7	1.5
4	0.88	7	0.6	1.6
5	1.09	6	0.5	1.7
6	1.14	5.5	0.5	1.5
7	1.61	4	0.3	2.2

У табл. 3.30, 3.31 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часових рядів першої та другої головних компонент полів приземної температури.

Як видно з табл. 3.30, часовий ряд першої головної компоненти полів температури містить статистично значущі коливання з періодами 15, 9 та 6.7 років, а також річні, піврічні й сезонні гармоніки.

В часовому другій головної компоненти полів приземної температури (табл. 3.31), визначаються статистично значущі циклічні коливання з періодами

2.2 та 1 рік, а також, як і у часовому ряді першої головної компоненти, піврічні та сезонні періодичні коливання.

Таблиця 3.30 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду першої головної компоненти приземної температури

№ п/п ( <i>i</i> )	$\omega_i$	$T_i$ , місяці	$T_i$ , роки	$A_i$
1	0.04	174.3	15	2.56
2	0.06	109.7	9	3.26
3	0.08	80.0	6.7	2.97
4	0.5	12.5	1	2.2
5	1.14	5.5	0.5	1.7
6	1.69	3.7	0.3	1.96
7	2.16	2.9	0.2	2.4

Таблиця 3.31 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду другої головної компоненти приземної температури

№ п/п ( <i>i</i> )	$\omega_i$	$T_i$ , місяці	$T_i$ , роки	$A_i$
1	0.23	27.6	2.2	1.90
2	0.46	13.6	1.1	1.97
3	0.74	8.5	0.7	1.49
4	0.82	7.6	0.6	1.44
5	1.50	4.2	0.3	2.42
6	1.63	3.9	0.3	1.91

Щодо річної та сезонної циклічностей, то вони є природними, що відображають вплив руху Землі по орбіті й пов'язані з особливостями надходження сонячної радіації.

Загальною особливістю просторового розподілу амплітуд піврічних варіацій приземного атмосферного тиску є локалізація областей значних

амплітуд над районами, розміщеними переважно у середніх і високих широтах. Стосовно 5-ти та 6-ти річних коливань, які містяться в часових рядах перших головних компонент полів приземного тиску та температури, відповідно, то вони привертають особливу увагу, бо зустрічається в таких відомих осциляціях як Ель-Ніньо Південне коливання та Північноатлантичне коливання.

*Особливості структури згладжених рядів головних компонент.* Більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Багаторічні змінення характеру кліматоформуючих факторів приводить до виникнення трендів, а також великомасштабних коливань, які не можуть бути виявленими за допомогою перетворення Фур'є через обмеженість інтервалу визначення часових рядів  $Z(t)$ , що аналізуються. Для виявлення трендів та великомасштабних коливань проводиться процедура згладжування часових рядів [10]. Одним із видів згладжування є ковзне осереднення, яке у загальному виді можна зобразити формулою

$$Z(t_k) = \frac{1}{l} \sum_{i=k-\frac{l}{2}}^{k+\frac{l}{2}} \alpha_i Z(t_i), \quad (3.33)$$

де  $\alpha_i$  – ваговий множник;  $l$  – кількість точок, по яких проводиться згладжування,  $k = 1 + \frac{l}{2}; 2 + \frac{l}{2}; \dots; N' + \frac{l}{2};$   $N' = N - l + 1,$   $N$  – кількість членів ряду  $Z(t_i)$ .

Ваговий множник потрібно вибирати таким, щоб найбільшу вагу мала точка, яка знаходиться на середині відрізка згладжування, а зі збільшенням відстані від цієї точки вага  $\alpha_i$  – зменшувалася. Цій вимозі відповідає тригонометричний ваговий множник (косинус – фільтр).

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-i)}{l}. \quad (3.34)$$

Він і буде використовуватися при згладжуванні часових рядів  $Z(t)$  головних компонентів метеорологічних полів, що розглядаються.

Окрім виду вагового множника, результат фільтрації залежить й від кількості точок, по яких виконується згладжування. Чим менше  $l$ , тим швидше реакція фільтру (3.33), але тим гіршим є його фільтруючі якості і навпаки. Отже задача полягає у правильному виборі періоду згладжування. Існують рекомендації період згладжування ототожнювати з періодом найбільшої за масштабом періодичності, яка виявляється в результаті процедури виявлення періодичностей, яка розглядалася вище. Можна також при виборі періоду згладжування використовувати апріорну інформацію про періодичності у атмосферних процесах, які формують метеорологічні поля, що підлягають дослідженню.

Аналіз періодичностей виявлених у часових рядах головних компонент полів приземного тиску та температури дає підстави проводити операцію згладжування для першої головної компоненти полів приземного тиску з періодом 5 років (60 точок), для другої – з періодом 1 рік (12 точок), а для першої головної компоненти полів приземної температури з періодом 6 років (72 точки), а для другої – з періодом 2 роки (24 точки).

На рис. 3.55 наводяться результати згладжування першої головної компоненти, вихідний часовий ряд представлено на рис. 3.51 (потрібно пам'ятати, що при використанні алгоритму, який застосовується, ряд значень осереднених величин скорочується в порівнянні з вихідним часовим рядом зліва та справа на половину періоду згладжування) [10].

Аналіз згладженого часового ряду вказує на те, що у випадковому процесі, який відповідає першій головній компоненті полів приземного тиску, спостерігається квазідесятирічна періодичність, а також п'ятилітні коливання.



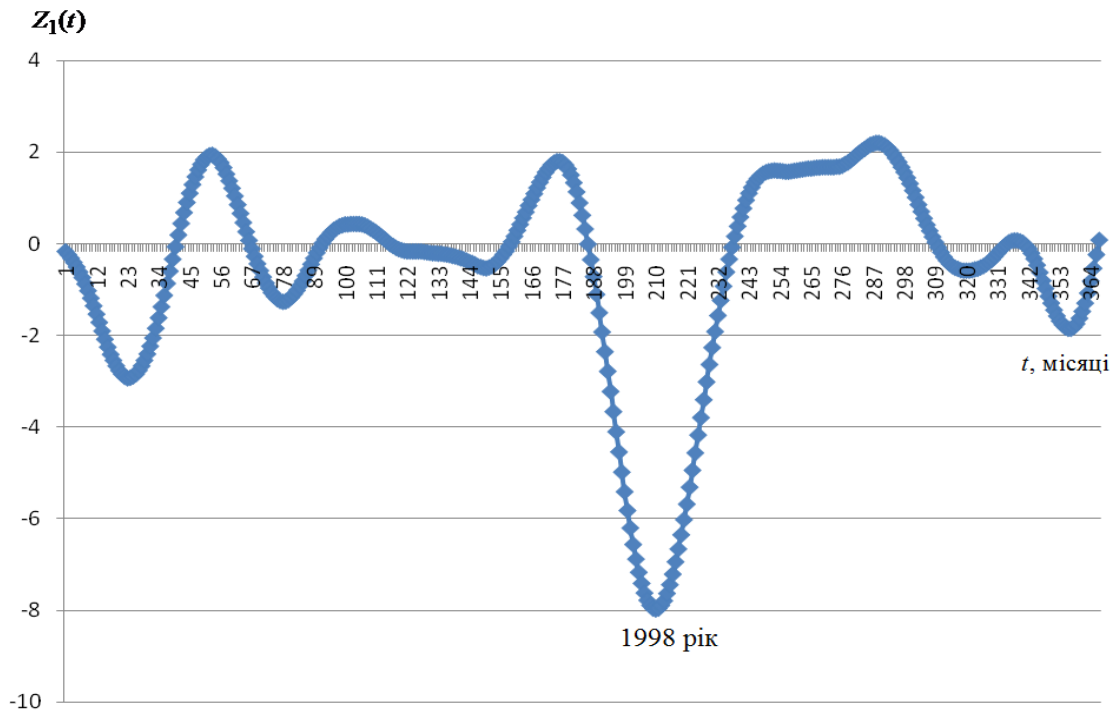


Рисунок 3.55 – Згладжений часовий ряд першої  $Z_1(t)$  головної компоненти полів приземного атмосферного тиску

Згладжений часовий ряд другої головної компоненти (рис. 3.56) має гармоніки з 5-6-річними періодами із змінною за часом амплітудою. По піках амплітуд, які виділяються із загального рівня, виявляється ще й квазідесятирічне коливання. Крім того, має місце добре виражений тренд у бік зменшення інтенсивності коливань. Відмічена, трендова компонента, свідчить про те, що інтенсивність цього процесу зменшується. Для визначення причин такого значного тренду спаду значень другої головної компоненти будуть продовжуватись подальші дослідження.

Аналіз згладженого часового ряду першої головної компоненти полів температури (рис. 3.57) вказує на те, що як і в часовому ряді першої головної компоненти полів тиску, спостерігається квазідесятирічна періодичність, а також п'ятилітні коливання.

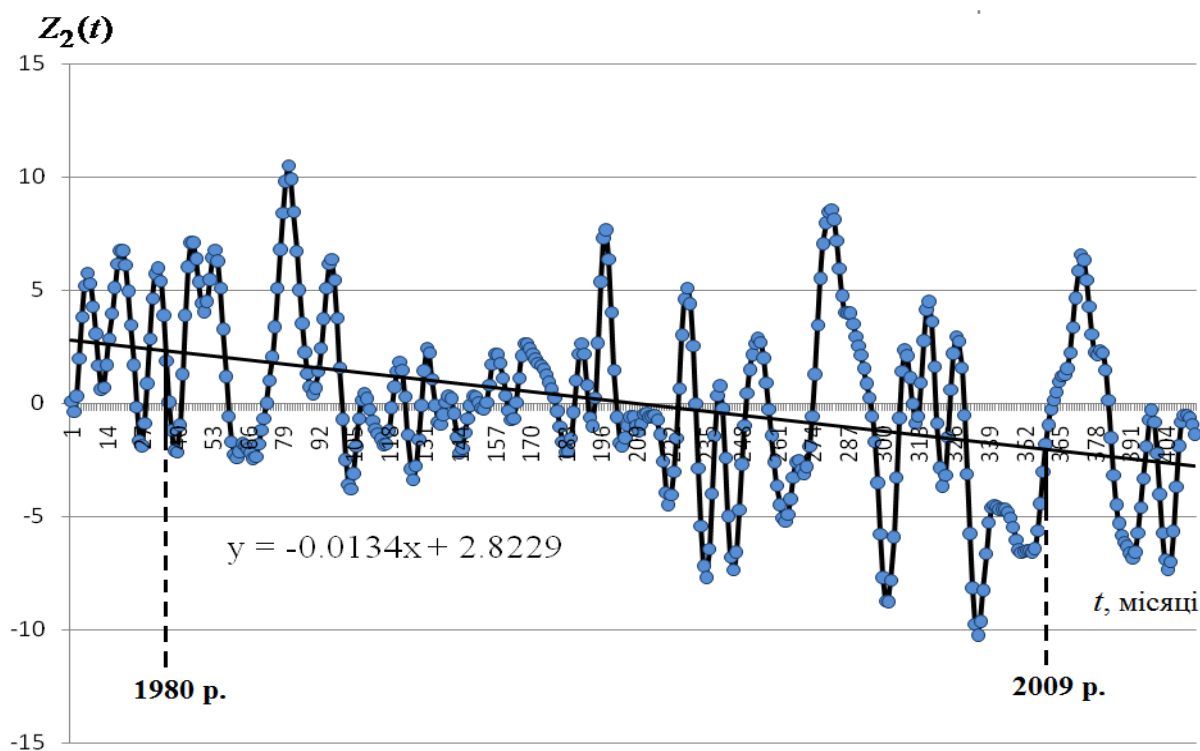


Рисунок 3.56 – Згладжений часовий ряд другої головної компоненти  $Z_2(t)$  полів приземного атмосферного тиску

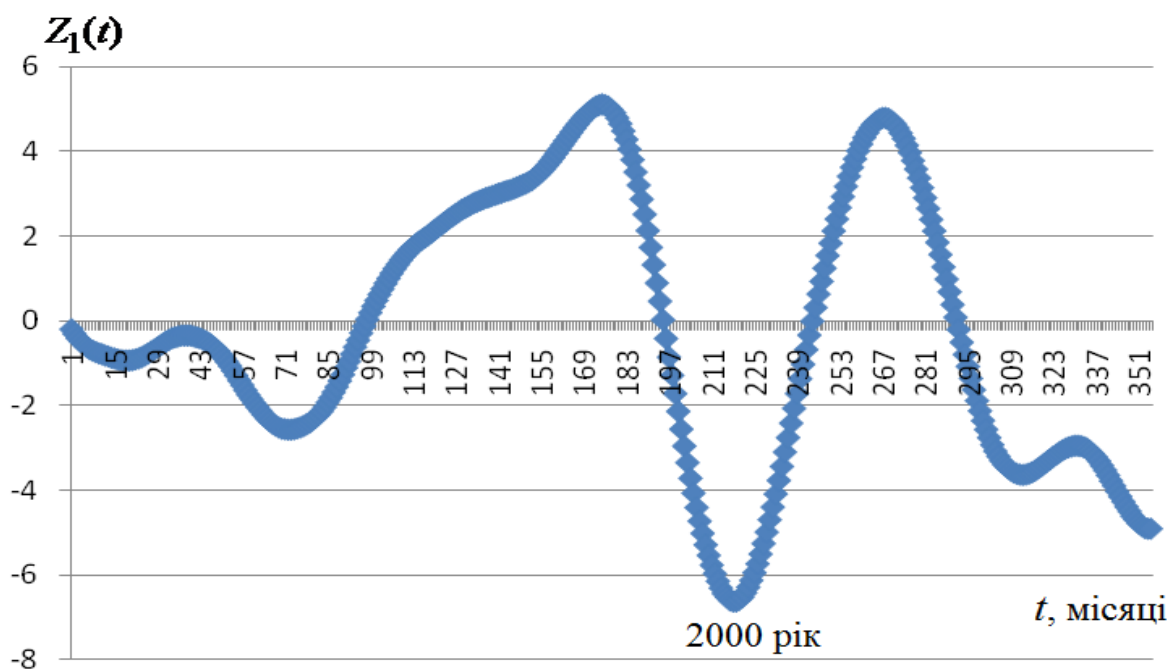


Рисунок 3.57 – Згладжений часовий ряд першої головної компоненти  $Z_1(t)$  полів температури

Особливу увагу привертає утворення абсолютного мінімуму значень у відповідних головних компонентах із зсувом в 2 роки (рис. 3.55 та 3.57). Виникає питання, наскільки значний вплив мають визначені коливання  $Z_1(t)$  та  $Z_2(t)$ , дисперсії яких вносять найбільший вклад в сумарну дисперсію полів приземного тиску, на структуру баричних полів. Для вирішення цієї задачі необхідно виділити вклад цих головних компонент в процеси формування полів тиску.

В подальшому дослідженні буде проведена фільтрація полів тиску головними компонентами. Це дасть можливість, шляхом оберненого перетворення в базисі власних векторів, отримати ту частку вихідних полів тиску, яка відбиває великомасштабну складову відповідних полів.

Згладжений часовий ряд другої головної компоненти полів температури (рис. 3.58) має гармоніки з 5-6-річними коливаннями із змінною за часом амплітудою.

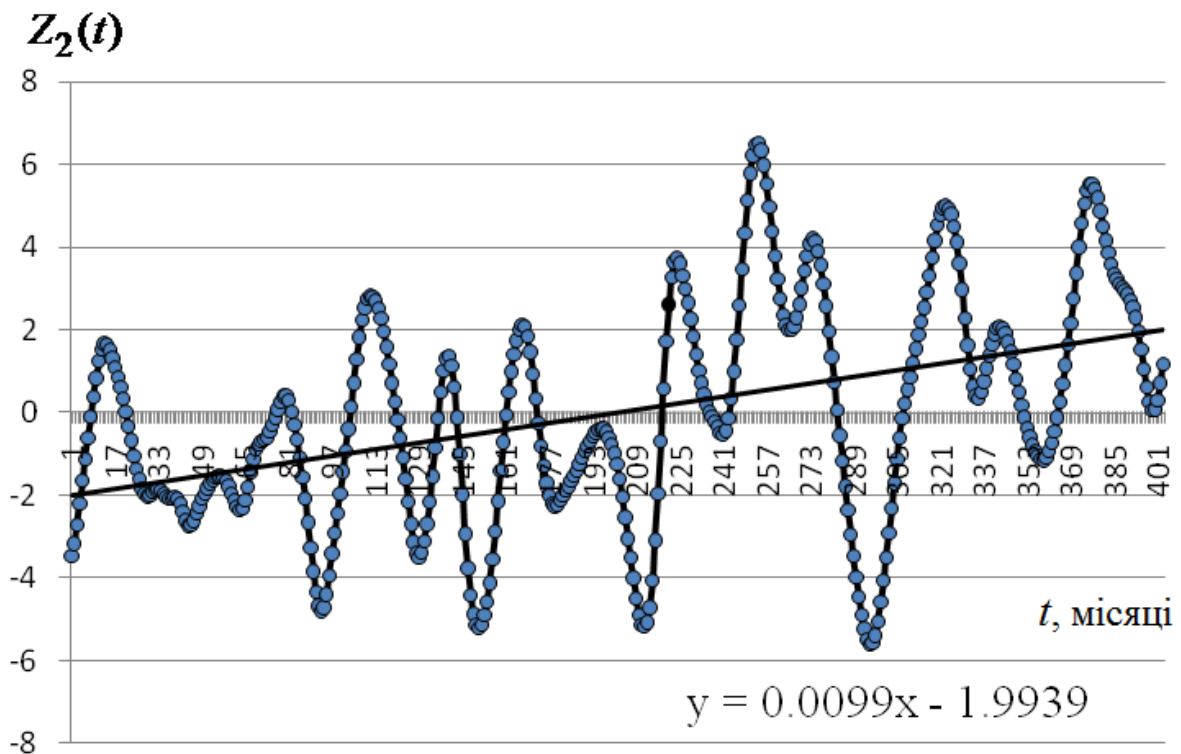


Рисунок 3.58 – Згладжений часовий ряд другої головної компоненти  $Z_2(t)$  полів температури

Видно, що має місце добре виражений тренд у бік збільшення інтенсивності коливань. Для визначення причин такого значного тренду збільшення значень другої головної компоненти полів температури будуть продовжуватись подальші дослідження.

Визначені довгоперіодні коливання (5 і 10 років), зустрічається в таких відомих осциляціях, як Північноатлантичне коливання (ПАК), Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК) і Північно-Тихоокеанське коливання (ПТОК), а також у часових рядах параметрів сонячної активності (числах Вольфа). Деякі дослідження вказують на позитивну кореляцію між зростанням сонячної активності та розвитком сильних антициклонів, а також посиленням циклонних вихорів в широтній зоні 40-60°. У багатьох зв'язків Сонця та погоди відмічений вищий ступінь кореляції протягом зимового періоду, коли пряма дія сонячного випромінювання менш істотна. Ясно також те, що такий вплив на погоду не однаковий й навіть не однозначний в різних частинах планети.

## 4 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕДУРИ ПІДГОТОВКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВІДГУКИ КЛІМАТІВ У РЕГІОНАХ СХІДНОЇ ЄВРОПИ

### 4.1 Фізико-географічні особливості Східноєвропейського регіону

Перш ніж приступити до аналізу результатів кластеризації перших трьох головних компонентів процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї шару повітря в районі відгуків, необхідно, загалом, описати умови, що впливають на інтенсивність даної взаємодії. До них можна віднести такі фактори, як різноманітність поверхні, що підстилає, і її рельєфу (гори і рівнини, суша і вода, ліс і степ), які істотно впливають на фізичний стан атмосфери, особливо в приземному шарі. Це пов'язано, у першу чергу, з різними здатностями ділянок поверхні поглинати й накопичувати короткохвильову сонячну радіацію, а також випромінювати радіацію в довгохвильовому діапазоні. Більшу частину території Східної Європи з північної сторони займає Східно-Європейська рівнина (далі Рівнина). Вона простирається від Балтійського моря і Карпат із заходу до Уральських гір на сході, від Баренцева і Білого морів на півночі до Кавказьких гір і Чорного моря на півдні. До складу Східно-Європейської рівнини входить цілий ряд низовин (Причорноморська, Придніпровська, Оксько-Донська, Прикаспійська (частина її лежить нижче рівня Світового океану), Печорська, Кумо-Маничська западина і т.д.) і височин (Придніпровська, Середнеруська, Валдайська, Приволзька, Волинсько-Подільська височини, Північні ували, Тіманський кряж), перепад висот яких не є значним. Височина Загальний сирт, єдина частина гірської системи Урал, що входить до складу розглянутої території відгуків з південно-сходу. На півдні Східної Європи розташовані гірські масиви Кавказу та Криму, на південному заході – середневисотний молодий гірський ланцюг Карпати.

Основна частина Криму – це степова зона, гірські гряди, які розташовані по півдні півострова. Гірський масив Кавказ охоплює простір між Чорним і Каспійським морями і складається із трьох частин: Передкавказзя (в основному рівнинна поверхня, що включає Ставропольську височину), Великого Кавказу (потужна система гір зонально-меридіональної спрямованості), Колхидської низовини і Куринської западини, і далі – ланцюга Малого Кавказу і Джавахетсько-Вірменського нагір'я .

Більшу частину розглянутої території займають болота, які розташовані головним чином у лісовій і тундровій зонах (Карелія, Полісся й т.д.). Для цих районів характерне перевищення кількості опадів над випаровуванням.

На території Східної Європи протікає безліч рік, знаходиться велика кількість озер, що мають відношення до внутрішніх водойм. Самими великими озерами є Ладозьке, Чудське, Онезьке, Псковське. Вони розташовуються в північно-західній частині Східно-Європейської рівнини. На півдні і на північно-заході розташовуються Чорне, Каспійське й Балтійське моря, що входять до складу басейну Атлантичного океану й багато в чому визначають погодні умови прибережних зон.

Одну з основних ролей у процесах взаємодії атмосфери й поверхні, що підстилає, грають циркуляційні умови в атмосфері над територією Східної Європи. Узимку південна частина Східно-Європейської рівнини перебуває під впливом зони підвищеного атмосферного тиску, обумовленої Азорським і Сибірським максимумами. Своєрідна вісь, що проходить через центр цього утворення, розділяє систему вітрів на західні і південно-західні (вологі і відносно теплі вітри) - у північній частині і східні і північно-східні (сухі і холодні) - у південній. Над материковою частиною при тривалому знаходженні над нею повітряної маси, формується континентальне повітря. Узимку, частіше з північного заходу, з циклонами надходить тепле вологе морське атлантичне повітря, а з південного заходу, з Балкан, циклони виносять більш тепле, насичене вологою середземноморське повітря. Подібні виходи даних баричних

утворень супроводжуються сильними вітрами й опадами, особливо на території України. Просуваючись на схід, повітряна маса прохолоджується і стає сухішою, тобто набуває риси континентального повітря. З півночі взимку на північну частину території Східної Європи надходить арктичне повітря. Іноді воно проникає і у південні області. Просуваючись на південь, воно трансформується в повітря помірних широт.

Узимку, більша частина Східної Європи знаходиться в області від'ємних температур повітря і покрита сніжним покривом. Виняток, як правило, складають південні райони, наприклад південний берег Криму. Опадів найбільше випадає в гірських районах. Опади, що випадають, і температури визначають вміст вологи в атмосфері, а сніжний покрив, який займає поверхню, що підстилає, зводить до мінімуму потоки тепла в атмосферу.

#### 4.2 Основні аспекти процедури формування відгуків

У розробленій імітаційній фізико-статистичній моделі кліматів у різних регіонах Східної Європи, що формуються в процесі енерго-масообміну в нижній тропосфері над акваторією Північної Атлантики, впливами виступають значимі головні компоненти векторів станів. Координатами останніх є: у шарі взаємодії поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї повітря – температура поверхні, що підстилає, температура повітря на висоті 2 м, різниця цих температур, потоки схованого тепла, зональна складова швидкості вітру; на поверхнях 850 і 700 гПа - температура повітря, масова частка водяної пари, геопотенціал, зональна складова швидкості вітру, відносний вихор швидкості. Репрезентативні вектори головних компонентів визначалися шляхом компонентного і кластерного аналізу полів векторів станів у зазначеному в попередньому розділі просторі Північної Атлантики. У ролі відгуків

виступають головні компоненти векторів станів кліматичних характеристик, які задані середньомісячними значеннями у вузлах регулярної сітки точок  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  у просторі, обмеженому координатами  $30^\circ - 65^\circ$  півн.ш. і  $25^\circ - 55^\circ$  с.д. Такими характеристиками є температура поверхні, що підстилає, температура повітря на висоті 2 м, різниця зазначених температур, поверхневі потоки схованого тепла й зональна складова швидкості вітру.

У [38] наводилися дані про те, що післядії процесів тепло- і вологообміну в Північній Атлантиці на територію Східної Європи здійснюються через 1-3 місяця. Тому масиви даних про перераховані вище фактори формувалися за листопад – лютий з 1957 по 2003 р. г., а про відгуки – за грудень – березень того ж часового інтервалу. У зазначеному просторі відгуків до векторів станів так само були застосовані процедури компонентного та кластерного аналізів, що дало можливість, по-перше, одержати головні компоненти векторів станів кліматів, по-друге, виділити однорідні кліматичні райони на території Східної Європи. Репрезентативні вектори останніх і були включені в модель як відгуки кліматів Східної Європи на фактори атмосферних процесів у Північній Атлантиці.

Розрахунки показали, що перші три власних значення вичерпують більше 80% сумарної дисперсії векторів станів, що відповідає першим трьом їх головним компонентам. Це підтверджується даними, наведеними в табл.4.1 і 4.2.

Формування значень у табл.4.1 здійснювалося в такий спосіб - у кожному місяці визначалося максимальне (або мінімальне) із всіх кластерів значення внеску головного компонента в загальну дисперсію процесів взаємодії двох середовищ, потім воно підсумувалося зі значеннями внесків, що відповідають їй інших двох головних компонентів.

Діапазони значень дисперсій, що пояснюються отриманими головними компонентами по місяцях, представлені в табл.4.2.



Таблиця 4.1 Сумарна дисперсія перших трьох головних компонентів в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи

Місяць	Для компонентів відповідних					
	максимальним значенням дисперсій			мінімальним значенням дисперсій		
	1 gk	2 gk	3 gk	1 gk	2 gk	3 gk
грудень	96,2	94,5	93,3	84,3	94,0	89,4
січень	94,4	92,3	91,8	91,7	89,0	95,4
лютий	94,9	86,7	89,6	95,2	92,3	89,7
березень	95,2	91,4	94,6	90,2	94,0	94,4

Вектори відповідних головних компонентів у вузлах виділеного простору Східної Європи, склали вихідну вибірку для проведення кластерного аналізу. У загальній сумі вийшло по 3 вибірки для кожного місяця.

Таблиця 4.2 Максимальні й мінімальні значення дисперсій головних компонентів в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи

Місяць	Максимальні значення дисперсій			Мінімальні значення дисперсій		
	1 gk	2 gk	3 gk	1 gk	2 gk	3 gk
грудень	64.4	28.1	18.0	38.8	18.0	14.1
січень	66.0	29.4	19.6	51.3	19.3	10.9
лютий	66.0	22.1	16.0	56.8	18.5	12.0
березень	67.3	30.6	15.1	50.4	22.1	12.2

У кожній вибірці втримується 195 45-мірних векторів. В окремі вибірки були виділені координати власних векторів матриці кореляцій, необхідні для аналізу характеру взаємодій у системі атмосфера – поверхня, що підстилає. При

цьому передбачалося, що значення координати власного вектора відповідає ваговому коефіцієнту гідрометеорологічної характеристики в процесах взаємодії, відбиваних головним компонентом.

Метод кластерного аналізу УІМКД (Універсальний ітераційний метод кластеризації даних), застосований до кожної із зазначених вибірок, дозволив одержати в полях відповідних головних компонентів однорідні регіони.

#### 4.3 Комплексний аналіз відгуків кліматів у районі Східної Європи

Основні результати компонентного аналізу і статистичні характеристики репрезентативних векторів головних компонентів, що описують процеси взаємодій поверхні, що підстилає, і атмосфери, представлені в табл.4.3-4.9.

Таблиця 4.3 Координати власних векторів і власні значення параметрів взаємодії в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи, (грудень)

Координати власних векторів (вагові навантаження)											
1-й власний вектор				2-й власний вектор					3-й власний вектор		
Літера кластера											
А	В	С	Д	А	В	С	Д	Е	А	В	С
0.54	0.56	0.69	0.60	0.25	-0.07	0.34	0.11	0.03	0.02	0.08	0.28
0.53	0.54	0.34	0.58	-0.12	-0.08	0.43	0.80	-0.52	0.77	0.02	0.04
0.48	0.49	0.51	0.13	0.82	-0.02	-0.29	-0.23	0.50	-0.23	0.38	0.63
-0.33	-0.22	0.12	-0.35	0.44	0.42	0.59	-0.54	0.56	0.60	0.85	-0.65
0.30	0.33	-0.37	-0.41	-0.26	0.90	-0.52	-0.11	-0.41	-0.04	-0.37	0.33

## Продовження табл.4.3

Координати власних векторів (вагові навантаження)											
1-й власний вектор				2-й власний вектор					3-й власний вектор		
Власні значення/внесок у загальну дисперсію											
Літера кластера											
А	В	С	Д	А	В	С	Д	Е	А	В	С
3.2	2.8	1.9	2.5	1.1	0.9	1.4	1.1	1.2	0.7	0.9	0.8
64.4	56.5	38.8	49.6	22.1	18.0	28.1	21.5	24.5	14.1	18.0	16.6

Таблиця 4.4 Координати власних векторів і власні значення параметрів взаємодії в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи, (січень)

Координати власних векторів (вагові навантаження)													
1-й власний вектор				2-й власний вектор					3-й власний вектор				
Літера кластера													
А	В	С	Д	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е
0.52	0.54	0.52	0.61	0.06	0.08	0.42	0.21	0.08	-0.15	0.12	0.20	0.05	-0.04
0.51	0.53	-0.28	0.59	-0.11	-0.62	0.82	0.33	-0.04	-0.12	0.15	-0.37	0.55	-0.09
0.48	0.50	0.56	0.18	0.77	0.43	0.19	-0.51	0.56	-0.35	-0.06	0.55	-0.38	0.12
-0.29	-0.26	0.42	0.00	0.60	0.55	0.10	0.18	0.55	-0.27	0.80	0.72	-0.14	-0.25
0.40	0.34	0.41	-0.50	0.18	0.33	-0.33	0.74	0.62	0.88	0.57	-0.07	0.73	0.96
Власні значення/внесок у загальну дисперсію													
Літера кластера													
А	В	С	Д	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е
3.3	3.3	2.8	2.6	1.1	1.4	1.0	1.5	1.3	0.8	0.6	1.0	0.9	1.0
65.9	65.3	56.5	51.3	21.7	28.1	19.3	29.4	26.1	16.1	10.9	19.5	16.9	19.6

Таблиця 4.5 Координати власних векторів і власні значення параметрів взаємодії в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи, (лютий)

Координати власних векторів (вагові навантаження)											
1-й власний вектор				2-й власний вектор			3-й власний вектор				
Літера кластера											
А	В	С	Д	А	В	С	А	В	С	Д	Е
0.53	0.53	0.56	0.57	-0.18	-0.14	0.37	0.29	-0.40	-0.09	-0.24	-0.30
0.51	0.51	0.39	0.56	-0.18	-0.72	0.14	0.29	-0.46	0.02	-0.26	-0.26
0.46	0.49	0.53	0.25	-0.09	0.12	0.75	0.18	0.20	-0.64	0.06	-0.02
-0.35	-0.44	-0.05	-0.26	-0.14	0.67	-0.48	0.62	-0.36	-0.33	-0.09	0.92
0.36	0.17	0.49	0.47	0.95	0.06	0.24	-0.64	0.68	0.69	0.93	-0.02
Власні значення/внесок у загальну дисперсію											
Літера кластера											
А	В	С	Д	А	В	С	А	В	С	Д	Е
3.2	3.3	3.1	2.8	1.9	1.0	1.1	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8
63.0	66.0	61.5	56.8	18.5	20.2	22.1	12.0	13.7	12.4	16.0	15.8

Таблиця 4.6 Координати власних векторів і власні значення параметрів взаємодії в репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи, (березень)

Координати власних векторів (вагові навантаження)												
1-й власний вектор				2-й власний вектор			3-й власний вектор					
Літера кластера												
А	В	С	Д	А	В	С	Д	А	В	С	Д	Е
0.53	0.52	0.59	0.60	-0.08	0.10	-0.25	-0.14	-0.10	-0.16	0.32	-0.15	-0.34

## Продовження табл.4.6

Координати власних векторів (вагові навантаження)												
1-й власний вектор				2-й власний вектор				3-й власний вектор				
Літера кластера												
0.52	0.49	0.41	0.54	-0.09	0.22	-0.40	-0.65	-0.07	-0.11	0.38	-0.09	-0.32
0.47	0.38	0.54	0.40	-0.04	-0.49	0.54	0.28	-0.24	-0.41	-0.03	-0.33	0.08
-0.33	-0.45	0.08	-0.20	0.88	0.41	-0.07	0.63	0.30	-0.64	0.64	0.24	0.86
0.35	0.38	0.42	0.38	0.46	0.73	0.69	-0.28	0.92	0.61	-0.59	0.90	-0.20
Власні значення/внесок у загальну дисперсію												
Літера кластера												
A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	E
3.2	3.4	2.7	2.5	1.1	1.1	1.1	1.5	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7
64.2	67.3	53.6	50.4	22.1	22.8	22.7	30.6	15.1	12.2	14.2	12.7	14.4

Таблиця 4.7 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії і середні значення головних компонентів у репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи (перший головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	грудень	січень	лютий	березень
<b>A</b>	18.1	16.6	18.6	18.3
	17.42	17.49	24.3	10.89
<b>B</b>	23.3	27	26.6	21.8
	52.54	25.12	22.12	60.89
<b>C</b>	6.5	-10	4	8.1
	7.99	41.06	41.6	22.31
<b>D</b>	26.4	21.8	22.3	25.5
	3.73	8.34	23.41	5.91

Таблиця 4.8 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів у репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи (другий головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	грудень	січень	лютий	березень
<b>A</b>	-13.3	-14.1	1.2	-8.2
	10.65	8.76	5.98	5.26
<b>B</b>	1.1	-16.9	-16.7	8.4
	46.09	21.84	3.03	31
<b>C</b>	3.7	12.2	19.6	-0.8
	16.2	4.9	7.11	34.15
<b>D</b>	16	-5	-	-24.2
	14.2	9.61	-	13.1
<b>E</b>	-24	1.5	-	-
	9.2	33.08	-	-

Таблиця 4.9 Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії й середні значення головних компонентів у репрезентативних вузлах кластерів, розташованих на території Східної Європи (третій головний компонент)

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	грудень	січень	лютий	березень
<b>A</b>	1.1	13	-6.8	2.1
	11.55	13.64	9.72	24.27
<b>B</b>	-13	0.5	-0.7	13.4
	4.79	12.58	10.94	9.21
<b>C</b>	21	-16.3	14.8	-4.6
	17.15	3.22	8.83	8.24

Продовження табл.4.9

Позначення кластерів	Середні значення (*10 <sup>-2</sup> )			
	Внутрішньокластерні дисперсії (*10 <sup>-4</sup> )			
	грудень	січень	лютий	березень
<b>D</b>	-	20.7	6.5	-9.9
	-	18.33	15.6	60.95
<b>E</b>	-	5.1	-19.8	-18.5
	-	11.26	6.04	9.67

У таблицях 4.3 – 4.6 , в частині «Координати власних векторів», в першому рядку вказуються вагові навантаження, що мають відношення до температури повітря на висоті 2 м, у другій - до температури поверхні, в третій - до різниці температур, в четвертій - до поверхневих потоків прихованого тепла, в п'ятій - до зональної складової швидкості вітру.

Результати поведеної кластеризації перших трьох головних компонентів процесів взаємодій поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї шару повітря в районі Східної Європи представлені на рис.4.1 – 4.12.

*Перший головний компонент.* У поле першого головного компонента із грудня по лютий має місце кластер А (рис. 4.1 – 4.4), що займає більшу частину території Східно-Європейської рівнини. Найбільш великим він є в січні й охоплює ще центральну і західну частини Чорного моря, включаючи півострів Крим, а також східну частину Середземного моря й прилягаючу до неї частину суші аж до Месопотамської низовини.

У березні однорідна зона А (рис. 4.4) істотно скорочується і представляє вже тільки північну й північно-східну частини території Східної Європи. Крім перерахованих районів розташування кластера А (рис. 4.1 – 4.4) на схемах присутні його окремі осередки південніше широтного кола, що проходить через Кримський півострів.

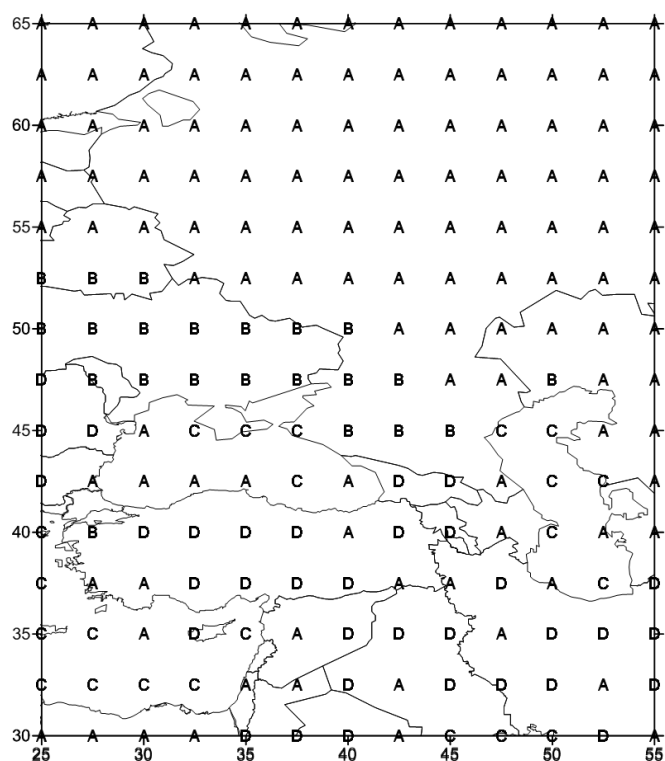


Рисунок 4.1 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (грудень)

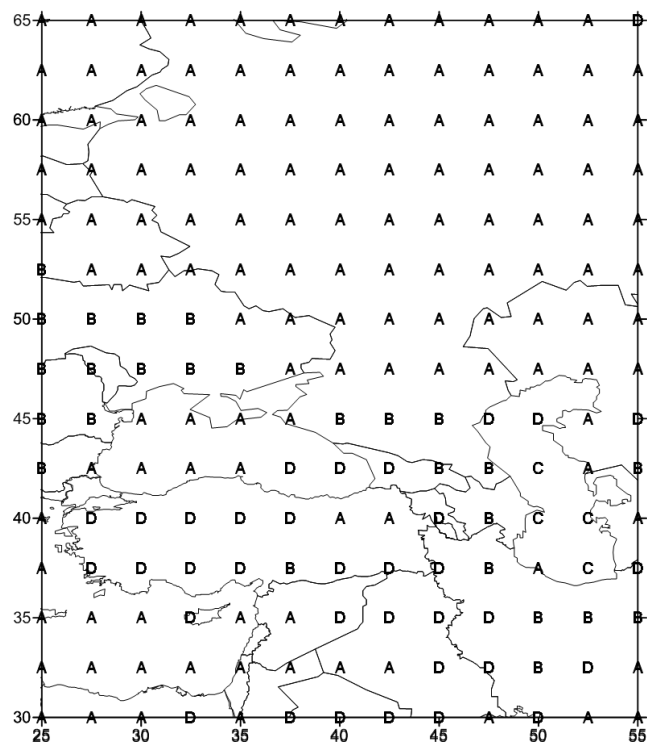


Рисунок 4.2 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (січень)



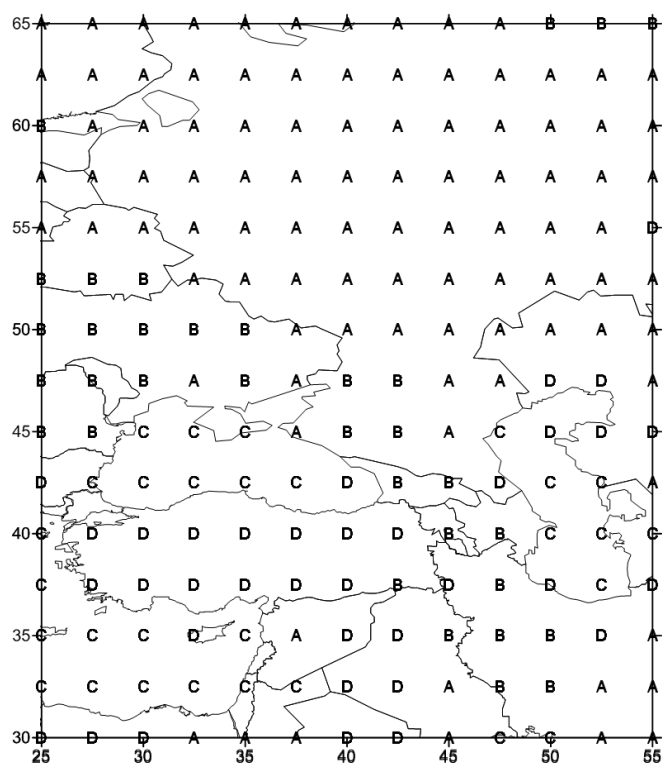


Рисунок 4.3 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (лютий)

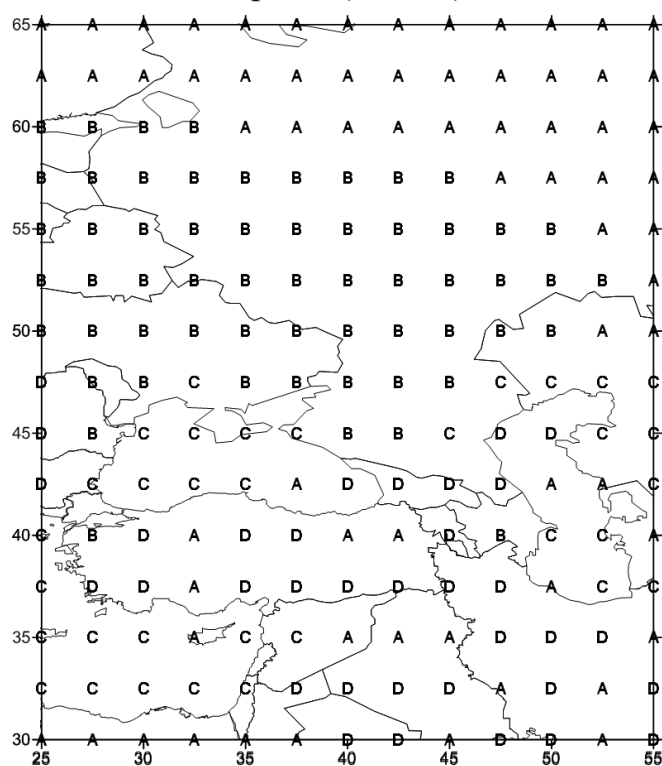


Рисунок 4.4 – Просторовий розподіл кластерів 1-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (березень)

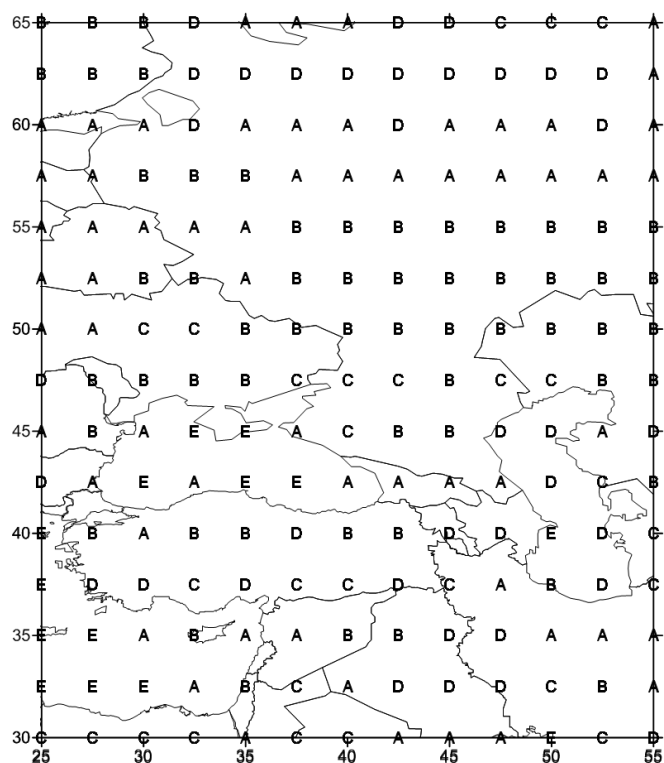


Рисунок 4.5 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (грудень)

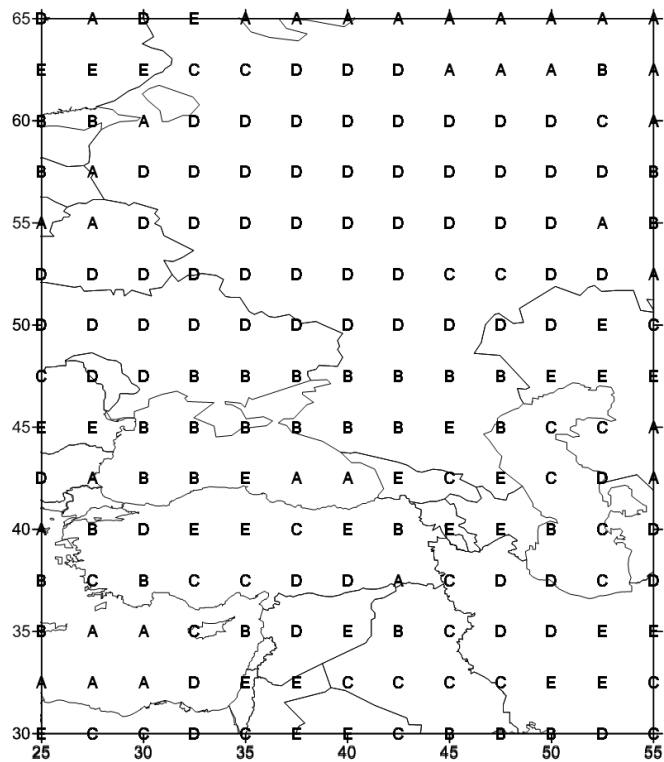


Рисунок 4.6 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (січень)

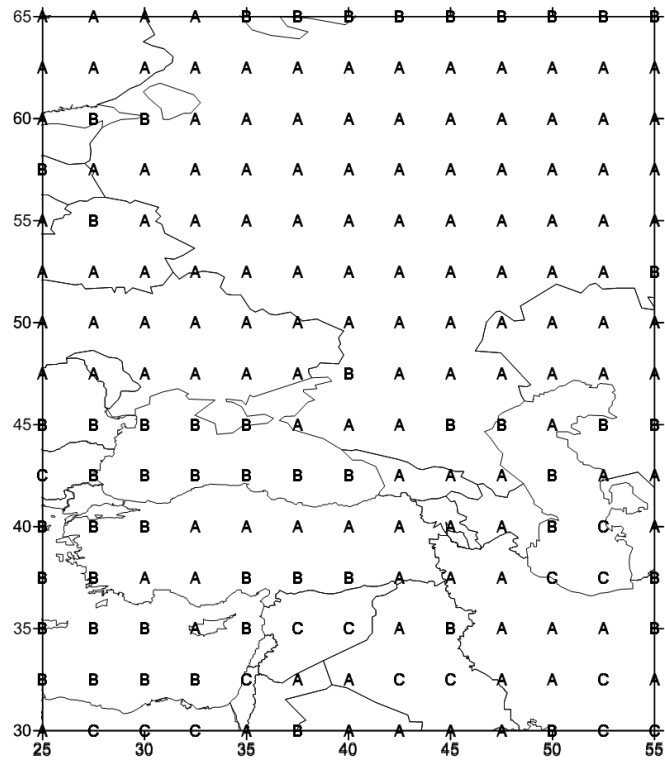


Рисунок 4.7 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (лютий)

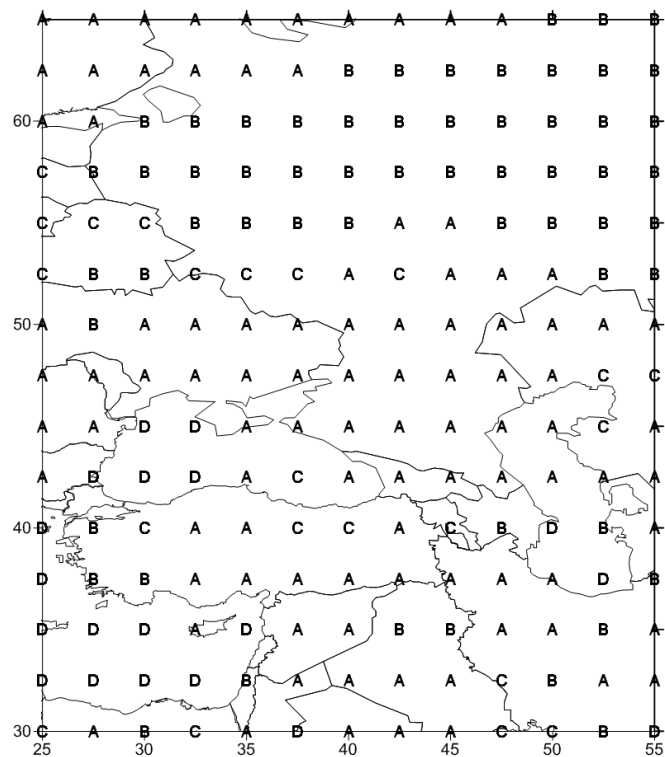


Рисунок 4.8 – Просторовий розподіл кластерів 2-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (березень)

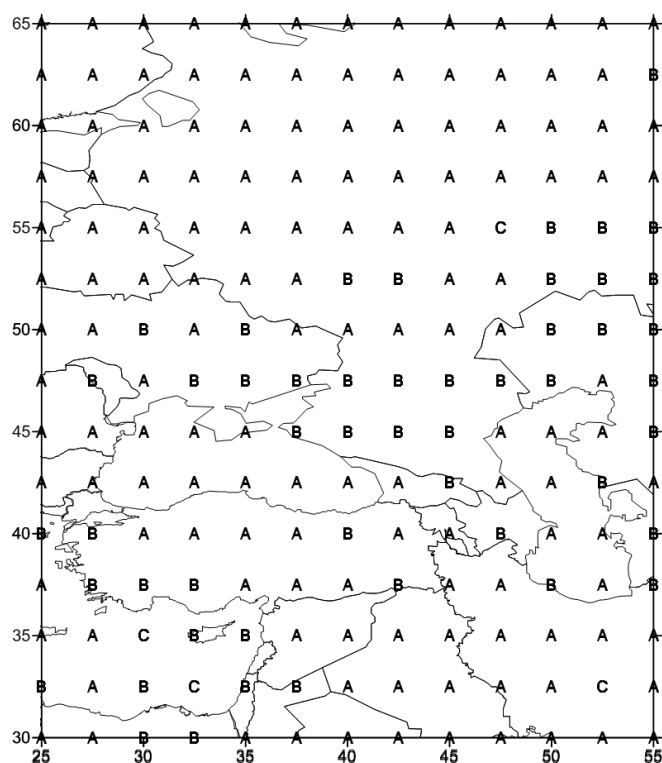


Рисунок 4.9 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (грудень)

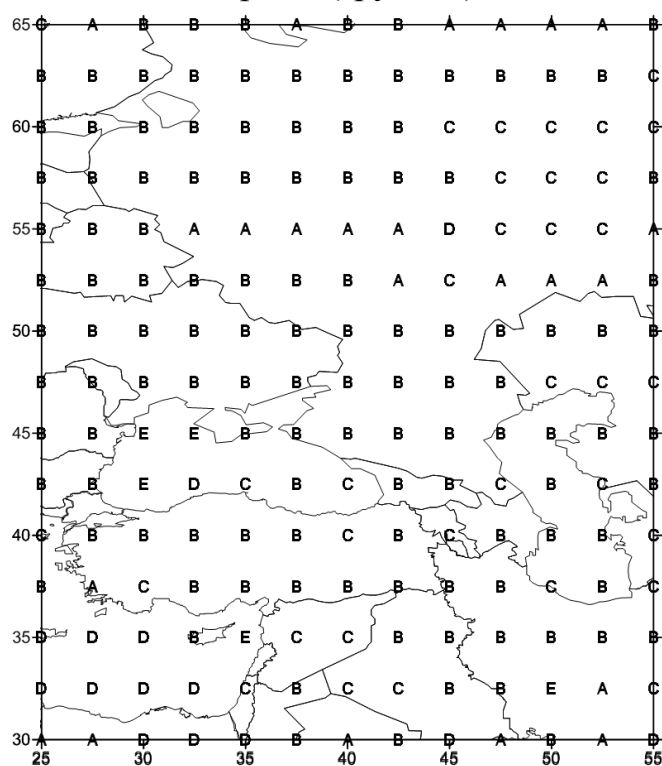


Рисунок 4.10 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (січень)

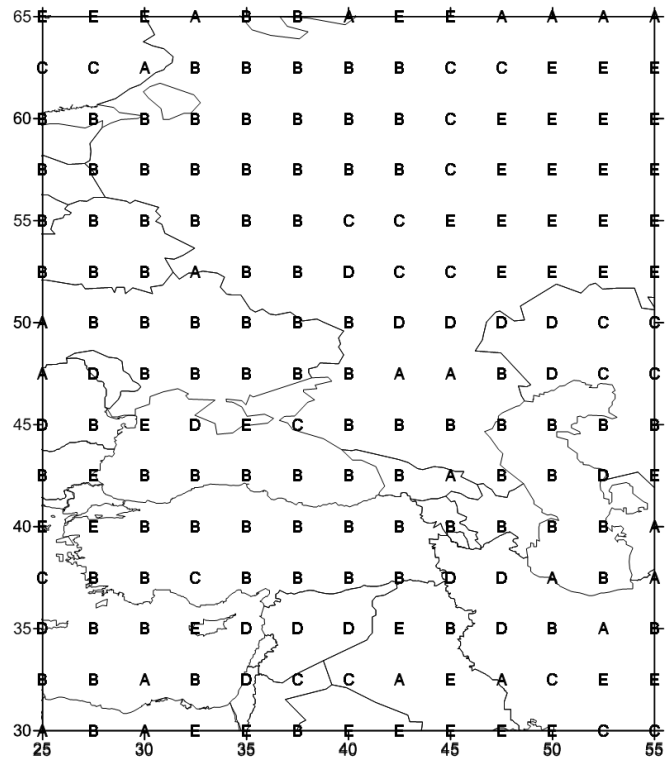


Рисунок 4.11 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (лютий)

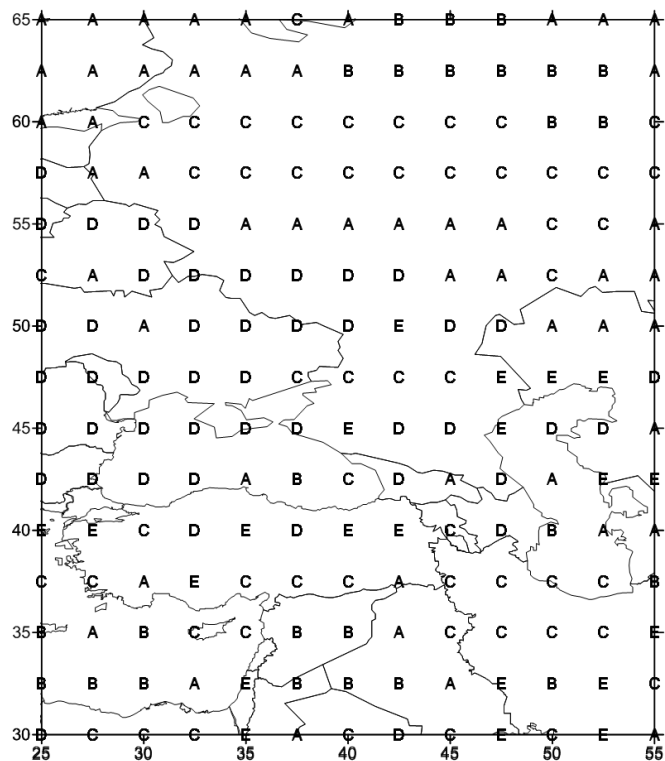


Рисунок 4.12 – Просторовий розподіл кластерів 3-го головного компонента процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери на території Східної Європи (березень)

Найбільш явно таке дроблення виражене в грудні і в березні. Кластеру **A** (рис. 4.1, рис. 4.4) відповідають додатні середні значення репрезентативного вектора першого головного компонента, величина яких істотно менше максимальної (табл. 4.7). Вагові навантаження на вихідні характеристики процесів взаємодії в приземному шарі в кластері **A** (в усі місяці) розподілені в такий спосіб (табл. 4.3-4.6): додатні максимальні приходяться на температури поверхні і повітря в шарі 2 м, а також на різницю цих температур. Інші істотно менші і приблизно рівні по величині належать: додатні - зональної складової швидкості вітру і від'ємні - потокам схованого тепла.

Приблизно такий же розподіл навантажень присутній і у кластері **B** (рис. 4.1 – 4.4). Тільки в лютому навантаження по модулю при потоках схованого тепла збільшується в порівнянні із кластером **A**, а зональної складової швидкості вітру зменшується. У березні при такому збільшенні – зменшується вже навантаження при різниці температур.

Репрезентативні вектори першого головного компонента в кластері **B** (рис. 4.3) у січні і у лютому мають максимальні додатні, а в грудні й березні – другі за рахунком від максимальних, значення. У розподілі однорідної зони **B** (рис. 4.1 – 4.4) на схемах присутні деякі закономірності і послідовності. Так, наприклад, у склад цієї зони на постійній основі входить територія України. У грудні зона **B** має продовження на південний схід до гірської системи Великий Кавказ.

В січні і у лютому додатково присутній другий великий витягнутий осередок в напрямку з північно-заходу на південний схід, що охоплює території Кумо-Маничської западини, гірських систем Великий і Малий Кавказ, Вірменського нагір'я, Західного Ірану. Необхідно відзначити, що міжрічні внутрішньокластерні дисперсії першого головного компонента в кластері **B** (рис. 4.1, 4.4) у грудні та у березні мають максимальні значення. Така висока мінливість у цьому регіоні більшою мірою пов'язана з почерговим переважним впливом на процеси взаємодії відносно теплих і вологих повітряних мас із

Атлантики й Середземного моря, і холодного сухого континентального повітря зі сходу (Сибірський максимум).

Наступний масштабний кластер, що має максимальні додатні значення першого головного компонента – кластер **D** (рис. 4.1–4.4). Внутрішньокластерна дисперсія репрезентативного вектора в цій зоні мінімальна (за винятком лютого), що свідчить про стабільність процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і приземного шару повітря в міжрічному періоді. Основний район розташування цього кластера – півострів Мала Азія. У грудні він (**D**, рис. 4.1) додатково займає територію Сирійської пустелі і східніше Месопотамії – територію Ірану, у січні (**D**, рис. 4.2) – Месопотамію, Західний Іран і окреме осередок на півночі Каспійського моря, у лютому (**D**, рис. 4.3) – Сирійську пустелю, північ Каспійського моря, гірську систему Ельбрус. У березні кластер **D** (рис. 4.4) має складну конфігурацію. Його розташування зберігається і у районі півострова Мала Азія у вигляді двох нерівномірних по масштабу зон. Менша зона займає західну частину півострова, більша – східну частину і далі розподіляється в такий спосіб: на схід – на територію Ірану, на північ – північну частину Чорного і Каспійського морів, систему Кавказьких гір, на південь – на Сирійську пустелю. Основні навантаження в кластері **D** (рис. 4.1–4.4) мають температура поверхні, що підстилає, і повітря в приземному шарі, і, трохи менші по величині, потоки схованого тепла: у грудні та січні вагові коефіцієнти від’ємні, у лютому й березні – додатні. У березні, додатково, істотно збільшується позитивне навантаження на різницю температур.

Останнім на схемах кластеризації першого головного компонента, що описує процеси взаємодії поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї шару повітря в районі Східної Європи, є кластер **C** (рис. 4.1–4.4). Особливістю цього кластера є присутність його над морською поверхнею і прибережною територією. Так у грудні він розташовується в районі Каспійського моря, північної й східної частини Чорного і східної частини Середземного морів; у

січні, відповідно, тільки над центральним і південним Каспієм; у лютому та березні – над всіма морськими акваторіями розглянутої території Східної Європи. Вагові коефіцієнти при вихідних характеристиках в однорідній зоні С (рис. 4.1 – 4.4) неоднорідно розподілені по місяцях (табл. 4.3 – 4.6). Об'єднуючим в кластерах С першого головного компонента (рис. 4.1 – 4.4) для всього розглянутого часового періоду є присутність максимальних додатних навантажень на температуру повітря та різницю температур поверхні і повітря (табл. 4.3 – 4.6). Наступними, дещо меншими по величині є навантаження: у грудні – на температуру поверхні, що підстилає (знак навантаження додатний) та зональну складову швидкості вітру (знак від'ємний) ; у січні - на потоки схованого тепла та зональну складову швидкості вітру (знаки додатні) ; у лютому і березні - на температурі поверхні, що підстилає, і швидкість вітру (знаки додатні). По різному проявляються і середні значення репрезентативного вектора першого головного компонента в зоні С (рис. 4.1 – 4.4). Поєднує їх те, що вони є мінімальними по величині для всіх місяців. У той же час, при додатних знаках вагових коефіцієнтів, спостерігається єдине від'ємне значення компонента в січні (табл. 4.7). Цей факт свідчить про відмінності процесів взаємодій у приземному шарі в зоні С (рис. 4.2) у цьому місяці, що приводять до зниження значень більшості вихідних характеристик. Крім того, виходячи з описаної вище кластеризації для березня, можна зробити висновок про те, що підвищена осередкованість і зміна конфігурації однорідних зон пов'язані зі зміною атмосферних процесів із зимових на весняні.

*Другий головний компонент.* Розподіл однорідних зон процесів взаємодії в приземному шарі, які обумовлюються другим головним компонентом, так само як і вагові навантаження на вихідні характеристики в репрезентативних векторах, має велику різноманітність (рис. 4.5-4.8, табл. 4.3-4.6). Це свідчить про те, що переважну роль у формуванні стану атмосфери в приповерхньому шарі, який описується другим головним компонентом, грають місцеві умови.



Найбільша осередковість на схемах кластеризації другого компонента спостерігається в грудні (рис. 4.5). Східно-Європейська рівнина тут представлена кластерами **A**, **B**, **C**, **D** (рис. 4.5). Самий великомасштабний з них - **B**, займає південну половину рівнини й частково її північний захід. Ще кілька дрібних осередків кластера **B** розосереджені в південній частині розглянутої території Східної Європи: у районі хребта Кюре, на півночі Вірменського нагір'я і на північному сході Сирійської пустелі. Основне додатне навантаження в репрезентативному векторі другого головного компонента в кластері **B** (рис. 4.5) приходить на зональну складову швидкості вітру і дещо менше - на потоки схованого тепла. Середнє значення головного компонента - мінімальне по величині, але в теж час однорідній зоні **B** (рис. 4.5) відповідає найбільша мінливість у міжрічному періоді (табл. 4.8).

Однорідна зона **A** (рис. 4.5) охоплює центральну частину рівнини та має осередки в районі Кавказьких гір, на сході Чорного і Середземного морів, на півночі Іранського нагір'я.

Значення другого компонента в кластері **A** (рис. 4.5) по величині є середнім між максимальним і мінімальним значенням у грудні, але з від'ємним знаком. Основні додатні навантаження при різниці температур і потоках тепла, у цьому випадку, вказують на понижувальну роль другого компонента в процесах взаємодії поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї шару повітря.

Кластеру **D** (рис. 4.5), що займає північ розглянутої території, відповідають додатні значення компонента і відносно велика внутрішньокластерна міжрічна дисперсія (табл. 4.8). Вагові коефіцієнти в цій зоні розподілені в такий спосіб: додатний максимальний - при температурі поверхні і, другий по величині, але від'ємний за знаком, при потоках схованого тепла. Даний розподіл навантажень і співвідношення знаків показують, що процеси, що відповідають другому компоненту в кластері **D** (рис. 4.5) сприяють збільшенню температури поверхні та потоків схованого тепла, спрямованих від

поверхні в атмосферу. Такі ж процеси спостерігаються і у районі Каспійського моря, Месопотамії і західного Ірану, а також на півдні півострова Мала Азія.

Найбільш інтенсивні процеси, що описуються другим компонентом у грудні, спостерігаються в однорідній зоні **Е** (рис. 4.5). Відповідно до максимального по величині і додатного за знаком значенню другого компонента (табл. 4.8), а також приблизно однакових значних навантажень на всі вихідні величини (крім коефіцієнта при температурі повітря) (табл. 4.3), процеси в цієї зоні сприяють збільшенню температури поверхні, зональної складової швидкості вітру, потоків схованого тепла в атмосферу, і зменшенню різниці температур. Осередки зони **Е** (рис. 4.5) розташовуються в районі Чорного та східної частини Середземного морів.

У січні, при збереженні такої ж кількості однорідних зон, як і в грудні, спостерігається менше дроблення їх на осередки. Східно-Європейська рівнина в основному зайнята кластером **Д** (рис. 4.6), що до того ж є самим великомасштабним і має додаткові осередки в північній частині Сірійської пустелі та на північному заході Іранського нагір'я. Невелике по величині значення другого компонента в кластері **Д** (рис. 4.6) з від'ємним знаком і її невелика міжрічна дисперсія, свідчать про слабку активність процесів у приповерхньому шарі повітря, що відбиваються цим компонентом. Подібним кластером з мінімальним, але вже додатним значенням компонента, є кластер **Е** (рис. 4.6). Однак йому відповідає найбільша міжрічна мінливість значень репрезентативного вектора другого компонента. Відрізняються в цих однорідних зонах і навантаження на вихідні характеристики. У кластері **Е** (рис. 4.6) максимальними є навантаження на різницю температур, потоки схованого тепла і зональну складову швидкості вітру (знаки додатні), а в кластері **Д** (рис. 4.6) - на різницю температур (знак від'ємний) і зональну складову швидкості вітру (знак додатний). Осередки кластера **Е** (рис. 4.6) розташовуються на території Іранського нагір'я, на півночі півострова Мала

Азія, в районі систем Кавказьких гір і Вірменського нагір'я, північно-заході Сирійської пустелі, на Прикаспійській низовини.

В однорідних зонах **A** і **B** (рис. 4.6) середні значення другого головного компонента максимальні по величині, але мають від'ємний знак. Процеси взаємодії поверхні, що підстилає, і приземного шару повітря, що описуються другим головним компонентом, у цих зонах є найбільш активними. Вони сприяють збільшенню від'ємних потоків схованого тепла (вагові коефіцієнти в кластері **A** - 0,88, у кластері **B** - 0,41) і зменшенню значень зональної складової швидкості вітру (коефіцієнти відповідно - 0,46 і 0,73). Крім цього в кластері **B** (рис. 4.6) ці процеси сприяють збільшенню різниці температур (коефіцієнт - 0,49) (табл. 4.4). Зона **A** (рис. 4.6) має осередки на півночі і заході Східно-Європейської рівнини, східних частинах Середземного й Чорного морів, а зона **B** (рис. 4.6) – великий осередок, витягнутий у зональному напрямку - від Егейського моря через Чорне море та південь України, Кумо-Маничську западину до Прикаспійської низовини, а також невеликі осередки на заході і сході Східно-Європейської рівнини. Останній нерозглянутий кластер **C** у січні (рис. 4.6) має третє по величині значення другого компонента з додатним знаком. На схемі він розташовується в районі Каспійського моря, Месопотамії та на півдні півострова Мала Азія. Основні навантаження в другому головному компоненті тут приходяться на температуру поверхні (0,82) і температуру повітря (0,42) (табл. 4.4).

У лютому спостерігається найменша кількість кластерів другого компонента. Міжрічні внутрішньокластерні дисперсії в цьому місяці незначні (табл. 4.9). Більшу частину розглянутої території Східної Європи, а також півострова Мала Азія, і далі - західну частину Іранського нагір'я і Сирійську пустелю займає однорідна зона **A** (рис. 4.7) з мінімальними додатними значеннями другого компонента та максимальним додатним навантаженням на зональну складову швидкості вітру. Процеси, що описуються другим головним компонентом у зоні **A** (рис. 4.7), є малоактивними.

Кластери **В** і **С** (рис. 4.7) мають великі значення другого компонента, але з різними знаками (табл. 4.8). Відповідно до вагових навантажень, процеси взаємодії двох середовищ, вносять істотний вклад у формування значень вихідних характеристик: в однорідній зоні **В** - температури поверхні (коефіцієнт (-0,72)) і потоків схованого тепла (0,67); у зоні **С** - різниці температур (0,75) і потоків схованого тепла (-0,48). Кластер **В** (рис. 4.8), в основному, займає територію водних просторів і прибережних територій, а саме: акваторію Чорного моря, східну частину Середземного і північну Каспійського морів; західну та південну частину півострова Малої Азії; північну частину Східної Європи, що примикає до Білого та Баренцева морів. Кластер **С** (рис. 4.7) розташовується осередками в районі центральної частини Іранського нагір'я, Сирійської пустелі та південної частини Каспійського моря.

У березні кількість однорідних зон збільшується до чотирьох (табл. 4.8). Самими представницькими по розмірах з них є зони **А** і **В** (рис. 4.8). Значення репрезентативного вектора другого головного компонента в них невеликі по величині та розрізняються за знаком (-8,2 і 8,4) (табл. 4.8). Однак міжрічна мінливість другого компонента в кластері **В** істотно більше. Найбільші вагові навантаження в кластері **А** (рис. 4.8) приходяться на потоки схованого тепла (0,88) і складову швидкості вітру (0,46), а в кластері **В** (рис. 4.8) - на швидкість вітру (0,73), різницю температур (-0,49) і потоки схованого тепла (0,41) (табл. 4.6). Співвідношення знаків при вагових коефіцієнтах і значеннях другого компонента показує, що процеси взаємодії двох середовищ, у цьому випадку, приводять до збільшення потоків схованого тепла в атмосферу. Крім того, у зоні **А** відбувається зменшення значень зональної складової швидкості вітру, а в зоні **В** - їх збільшення та зменшення різниці температур. Кластер **А** (рис. 4.8) займає північно-західну та південну частини Східно-Європейської рівнини і далі на південь - Великий Кавказ, центральну і східну частину півострова Мала Азія, Вірменське нагір'я, Сирійську пустелю, більшу частину Месопотамії, північно-західну і центральну частину Іранського нагір'я та разом

із кластером **C** (рис. 4.8) ділить східну половину Чорного моря. Однорідна зона **B** (рис. 4.8) охоплює центральну і східну частину Східно-Європейської рівнини, західну частину півострова Мала Азія, а також окремими осередками присутня у районі Каспійського моря та на південному сході розглянутої території. Кластер з мінімальним по величині середнім значенням і максимальною дисперсією репрезентативного вектора другого компонента (кластер **C**, рис. 4.8) має локальні осередки, які розосереджені по всій розглянутій території. Основні вагові навантаження в ньому приходяться на зональну складову швидкості вітру (0,69), на різницю температур (0,54) і на температуру поверхні, що підстилає (-0,40) (табл. 4.6).

Найбільш інтенсивні процеси, що відбиваються другим компонентом у березні (значення максимальне по величині (-24,2), (табл. 4.8)), які приводять до збільшення температури поверхні і потоків схованого тепла від поверхні в атмосферу (вагові коефіцієнти -0,65 і 0,63 (табл. 4.6)) відбуваються в однорідній зоні **D** (рис. 4.8). Розташовується ця зона осередками в районі морських акваторій: у східній частині Середземне, західної частини Чорного та південної частини Каспійське морів.

*Третій головний компонент.* Процеси, що описуються третім головним компонентом, пояснюють менше п'ятої частини загальної дисперсії процесів взаємодії двох середовищ у районі Східної Європи (табл. 4.2). Однак, у зв'язку з тим, що в деяких випадках внесок третього компонента по величині наближається до внеску другого компонента, а також те, що розгляд третього компонента дозволить більш повно представити різноманітність процесів, що приймають участь у формуванні вихідних характеристик, виникає необхідність проаналізувати результати її кластеризації (рис. 4.9 – 4.12) у повному об'ємі.

Так само як і в результатах кластеризації перших двох головних компонентів, у найбільш масштабних кластерах **A** (рис. 4.9), **B** (рис. 4.10), **B** (рис. 4.11) у зимові місяці, процеси, які відбуває третій компонент, мають

найменшу інтенсивність, тобто їм відповідають мінімальні середні значення репрезентативного вектора (табл. 4.9).

В грудні така однорідна зона займає більше половини розглянутого простору (**A**, рис. 4.9) і містить у собі центральну й північну частину Східно-Європейської рівнини, західну і північну Україну, Чорне і Каспійське моря, частину Середземного моря, центральну частину півострова Мала Азія, Сирійську пустелю, Месопотамію, Іранське нагір'я. При додатному значенні середнього вектора головного компонента основні навантаження в ньому приходяться на температуру поверхні (0,77) і потоки схованого тепла (0,60) (табл. 4.3).

Така комбінація приводить до зменшення потоків схованого тепла від поверхні, що підстилає, що частіше відбувається при надходженні на неї відносно теплого вологого повітря, наприклад, з Атлантики або Середземномор'я.

У січні масштабний кластер **B** (рис. 4.10) займає північну, східну і південну частини Східно-Європейської рівнини, включаючи територію України, півострів Мала Азія, Вірменське та північну частину Іранського нагір'я, схід Месопотамії, східну частину Чорного моря та Каспійське море. У цій зоні процеси, що описуються третім компонентом (середнє значення 0,5), викликають незначне збільшення зональної складової швидкості вітру і додатних потоків схованого тепла (від атмосфери до поверхні, що підстилає) (табл. 4.4). У лютому кластер **B** (рис. 4.11) змінює конфігурацію і представляє східну частину рівнини, півострів Мала Азія, Великий і Малий Кавказ, Вірменське нагір'я, а також південь Чорного моря, Каспій і схід Середземного моря. Основне навантаження тут приходиться на зональну складову швидкості вітру (0,68). Дещо менші навантаження відповідають температурам поверхні (-0,46) і повітря (-0,40), а також потокам схованого тепла (-0,36) (табл. 4.5). З урахуванням величини середнього значення репрезентативного вектора

компонента (-0,7), процеси, що відбуваються нею, викликають незначні зміни зазначених вихідних характеристик.

Найбільш інтенсивні процеси для цих зимових місяців спостерігаються в кластерах з максимальними по величині значеннями третього головного компонента (табл. 4.9). До них відносяться такі кластери як: **С** (рис. 4.9) - основні навантаження на різницю температур (0,63) і потоки схованого тепла (-0,65); **Д** (рис. 4.10) - основні навантаження на температуру поверхні (0,55) і зональну складову швидкості вітру (0,73); **Е** (рис. 4.11) - основне навантаження на потоки схованого тепла (0,86).

Грудневий кластер **С** (рис. 4.9) представлений невеликим осередком у східній частині акваторії Середземного моря. Другий у цьому місяці по величині середнього значення третього головного компонента (табл. 4.9) кластер **В** (рис. 4.9) розташовується на південному сході і півдні рівнини, включаючи східну й центральну частину України, і далі - через систему Кавказьких гір до північно-західної окраїни Іранського нагір'я, а також окремими осередками: перший - на західній частині півострова Мала Азія та східній частині акваторії Середземного моря; другий - у районі Вірменського нагір'я. Відповідно до середнього значення компонента і значенням вагових навантажень, а також враховуючи співвідношення знаків при них (табл. 4.9 і табл. 4.3), можна стверджувати, що процеси в кластері **В** (рис. 4.9), що описуються третім компонентом, викликають збільшення потоків схованого тепла в атмосферу. Це можна пояснити надходженням у ці райони сухого континентального повітря.

У січні кластером з найбільш інтенсивними процесами взаємодії двох середовищ, описуваними третім компонентом, є кластер **Д** (рис. 4.10). Він являє собою осередки, розташовані в східній частині акваторії Середземного моря та на півдні Чорного моря. Процеси в цій однорідній зоні приводять до збільшення температури морської поверхні та зональної складової швидкості вітру. Репрезентативному вектору в кластері **Д** (рис. 4.10) властива найбільша

міжрічна дисперсія. Наступними в цьому місяці кластерами, із приблизно однаковими по величині значеннями репрезентативного вектора (табл. 4.9), є кластери **A** і **C** (рис. 4.10). Ці дві однорідні зони займають центральну і східну частину рівнини. Крім цього, у кластера **C** (рис. 4.10) є осередки в районі Кавказьких гір, на півдні Чорного моря та у районі Сирійської пустелі. Процеси взаємодії двох середовищ у зазначених зонах, згідно з ваговими коефіцієнтам, приводять у зоні **A** - до збільшення зональної складової швидкості вітру, а в зоні **C** - до зменшення різниці температур і збільшенню потоків схованого тепла спрямованих в атмосферу. Крім перерахованих вище кластерів, у січні присутній ще осередок кластера **E** (рис. 4.10) у західній частині Чорного моря. У цьому регіоні процеси, що описуються третім компонентом, сприяють збільшенню швидкості вітру в східному напрямку.

У лютому в однорідній зоні **E** (рис. 4.11), яка представлена осередками на сході рівнини, заході Чорного моря, у районі Месопотамської низовини і на півдні Іранського нагір'я, процеси, що відповідають третьому компоненту, приводять до збільшення потоків схованого тепла спрямованих в атмосферу. Наступна зона із процесами підвищеної інтенсивності - зона **C** (рис. 4.11). Вона має вузький витягнутий осередок з півночі на південь у центральній частині рівнини, північно-східніше Каспійського моря і у районі Сирійської пустелі. Згідно з ваговими навантаженням, процеси, що описуються третім компонентом у кластері **C** (рис. 4.11), викликають зменшення різниці температур і збільшення західної складової швидкості вітру. Два кластери, що залишилися, які присутні на схемі розподілу третього компонента в лютому, це кластери **A** і **D** (рис. 4.11). Враховуючи невеликі по модулі значення головного компонента (табл. 4.9) і вагові навантаження при вихідних характеристиках (табл. 4.5), можна стверджувати, що в них відбувається незначне збільшення значень зональної складової швидкості вітру (західного напрямку), а в зоні **C** (рис. 4.11) ще й збільшення потоків схованого тепла в атмосферу. Кластер **D** (рис. 4.11) має два осередки: перший - витягнутий від Оксько-Донської рівнини



до північного узбережжя Каспійського моря, другий - північніше Сирійської пустелі. Основні осередки зони **A** (рис. 4.11) розташовуються на півночі Східно-Європейської рівнини, на захід Прикаспійської низовини і на південний схід від Каспійського моря.

Найбільша різноманітність у розподілі осередків однорідних зон третього компонента спостерігається в березні. Найбільш інтенсивні процеси, що відповідають третьому компоненту, відбуваються в кластері **E** (рис. 4.12) і сприяють збільшенню потоків схованого тепла в атмосферу, а також незначному збільшенню температур поверхні і повітря в шарі 2 м. Осередки зони **E** (рис. 4.12) розташовуються в районі Прикаспійської низовини, Вірменського нагір'я, центральної частини півострова Мала Азія, північно-східної частини Егейського моря та прилягаючої до неї прибережної території півострова Мала Азія, західніше Каспійського моря в районі хребта великий Балхан, на півдні Іранського нагір'я. Основна відмінність зони **D** (рис. 4.12), від інших зон у березні, полягає в наявності в ній максимальної міжрічної внутрішньокластерної дисперсії значень репрезентативного вектора третього головного компонента (4.9). Найбільший осередок кластера **D** (рис. 4.12) займає західну частину Східної Європи, включаючи територію України, західну половину Чорного моря і центр Приволзької височини. Осередки цієї однорідної зони, менші по розміру, присутні на околицях Кавказьких гір - на заході та сході. Ще один кластер, що має велике середнє значення головного компонента (табл. 4.9), є кластер **B** (рис. 4.12), що розташовується на півночі і півдні розглянутої території, а саме: у районі Тиманського кряжа, у східній частині Середземного моря а у Сирійській пустелі.

Процеси, що описуються третім компонентом, у кластері **D** (рис. 4.12) викликають зменшення додатних значень зональної складової швидкості вітру, а в кластері **B** (рис. 4.12) - зменшення різниці температур, збільшення потоків схованого тепла з поверхні, що підстилає, і зональної складової швидкості вітру. Простір розглянутої території, що залишився, в березні займають

однорідні зони **A** і **C** (рис. 4.12) з мінімальними середніми значеннями репрезентативного вектора головного компонента. Цей простір охоплює північну половину Східно-Європейської рівнини (крім крайньої північної частини зайнятий кластером **B**), морську акваторію Середземного моря в районі острова Кіпр, південь Туреччини, Месопотамію, західну частину Малою Кавказу й північний схід Іранського нагір'я. Основні навантаження в кластерах **A** і **C** (рис.4.12) приходяться на зональні складові швидкості вітру, а в зоні **C**, ще й на потоки схованого тепла.

## 5 АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНОЇ ЗНАЧИМОСТІ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ І ЇЇ АДЕКВАТНОСТІ

### 5.1 Критерії оцінки статистичної значимості параметрів моделі

Першим етапом аналізу структури рівнянь є оцінка значимості факторів, що впливають, з погляду внеску їх у дисперсію відгуку, що обумовлює впливом всіх факторів. Як показано в роботах [10, 11], дисперсія відгуків  $D(\hat{y}_l)$  складається із двох частин – дисперсії, що обумовлена дією факторів  $D_x(\hat{y}_l)$  і дисперсії, що визначається впливом обернених зв'язків  $D_y(\hat{y}_l)$ .

$$D(\hat{y}_l) = D_x(\hat{y}_l) + D_y(\hat{y}_l). \quad (5.1)$$

У свою чергу, кожна із цих дисперсій у зв'язку з умовами, які в розділі 2 накладені на фактори, є лінійною комбінацією дисперсій, що визначаються дією кожного  $p$ -го фактору:

$$D_x[\hat{y}_l] = \sum_{p=1}^m \chi_p(\hat{y}_l), \quad (5.2)$$

$$D_y[\hat{y}_l] = \sum_{s=1}^k \Theta_s(\hat{y}_l), \quad (5.3)$$

де

$$\Theta_s(\hat{y}_l) = \alpha_s^{(l)} \sum_{\substack{\mu=1 \\ (\mu \neq l)}}^k \alpha_\mu^{(l)} r_{s\mu}, \quad (l = \overline{1, k}), \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} \chi_p(\hat{y}_l) = & 2(z_p^{(l)} a_p^{(l)} + z_{pp}^{(l)} a_{pp}^{(l)} + z_{ppp}^{(l)} a_{ppp}^{(l)}) - \\ & - \left[ a_p^{(l)2} + 6a_p^{(l)} a_{ppp}^{(l)} + (2a_p^{(l)} + 6a_{ppp}^{(l)}) \left( \sum_{j=1}^{p-1} a_{jjp}^{(l)} + \sum_{j=p+1}^m a_{pjj}^{(l)} \right) + 2a_{pp}^{(l)2} + 15a_{ppp}^{(l)2} \right] + \\ & + \sum_{j=p+1}^m \left\{ 2(z_{pj}^{(l)} a_{pj}^{(l)} + z_{pjj}^{(l)} a_{pjj}^{(l)} + z_{ppj}^{(l)} a_{ppj}^{(l)}) - [a_{pj}^{(l)2} + 2a_{pjj}^{(l)2} + 2a_{ppj}^{(l)2} + a_{ppj}^{(l)} \times \right. \\ & \times \left. \left( \sum_{\eta=1}^{j-1} a_{\eta j}^{(l)} + \sum_{\eta=j+1}^m a_{j\eta}^{(l)} \right) + a_{pjj}^{(l)} \left( \sum_{\eta=1}^{p-1} a_{\eta p}^{(l)} + \sum_{\eta=p+1}^m a_{p\eta}^{(l)} \right) + \sum_{s=j+1}^m 2z_{pjs}^{(l)} a_{pjs}^{(l)} - a_{pjs}^{(l)2} \right\}, \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$(p = \overline{1, m}; l = \overline{1, k}).$$

Після розрахунку складової повної дисперсії факторів  $\chi_p^{(l)}$ , ( $p = \overline{1, m}$ ) здійснюється перевірка гіпотези  $H_0$  про їх значимість. Для цього  $\chi_p^{(l)}$ , розташовуються в порядку їх збільшення, і перевірка гіпотези про незначимості на рівні  $\alpha$  внеску перших  $t$  факторів, здійснюється за допомогою критерію Фишера:

$$F = \frac{D_x[\hat{y}_l]}{\sum_{i=1}^{m-t} \chi_i^{(l)}(\hat{y}_l)} \times \frac{n - (m - t)}{n - m}. \quad (5.6)$$

Гіпотеза не відхиляється, якщо  $F < F_{кр}[\alpha; N - m; N - (m - t)]$ . У такий же спосіб перевіряється гіпотеза про значимості внеску кожного оберненого зв'язку.

Отримані результати дають можливість вирішити задачу й про статистичну значимість членів нелінійних рівнянь регресії, які мають другий й третій порядок. Це можна зробити шляхом порівняння критерію Фишера

$$F = \frac{\chi_p^t [\hat{y}_l]}{\chi_i^{(t-1)} [\hat{y}_l]}, \quad t = 2, 3. \quad (5.7)$$

з критичним значенням  $F_{кр} [\alpha; N - m; N - (m - k)]$ , де  $k$  - кількість членів другого або третього порядків, які не мають істотного внеску в дисперсію, що обумовлюється впливом  $p$ -того предиктора. Дослідження впливу нелінійностей і предикторів, звичайно, треба починати з рівнянь, у яких утримуватися більше високі ступені змінних.

Варто мати на увазі, що виключати з рівнянь регресії статистично незначущі фактори треба дуже обережно. Може трапитися, що виключення їх приведе до зниження інформативності моделі. Щоб уникнути цієї ситуації, необхідно в модель увести і ті параметри регресії, для яких параметр Фишера незначно відрізняється від критичного.

Критичні значення критерію Фишера вибиралися для членів системи рівнянь (2.1) першого й другого порядку при довірчій імовірності 0,8. Для третього ступеня приймався більше жорсткий критерій, а саме при ймовірності 0,9.

## 5.2 Статистична значимість параметрів моделі із завчасністю 1 – 4 місяці (фактори, що впливають, в листопаді)

У таблицях 5.1 – 5.2 представлені варіанти формування вихідних вибірок факторів, що впливають, і відгуків, а також порядок розташування і їх кількість

по місяцях. Для зручності сприйняття для факторів, що впливають, уведено позначення, у яких: перша цифра означає номер головного компонента, літери «gk» - головний компонент, наступна літера - літерне позначення кластера, літера s - приземний шар, p - поверхня в атмосфері, 85 - поверхня 850 гПа, 70 - поверхня 700 гПа. Наприклад, 1gkAs: кластер А першого головного компонента процесів взаємодії в приземному шарі. У позначеннях для відгуків  $\hat{y}_A$  - індекс-літера позначає літерне позначення кластера відгуків.

Таблиця 5.1 Порядок формування вихідних вибірок факторів, що впливають, у Північній Атлантиці для імітаційної моделі встановлення зв'язку з відгуками в регіонах Східної Європи

№ п/п	Місяці				№ п/п	Місяці			
	листопад	грудень	січень	лютий		листопад	грудень	січень	лютий
1	1gkAs	1gkAs	1gkAs	1gkAs	20	2gkCp85	2gkDp85	3gkAp85	3gkBp85
2	1gkBs	1gkBs	1gkBs	1gkBs	21	2gkDp85	2gkEp85	3gkBp85	3gkCp85
3	1gkCs	1gkCs	1gkCs	1gkCs	22	3gkAp85	3gkAp85	3gkCp85	3gkDp85
4	1gkDs	1gkDs	2gkAs	1gkDs	23	3gkBp85	3gkBp85	3gkDp85	3gkEp85
5	2gkAs	2gkAs	2gkBs	2gkAs	24	3gkCp85	3gkCp85	3gkEp85	1gkAp70
6	2gkBs	2gkBs	2gkCs	2gkBs	25	3gkDp85	1gkAp70	3gkFp85	1gkBp70
7	2gkCs	2gkCs	2gkDs	2gkCs	26	1gkAp70	1gkBp70	1gkAp70	1gkCp70
8	2gkDs	2gkDs	2gkEs	2gkDs	27	1gkBp70	1gkCp70	1gkBp70	2gkAp70
9	2gkEs	2gkEs	3gkAs	2gkEs	28	1gkCp70	2gkAp70	1gkCp70	2gkBp70
10	2gkFs	3gkAs	3gkBs	3gkAs	29	2gkAp70	2gkBp70	1gkDp70	2gkCp70
11	3gkAs	3gkBs	3gkCs	3gkBs	30	2gkBp70	2gkCp70	2gkAp70	2gkDp70
12	3gkBs	3gkCs	1gkAp85	3gkCs	31	2gkCp70	2gkDp70	2gkBp70	2gkEp70
13	3gkCs	3gkDs	1gkBp85	1gkAp85	32	3gkAp70	3gkAp70	2gkCp70	3gkAp70
14	3gkDs	1gkAp85	1gkCp85	1gkBp85	33	3gkBp70	3gkBp70	2gkDp70	3gkBp70
15	1gkAp85	1gkBp85	2gkAp85	1gkCp85	34	3gkCp70	3gkCp70	2gkEp70	3gkCp70
16	1gkBp85	1gkCp85	2gkBp85	2gkAp85	35	3gkDp70	3gkDp70	3gkAp70	-
17	1gkCp85	2gkAp85	2gkCp85	2gkBp85	36	-	-	3gkBp70	-
18	2gkAp85	2gkBp85	2gkDp85	2gkCp85	37	-	-	3gkCp70	-
19	2gkBp85	2gkCp85	2gkEp85	3gkAp85					

Результати розподілу значимості факторів, що впливають, при першому, другому й третьому ступені поліномів представлені в табл. 5.3 – 5.32. У них «+»

і числа вказують на значимі фактори. Число, це порядковий номер, що визначає місце фактору в ранжируваному за значенням критерію Фишера ряді – чим він більше, тим менше значення критерію.

Таблиця 5.2 Порядок формування вихідних вибірок відгуків у кластерах Східної Європи

Позначення відгуків	Головні компоненти /місяць/кількість кластерів							
	1 gk				2 gk			
	грудень	січень	лютий	березень	грудень	січень	лютий	березень
	4	4	4	4	5	5	3	5
$\hat{y}_1$	1gkAs	1gkAs	1gkAs	1gkAs	2gkAs	2gkAs	2gkAs	2gkAs
$\hat{y}_2$	1gkBs	1gkBs	1gkBs	1gkBs	2gkBs	2gkBs	2gkBs	2gkBs
$\hat{y}_3$	1gkCs	1gkCs	1gkCs	1gkCs	2gkCs	2gkCs	2gkCs	2gkCs
$\hat{y}_4$	1gkDs	1gkDs	1gkDs	1gkDs	2gkDs	2gkDs	–	2gkDs
$\hat{y}_5$	–	–	–	–	2gkEs	2gkEs	–	2gkEs

Продовження табл.5.2

Позначення відгуків	Головні компоненти / місяць/кількість кластерів			
	3 gk			
	грудень	січень	лютий	березень
	3	5	5	3
$\hat{y}_1$	3gkAs	3gkAs	3gkAs	3gkAs
$\hat{y}_2$	3gkBs	3gkBs	3gkBs	3gkBs
$\hat{y}_3$	3gkCs	3gkCs	3gkCs	3gkCs
$\hat{y}_4$	–	3gkDs	3gkDs	–
$\hat{y}_5$	–	3gkEs	3gkEs	–

Таблиця 5.3 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 1-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, у листопаді, відгуки  $\hat{y}_l$  у грудні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
1.	1gkAs	7	7	+	5	1	1	1		4	1	1	2
2.	1gkBs	1	1	7	4	7	+					2	+
3.	1gkCs	6	5	6	7	+	+	+	2	+	+	7	3
4.	1gkDs	8	6	2	2	+	+	+	+	6	9		
5.	2gkAs	2	4	+	+	+	+	+				+	5
6.	2gkBs	+	+	1	1		+	9	+	9	6		
7.	2gkCs	+	2	+	3	+	12	+	+	+		+	
8.	2gkDs	+	+				+	+	1	+	+	6	1
11.	3gkAs	3	3	3	+	4	+	7	13				+
20.	2gkCp85					2	8	+	10	5		+	
21.	2gkDp85						2	+	9	2	2		
22.	3gkAp85							+	+	3	3		
26.	1gkAp70					+	+		+			3	
27.	1gkBp70			4			+	4	8	1			
29.	2gkAp70					+	5	2	+			2	
31.	2gkCp70					+	7	+	3				4
33.	3gkBp70			+		3	4	3	5				
34.	3gkCp70		+			+	3	+	+				

Таблиця 5.4 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 1-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, у листопаді, відгуки  $\hat{y}_l$  у січні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
1	1gkAs	6	5	+	9	1		1	1	1	1	2	2
2	1gkBs	1	1	1	6	+	+	+					+
3	1gkCs	+	+	3	1	3	2	+	+	6	2		
4	1gkDs	+	3	+	7	4	+			3		6	+



Продовження табл.5.4

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
5	2gkAs	8	+	+	+			+		2	5	+	7
8	2gkDs	5	+	2	4	+		+	+		+		
10	2gkFs	3	2	6	+		+	+	+				+
11	3gkAs	+			+		+	3		+	+	1	3
14	3gkDs	+	+			+	+	2				3	+
15	1gkAp85				+	+		+	+		3		+
17	1gkCp85					2	7	+		4			5
18	2gkAp85							9		+	8		1
25	3gkDp85						3					+	+
27	1gkBp70			4	3	+		4	5				
31	2gkCp70						1	7			4		6
33	3gkBp70	2	4		2	8	5	5	3				
34	3gkCp70					+	+	+	2				

Таблиця 5.5 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 1-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, у листопаді, відгуки  $\hat{y}_l$  у лютому)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
1	1gkAs	6	+	+	+					1	1	1	4
2	1gkBs	1	1	8	6	5	+					8	+
3	1gkCs	+		+	8	+				+	3	2	1
4	1gkDs	+	5	6	7		+	2		5	7	7	+
6	2gkBs	2	2	2	2	+	+		+		+	+	
7	2gkCs	+	3	4	3	+	+	+	+		+		
8	2gkDs	+	+	1	+	+	+	6		+		+	
11	3gkAs	4	4	+		+	+		2			+	7
12	3gkBs					+	+	1	+			+	+
13	3gkCs		+			+	+	8	1			+	3
14	3gkDs				1		+	9	+	7	+		
17	1gkCp85			+		3	7	+	+	+			
18	2gkAp85					8			3				

Продовження табл.5.5

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
20	2gkCp85					2	+	+	+	4			
21	2gkDp85					+	+					3	8
22	3gkAp85					+			+	+	2	+	
24	3gkCp85					4	+	+	+	3			
26	1gkAp70					+	2						2
27	1gkBp70					1	1	+	4	2	4		
28	1gkCp70			+		+	3	+	+		5		
29	2gkAp70					+		3		6	6		
31	2gkCp70	3				10	6		5			+	
32	3gkAp70			3		7		+	6				

Таблиця 5.6 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 1-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, у листопаді, відгуки  $\hat{y}_i$  у березні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
1	1gkAs	9	8	8	7	2				2	1	2	6
2	1gkBs	5	3	1	2				6	+	+		
3	1gkCs	3	+	7	6	+			7		3	+	+
4	1gkDs	+	4	+	+		+	+	1	4	+	+	5
5	2gkAs	6	9	+	+		3	1	8	+	7	3	+
6	2gkBs	4	6	4	3	+		+	+	+	+		
7	2gkCs	7	2	2	4	+	+	+		+			
8	2gkDs	+	7	+	+				3	8	+	+	7
12	3gkBs	+	+			+	+	+	4			+	2
19	2gkBp85					8	2	2			4	1	1
22	3gkAp85					+	1		+	1	2		
25	3gkDp85		1	3	+	+	8	+	+				
27	1gkBp70	2				3	+	6	+				
28	1gkCp70			+		1		5	+	3			

Продовження табл.5.6

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
29	2gkAp70					+	+		2			+	3
30	2gkBp70	1				6	7		+			8	
33	3gkBp70				1	4	4	+	5			+	
34	3gkCp70					5	6	3			+		

Таблиця 5.7 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 2-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_l$  в грудні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
1	1gkAs	4	9	7	5		2	1	1	1	2	1	1
2	1gkBs	2	5	6	1	+	7		+		+	4	
3	1gkCs	5	4	3	4	+	8			+	7	+	+
4	1gkDs	3	7	5	2	10			+		6	7	
5	2gkAs	7	+	4	7	11	1			+	1	+	+
6	2gkBs	6	8	2	6	+		+	3	+	5		+
7	2gkCs		1	1	+	2	+	+	4	5			
8	2gkDs	8	3	+	3	4			+	+		5	
10	2gkFs	+	+	+	+					9	+	+	2
12	3gkBs	+	+	8				8	2				+
15	1gkAp85									+	3		+
17	1gkCp85							7	+	+		3	
18	2gkAp85					+	+		+			2	
19	2gkBp85						+		+	3		8	
23	3gkBp85					3	5			6		+	
24	3gkCp85							2				6	+
25	3gkDp85					+	9	+					3
26	1gkAp70				+	+	10	3	6				
27	1gkBp70		2			+	+	+		7			4
28	1gkCp70	1				+	+	+	+				
30	2gkBp70					1		5	7	2	4		
32	3gkAp70						3	+	8		+		

Таблиця 5.8 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 2-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_i$  в січні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку					Поліноми другого порядку					Поліноми третього порядку				
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$
1	1gkAs	8	6	+	7	6		1	1		1	1	1	2	1	2
2	1gkBs	5	5	8	1	5	+			+		+	+	7		1
3	1gkCs	1	7	+	+	+	9		2		3		7	3	2	
4	1gkDs	7	1	2	6	1		+	+		+	8			+	
5	2gkAs	6	3	5	8	2	+	+			+		+	7		
7	2gkCs	+	+	4	2	+		2	+	+		5	3	+		7
8	2gkDs	3	2	3	3	4	+		+	9	+					
13	3gkCs	+	+	+		+	+		3					1		
14	3gkDs			+			1			+	5	4	2			9
15	1gkAp85						2			+		2	+			
16	1gkBp85						+						3	5	3	3
17	1gkCp85						+	3					8	6	+	
18	2gkAp85							+	+		2					4
21	2gkDp85						3	+	+	7	7	3				
27	1gkBp70				+	3	8	9	+							
30	2gkBp70			7			7		7	1	+		6		4	
31	2gkCp70	4					+	8		2					6	
34	3gkCp70	2		1	+		5	10	6	3	12					

Таблиця 5.9 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 2-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_i$  в лютому)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку			Поліноми другого порядку			Поліноми третього порядку		
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$
1	1gkAs	7	+	6	1			3	2	1
2	1gkBs	6	+	2			+	1	1	+
3	1gkCs	1	6	8	+				4	2
5	2gkAs	+	7	+				2	6	3
6	2gkBs	+	5	1			3	5	+	

Продовження табл.5.9

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку			Поліноми другого порядку			Поліноми третього порядку		
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$
7	2gkCs	+	1	3		7		10		
8	2gkDs	3	2	+	7	+				+
9	2gkEs	4	3	7	+	+				
17	1gkCp85						2	7		
20	2gkCp85				8	1	6		3	
27	1gkBp70	2			5	+				4
29	2gkAp70					3	5	+		
34	3gkCp70			5	2	8	1			
35	3gkDp70	5			3	2				

Таблиця 5.10 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 2-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_i$  в березні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку				Поліноми другого порядку				Поліноми третього порядку			
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$
1	1gkAs	6	6	6	8			1		4	3	3	3
2	1gkBs	2	2	2	3	+	11					+	
3	1gkCs	1	1	5	5	7	12					7	+
4	1gkDs	+	+	1	+			+		1	+		2
5	2gkAs	5	4	+	1	3		3				2	
6	2gkBs	+	+	3	9					2	+		+
7	2gkCs	4	+	+	2	6			+			1	
9	2gkEs	3	3	+	6	+	10		7			4	
11	3gkAs			+	+		1			+	2		+
12	3gkBs		+	+		+				+		+	1
13	3gkCs							2		5	1	+	+
16	1gkBp85			+		1	+			3		+	8
28	1gkCp70					+	+	+	3				
31	2gkCp70				4		7	7	2				
32	3gkAp70					8	3	6			+		9
33	3gkBp70					2	4						5
34	3gkCp70		5			4		5	1				
35	3gkDp70			8		5	2	8	+		7		+

Таблиця 5.11 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 3-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_i$  в грудні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку			Поліноми другого порядку			Поліноми третього порядку		
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$
1	1gkAs	7	4	6	1	1		2	2	1
2	1gkBs	1	1	1	10	5	8			
3	1gkCs	5	2	+	+			+		9
5	2gkAs	+	5	+				3	+	2
6	2gkBs	6	+	2	+		7	+	+	
7	2gkCs	2	+	+	+				7	+
9	2gkEs	+	3	5		+	3	+		
13	3gkCs							1		+
14	3gkDs							+	3	+
20	2gkCp85					2		+		+
22	3gkAp85				2		9	4		
23	3gkBp85					7				3
25	3gkDp85						+		1	
27	1gkBp70	3			7	9				
29	2gkAp70					3		6		+
31	2gkCp70	+		3	8	+	2			
32	3gkAp70				3	+	11			
35	3gkDp70				5		1			

Таблиця 5.12 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 3-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_i$  в січні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку					Поліноми другого порядку					Поліноми третього порядку				
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$
1	1gkAs	5	6	6	7	7			1	2		2	1	1	1	1
2	1gkBs	1	1	1	4	4	8	+	11		+					
3	1gkCs	+	+	5	6	3		2				+	11	9	+	
4	1gkDs	3	4	4	8	+	+	8		1	4			+	3	2

Продовження табл.5.12

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку					Поліноми другого порядку					Поліноми третього порядку				
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$
5	2gkAs	+	7	7	3	2				+	6	8	+	6		
6	2gkBs	+	+	8	+	5	3					6	+	7	8	
7	2gkCs	4	3	+	2	1	+	+		+	+			4		
8	2gkDs	+	+	2	+	+			10			5	7		+	7
10	2gkFs	+	+	+	+	+	+			+	2	+	5	2	+	3
12	3gkBs	+	+	+	5	6		+			+	+		3		
15	1gkAp85						1				7	3	8			+
17	1gkCp85						2					1	2	+	+	+
18	2gkAp85							+	+	3	3		9		2	5
23	3gkBp85						+		6				3		+	
24	3gkCp85						10	1	7	+	+		6			
26	1gkAp70						+	3		+						
30	2gkBp70						+	+			1			5	4	4
32	3gkAp70	6	2				+	4	+	+	8					
33	3gkBp70						+	5	3							
35	3gkDp70	2		3	1		7		2	9	9					

Таблиця 5.13 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 3-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_l$  в лютому)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку					Поліноми другого порядку					Поліноми третього порядку				
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$
1	1gkAs	8	6	6	+	5	1	1				1	1	1	1	1
2	1gkBs	7	2	2	4	1		+	+		+	4			+	
3	1gkCs	4	3	8	2	3	+	+						8	+	
4	1gkDs	6	1	3	3	2			+		+	+			+	
6	2gkBs	3	5	5	7	4	+			+			+		+	
9	2gkEs	+	+	+	+	+	2					2	+	+	10	5
10	2gkFs	+	+		+	+						+	6	+	6	2
11	3gkAs	+	+	+	+	6					1	3	4	+	+	
14	3gkDs	+			+	+		4		4		+		3	+	7
16	1gkBp85			+					2	1	3	+	+	2	2	3
17	1gkCp85							3	4			+	2	+	9	

Продовження табл.5.13

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку					Поліноми другого порядку					Поліноми третього порядку				
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$
19	2gkBp85							+		+	2	+		+		4
20	2gkCp85						+	5	+		+				3	
26	1gkAp70	1					5	+		6	9			7		
27	1gkBp70		8				3		+	+	7	+				
28	1gkCp70									2				6	7	
29	2gkAp70	2		+	+		4		6	+						
30	2gkBp70						+	2	3		4		3	+	4	
33	3gkBp70			1	1			7	9	7	6	+				
35	3gkDp70		7				8	8	1	3	10					

Таблиця 5.14 Значимі фактори при поліномах різних порядків для відгуків у кластерах 3-го головного компонента векторів станів (фактори, що впливають, в листопаді, відгуки  $\hat{y}_i$  в березні)

№ п/п	Фактор	Поліноми першого порядку					Поліноми другого порядку					Поліноми третього порядку				
		$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$	$\hat{y}_A$	$\hat{y}_B$	$\hat{y}_C$	$\hat{y}_D$	$\hat{y}_E$
1	1gkAs	7	+	6	+	+	1	1	1			2	1	1	1	1
2	1gkBs	4	1	2	5	1		+	11		7			+	8	
3	1gkCs	+	4	7	7	+	2			10	1	1	+	3	7	2
4	1gkDs	6	+	5	2	5					+	+	2	+	+	+
5	2gkAs	5	3	4	+	+		+			4	+		+	3	5
6	2gkBs	2	5	1	+	4	12		+				+		2	+
7	2gkCs	+	8	+	+	+			2			6	+	4	4	+
8	2gkDs		6	+	+	6	3					3		+	+	+
12	3gkBs	+			3	7				7		+	+	9		
13	3gkCs	8			4	3	+		10	+	+		+			
14	3gkDs						4		3	1	6	4	3	7	5	+
20	2gkCp85							7	4		3	+		5		4
22	3gkAp85										2				+	3
23	3gkBp85							2		3	9		4	+	6	
29	2gkAp70						9	+		+	+	+		2		
32	3gkAp70					2	5		5	+	8	+	7	+		
33	3gkBp70	1			1		+	3	+	8	+					
34	3gkCp70		2				7	5		2	+					
35	3gkDp70	3		3			+	4	7	5	+					



Знак «+» мають значимі фактори, для яких критерій Фишера становить близьке до критичного значення. Проведені розрахунки в процедурі просіювання показали, що в середньому для перших 3 – 4 факторів, що впливають, значення критерію Фишера істотно перевищує критичне (перші 2 - для деяких випадків у десятки разів). Тому надалі будемо брати до уваги тільки перші три значимі фактори, що впливають.

Дослідження статистичної значимості факторів, що впливають, показує, що структура рівнянь моделі розрізняється, по-перше, для різних параметрів (головних компонентів), що відбивають процеси взаємодії поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї шару повітря, а також стану атмосфери на висотах, по-друге, для різних територіальних кластерів Східної Європи, по-третє, для всіх розглянутих місяців з різним упередженням.

Однак існують і подібні особливості структури моделі. Вони полягають у тім, що в усі моделі для всіх виділених кластерів входять фактори, які відбивають процеси енергетичної взаємодії між атмосферою й океаном в областях енергоактивних зон Північної Атлантики.

Вплив циркуляційних характеристик, а так само характеристик тепло- і вологовмісту повітря на поверхнях 850 і 700 гПа над Північною Атлантикою, проявляється по-різному, в основному через другий і третій ступінь. Це означає, що мінливість процесів у приземному шарі над територією Східної Європи багато в чому залежить і від енергетичного стану атмосфери на зазначених вище поверхнях.

Розглянемо більш докладно розподіл значимості факторів, що впливають, у процесах взаємодії двох середовищ в однорідних регіонах Східної Європи із завчасністю 1 - 4 місяці. Раніше було зазначено, що, в основному, внески в загальну дисперсію між головними компонентами відгуків і факторів, що впливають, у середньому розподілені в такий спосіб: 55% дисперсії пояснює перший головний компонент, 20% - другий й 15% - третій компоненти.

Вплив процесів взаємодії атмосфери й океану, а так само енергетичного

стану атмосфери в нижній тропосфері Північної Атлантики в листопаді на процеси, що відбиваються головними компонентами в районі відгуків у грудні-березні, має й загальні риси, і відмінності.

*Перший головний компонент.* На формування значень першого головного компонента векторів станів у лінійній моделі на всій розглянутій території Східної Європи здійснюють істотний вплив процеси в приводному шарі в районі моря Баффіна (зона факторів **В**, рис. 3.1) (табл. 5.3-5.6). Найбільший їх вплив із завчасністю 1-3 місяця позначається на процесах у кластерах відгуків **А** і **В** (рис. 4.1 – 4.3), які займають територію Східно-Європейської рівнини, частково акваторії Чорного й Каспійського морів, а в січні й у лютому, додатково ще Кавказ і північну частину Іранського нагір'я.

Зазначені кластери також повністю охоплюють територію України. Крім цього основну роль у формуванні вихідних характеристик (згідно з ваговим навантаженням) у південних районах території відгуків (**С** і **Д**, рис. 4.1 – 4.3) грають процеси, які описуються першим компонентом, в області зіткнення теплої Північноатлантичної й холодної Лабрадорської течії (зона факторів **Д**, рис. 3.1). Необхідно відзначити, що при відносно невеликому від'ємному значенні головного компонента в зоні факторів **Д** (рис. 3.1) і великому додатному – у зоні факторів **В** (рис. 3.1) спостерігається їх максимальна міжрічна мінливість. З упередженням 4 місяці (розглядаються відгуки в березні), істотну роль у формування значень відгуків в однорідних зонах **В**, **С**, **Д** (рис. 4.4) теж грають процеси в районі моря Баффіна.

Основний внесок у складову першого головного компонента векторів станів у кластерах Східної Європи, що виражає нелінійними членами поліномів другого й третього порядків, протягом усього часового інтервалу вносять процеси в Північній Атлантиці, що мають відношення до самої масштабної зони факторів **А** (рис. 3.1). Репрезентативний вектор компонента в цій зоні має максимальне середнє значення й мінімальну міжрічну дисперсію.

У полі другого головного компонента, що так само представляє процеси взаємодій у приповерхньому шарі повітря в районі розташування факторів, істотний вплив на лінійну складову відгуків здійснюють: у кластерах **C**, **D** (рис. 4.1), **A**, **B**, **C**, **D** (рис. 4.3) – процеси в зоні факторів **B** (рис. 3.5), яка представлена осередками в районі моря Баффіна, між північно-східним краєм Гренландії й Шпицбергеном; у кластерах **B**, **D** (рис. 4.1), **B**, **C**, **D** (рис. 4.3), **B**, **C** (рис. 4.4) – процеси в зоні факторів **C** (рис. 3.5), з осередками в Норвезькому й Гренландському морях (Норвежсько-Гренландська ЭАО), в областях зіткнення Лабрадорської і Північноатлантичної течії, Канарської течії, Центрального кругообігу Північної Атлантики.

Крім зазначених районів значимих факторів, у другому головному компоненті присутня зона **D** (рис. 3.5) репрезентативний вектор другого головного компонента якої із завчасністю 2 і 3 місяці визначає лінійні складові відгуків у кластерах **C** (рис. 4.2 – 4.3).

Серед нелінійних членів апроксимуючих поліномів, фактори, що мають відношення до другого компонента, який, у свою чергу, виражає енерго-масообмін у приповерхньому шарі повітря, і активно впливають на процеси в районі відгуків, представлені тільки репрезентативними векторами зони факторів **D** (рис. 3.5) (у поліномах другого й третього ступеня – на відгуки в південному кластері **D** (рис. 4.1)) і векторами зони факторів **A** (рис. 3.5) (у поліномах другий і третього ступеня – на відгуки в кластерах **B**, **C** (рис. 4.1)).

Найбільша значимість третього головного компонента, що вносить менший, чим перші два компоненти, внесок у загальну дисперсію процесів взаємодії атмосфери й поверхні, що підстилає, у Північній Атлантиці, проявляється в поліномах першого ступеня тільки з місячним упередженням у кластерах відгуків **A**, **B**, **C** (рис. 4.1). У цьому випадку фактори, що впливають, мають відношення до осередків зони факторів **A** (рис. 3.9) територіально розташованої в районі моря Баффіна, на півночі Гренландського моря, у зоні зіткнення Північноатлантичної й Лабрадорської течії, Ньюфаундлендської

банки (Ньюфаундлендська ЕАО). У поліномах другого ступеня така значимість присутня у варіанті із двох і трьох місячної завчасністю. Так для кластера **С** (рис. 4.2) (Каспійське море) найбільш значимими є процеси в зонах **А** і **Д** (рис. 3.9), остання розташована в районі Норвежсько-Гренландської ЕАО й у південній частині моря Лабрадор, а для кластера **Д** (рис. 4.3) (північна частина Каспійського моря, півострів Мала Азія, Сирійська пустеля, північ Іранського нагір'я) – процеси в зонах **А** і **С** (рис. 3.9). Кластер **С** (рис. 3.9) має осередки в морі Баффіна, в областях розгалуження Північноатлантичної течії й Ньюфаундлендської ЕАО, а також у районі Португальської холодної течії. Для поліномів третього ступеня повторюється ситуація для зони відгуків **С** (рис. 4.2) з варіантом двомісячного упередження, а для зони **Д** (рис. 4.2 – 4.4), що розташовується в південній половині території відгуків, на перші місця по значимості виходять процеси в кластерах **А**, **В**, **С** (рис. 3.9).

Циркуляційні умови й температурно-вологісний режим на *поверхні 850 гПа* входять до складу значимих факторів для відгуків із завчасністю 1-3 місяця тільки в поліномах другого й третього порядку.

Так, *для моделей другого порядку*, у випадку з одномісячним попередженням, на значення першого головного компонента векторів станів у регіонах **А** і **В** (рис. 4.1), розташованих у північній половині території відгуків, істотно впливають процеси, які описуються другим компонентом, у зонах **С** і **Д** (рис. 3.17). Ці зони представлені множинними овередкам, у тому числі й над різними ЕАО, і розрізняються між собою середніми значеннями репрезентативних векторів (21,4 (максимальне) і (-2) (мінімальне)). Основні навантаження в зоні **С** припадають на відносний вихор (циклональний) і зональну складову швидкості вітру, а в зоні **Д** – тільки на відносний вихор швидкості. Значний вплив процесів у зоні факторів **С** (рис. 3.17) на процеси в кластері відгуків **А** (рис. 4.3) зберігається й у лютому, із завчасністю 3 місяці. До складу значимих факторів із завчасністю 3 місяці, для яких критерій Фишера істотно перевищує критичне значення, так само входять

репрезентативні вектори кластерів на поверхні 850 гПа: у кластері **С** (рис. 3.13) – для відгуків у зоні **А** (рис. 4.3) і в кластері **А** (рис. 3.17), що охоплює простір над всіма ЕАО Північної Атлантики, – для відгуків у зоні **Д** (рис. 4.3) (півострів Мала Азія, Сирійська пустеля, північ Каспію й Іранського нагір'я).

У поліномах третього порядку, серед значимих для відгуків компонентів векторів станів у районі факторів, що впливають, найбільше яскраво проявляються наступні компоненти:

- с одномісячним упередженням для кластерів **А** і **В** (рис. 4.1) – інтенсивність відносного вихру швидкості в зоні **Д** (рис. 3.17) (над північним сходом Гренландії, осередки над Восточно-Гренландской і Норвезької ЕАО, зоною зіткнення Лабрадорської й Північноатлантичної течій) і представлені у векторі станів циркуляційні характеристики (включаючи деформацію висотного баричного поля) у зоні **А** (рис. 3.21) (над Гренландією, над Норвежсько-Гренландської ЕОА, над Португальською і Канарською течіями). Репрезентативні вектори головних компонентів у зазначених зонах факторів, що впливають, мають мінімальні середні значення, а також мінімальну міжрічну мінливість у зоні **А** (рис. 3.21) і максимальну – у зоні **Д** (рис. 3.17);

- с двомісячним упередженням для кластера відгуків **В** (рис. 4.2) (Україна, Кумо-Маничська западина, Кавказ, Іранське нагір'я) – сама більша зона факторів **А** (рис. 3.13) із приблизно рівним розподілом навантажень у першому компоненті на поверхні 850 гПа на складові вектора станів і для кластера відгуків **Д** (рис. 4.2) – зона факторів, що впливають, **А** (рис. 3.17);

- с тримісячним упередженням для кластера відгуків **А** (рис. 4.3) одними з основних процесів, що визначають внесок у дисперсію відгуків, є процеси, які описуються третім головним компонентом у зоні **С** (рис. 3.21) (над центральною й західною частиною Північної Атлантики). Енергетичний стан атмосфери в ній визначається циркуляційними характеристиками й деформацією висотного баричного поля. Для кластера відгуків **В** (рис. 4.3) (Україна, Кумо-Маничська западина, Кавказ, схід Іранського нагір'я) такою

зоною є зона факторів **A** (рис. 3.21), а для кластера **C** (рис. 4.3) (морська частина розглянутої території відгуків) – зона факторів **D** (рис. 3.17).

Весняний місяць березень у районі відгуків відрізняється від інших розглянутих місяців не тільки підвищеною осередковістю в поле першого головного компонента. Для цього місяця циркуляційні умови й температурно-вологісний режим на поверхні 850 гПа входять до складу значимих факторів для відгуків у поліномах і першого, і другого й третього порядків. Так для лінійного полінома в кластерах відгуків **B** (більша частина Східно-Європейської рівнини (включаючи Україну)) і **C** (морський простір) (рис. 4.4) велику вагу мають складові полінома в зоні факторів **D** (рис. 3.21), розташованій над Північноатлантичною течією. Цій зоні відповідає максимальне по величині середнє значення репрезентативного вектора третього головного компонента із приблизно однаково розподіленими навантаженнями на вихідні характеристики (крім геопотенціалу). Серед найбільш значимих нелінійних членів рівнянь другого й третього порядків присутні фактори, що впливають, які характеризують наступні однорідні зони:

– зону **B** (рис. 3.17), що охоплює райони поверхні 850 гПа над східною частиною Гренландії, південніше Ісландії, на захід від острова Великобританія й Норвежсько-Гренландської ЭАО (б). Репрезентативний вектор другого головного компонента цієї зони в поліномах другого порядку є істотно значимим для зон відгуків **B** і **C** (рис. 4.4), а в поліномах третього порядку – для зон **C** і **D** (рис. 4.4). Зазначеній зоні факторів відповідають максимальні середні значення репрезентативного вектора, низькі значення геопотенціалу й висока інтенсивність відносного вихру швидкості. Її осередки розташовуються над районами утворення циклонального вихру й середньомісячного знаходження Ісландського мінімуму;

– зону **A** (рис. 3.21), описану вище. Енергетичний стан атмосфери в цій зоні тісно пов'язаний із процесами енерго-, масообміну в таких однорідних районах відгуків як **B** (рис. 4.4) через поліноми другого порядку, і **A**, **B**

(рис. 4.4) – через поліноми третього порядку.

Параметри стану атмосфери на *поверхні 700 гПа* над Північною Атлантикою так само впливають на вектори станів приповерхнього шару повітря над територією Східної Європи. Їх значимість визначається переліком значимих за критерієм Фишера факторів, які формують у кінцевому виді полінома того або іншого порядку.

У грудні в моделях другого порядку серед таких факторів виступають наступні середні вектори однорідних зон третього головного компонента:

- зони **В** (рис. 3.33) - для відгуків у кластерах **А** і **С** (рис. 4.1);
- зони **С** (рис. 3.33) - для відгуків у кластері **В** (рис. 4.1). Максимальне навантаження в зоні факторів **С** має відносний вихор швидкості.

Вектор другого головного компонента в зоні **С** (рис. 3.29) є одним з визначальних у нелінійному рівнянні для відгуку в південному кластері **Д** (рис. 4.1). У нелінійних поліномах для відгуку в кластері **С** (рис. 4.1) також значимим є репрезентативний вектор другого компонента в зоні **А** (рис. 3.29) з невеликим середнім значенням, але відносно великою міжрічної мінливістю й з основним навантаженням на циркуляційні характеристики. У моделях третього ступеня для відгуків у кластерах **А** і **С** (рис. 4.1) на перших місцях по значимості перебувають вектори першого компонента характеристик стану атмосфери на поверхні 700 гПа в зонах **В** і **А** (рис. 3.25) з максимальними середніми значеннями й з основними ваговими коефіцієнтами при температурно-вологісних характеристиках і при геопотенціалі. У січні значимі фактори, що описують вектори станів на поверхні 700 гПа, спостерігаються тільки в поліномах першого й другого порядків. При цьому в кінцеву модель для відгуку в південному кластері **Д** (рис. 4.2) входять репрезентативні вектори в зоні факторів **В** (рис. 3.25) першого компонента й у зонах факторів **В**, **С** (рис. 3.33) третього компонента. У рівняннях моделі, що визначають значення першого компонента в кластерах відгуків **А** і **В** (рис. 4.2), який, у свою чергу, характеризує процеси взаємодії поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї

шару повітря, є присутнім по одному з факторів, що впливають, стосовних до поверхні 700 гПа. Ними є, відповідно, середні вектори в зоні **B** (рис. 3.33) третього компонента в складі лінійної моделі і у зоні **C** (рис. 3.29) другого компонента, з максимальним по модулю значенням і навантаженнями на характеристики температурно-вологісного режиму, у складі моделі другого порядку. Із завчасністю для лютого й березня участь факторів, що впливають, у вигляді параметрів стану атмосфери на поверхні 700 гПа має місце в моделях всіх порядків. Так, у лютому, у загальному рівнянні для відгуку в самому масштабному кластері **A** (рис. 4.3) утримуються значимі фактори у вигляді середніх векторів другого компонента в зоні **C** (рис. 3.29) (лінійний поліном) і першого компонента в зоні **B** (рис. 3.25) (нелінійні поліноми).

Фактори у вигляді репрезентативних векторів всіх трьох зон першого головного компонента (**A**, **B**, **C** (рис. 3.25)) в основному визначають чутливість моделі в поліномі другого порядку для першого компонента в кластері відгуку **B** (рис. 4.3), що включає в себе територію України.

На формування значень вектора відгуку в кластері **C** (рис. 4.3) вплив процесів на поверхні 700 гПа, що характеризуються другим компонентом у зоні **A** (рис. 3.29) і третім компонентом у зоні **A** (рис. 3.33), проявляється через поліноми другого й першого порядків.

У березні процеси, що визначають значення температур поверхні й повітря в кластері відгуків **A** (рис. 4.4), значною мірою залежать від температурно-вологісного режиму і значень геопотенціалу в зоні факторів **B** (рис. 3.25), а також циркуляційних характеристик у зоні факторів **B** (рис. 3.29), які мають місце в лінійній моделі. Для цих же процесів (у кластері відгуків **A** (рис. 4.4)) у нелінійних моделях значимим є середній вектор першого компонента в зоні факторів **C** (рис. 3.29). Подібна картина спостерігається й для кластера відгуків **D** (рис. 4.4), де в лінійному рівнянні присутній вектор третього компонента в зоні **B** (рис. 3.33), а в нелінійному рівнянні - вектор другого компонента в зоні **A** (рис. 3.29) з великою міжрічною мінливістю.



Надалі, щоб уникнути частих повторень при описі тісноти зв'язку відгуків і факторів, що впливають, будемо іноді замінити поняття процеси взаємодії в приповерхньому шарі повітря й енергетичний стан повітря на поверхні 850 і 700 гПа поняттям репрезентативний вектор певного кластера, які по суті своїй є ідентичними. Однорідні зони факторів без опису розташування й супутніх їм статистичних характеристик представлені вище при аналізі першого компонента відгуків.

*Другий головний компонент.* Однорідні зони в полях другого головного компонента характеристик процесів взаємодій у приповерхньому шарі повітря в районі відгуків, зображені на рисунках 4.5 – 4.8, мають більшу осередкованість, чим у полях першого головного компонента. Відмінність між цими компонентами, у головному, полягає у величині внеску в загальну дисперсію процесів, які описуються векторами станів і розподілом навантажень на вихідні характеристики. Все це припускає наявність загальних рис і відмінностей у залежності процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і приповерхнього шару повітря в межах території Східної Європи, які описуються другими й першою головними компонентами, від кліматоутворюючих процесів у Північній Атлантиці (табл.5.7 – 5.10).

В поліномах першого порядку, що відбивають лінійні зв'язки факторів у листопаді й з різною завчасністю відгуків у вигляді другого головного компонента, найбільш значимими є процеси в приповерхньому шарі повітря в Північній Атлантиці, які представлені репрезентативними векторами в зазначені далі кластерах.

При упередженні 1 місяць (для грудня (рис. 4.5)):

– кластер **В** (рис. 3.1) (море Баффіна) і **Д** (місце розташування: район зіткнення Північноатлантичної й Лабрадорської течії, максимальні навантаження по величині на температуру повітря, різницю температур, зональну складову швидкості вітру) – для відгуків у зонах **А** і **Д**, що займають північну частину території Східно-Європейської рівнини;

– кластер **С** (рис. 3.1) (місце розташування: західна Гренландія, море Лабрадор, система Північноатлантична – Норвезька течія (Норвежсько-Гренландська й Ньюфаундлендська ЕАО), максимальні навантаження на температури поверхні й повітря, і різницю температур), **В** і **С** (рис. 3.5) – для відгуків у зоні **С** (має осередки на півночі України, у районах Кумо-Маничської западини, Вірменського нагір'я);

– кластери **С** і **Д** (рис. 3.5) – для відгуків у зоні **В**;

– кластер **Д** (рис. 3.5) – для відгуків у зоні **Д**.

При упередженні 2 місяці (для січня (рис. 4.6)):

– кластер **В** (рис. 3.1) – для відгуків у зоні **Д** (місце розташування: більша частина Східно-Європейської рівнини (включаючи територію України, крім півдня), осередки в районі Сірійської пустелі, північ Іранського нагір'я);

– кластер **С** (рис. 3.1) – для відгуків у зоні **А** (має осередки на півночі й заході Східно-Європейської рівнини, сході Чорного й Середземного морів);

– кластер **Д** (рис. 3.1) – для відгуків у зонах **В**, **С**, **Е** (південь України, центральна й західна частина Чорного моря, осередки в південній половині розглянутої території відгуків);

– кластер **А** (рис. 3.5) (репрезентативний вектор має максимальні по величині навантаження на різницю температур і поверхневі потоки схованого тепла) – для відгуків у зонах **В**, **С**, **Е**;

– кластер **Д** (рис. 3.5) – для відгуків у зонах **А**, **В**, **С**, **Д**;

– кластер **С** (рис. 3.5) – для відгуків у зоні **Д**.

При упередженні 3 місяці (для лютого (рис. 4.7)):

– кластер **В** (рис. 3.1) (море Баффіна), **В** і **С** (рис. 3.5), – для відгуків у зоні **С** (місце розташування: південь Каспію, південне узбережжя східної частини Середземного моря, Сірійська пустеля);

– кластер **С** (рис. 3.1), **Д** (репрезентативний вектор у цьому кластері має максимальне середнє значення, що свідчить про велику інтенсивність процесів, і основні навантаження на різницю температур і потоки схованого тепла)

(рис. 3.5) – для відгуків у зоні **A** (місце розташування: північна половина розглянутої території відгуків, Кавказ, захід Іранського нагір'я, Месопотамія);

– кластери **C, D, E** (місце розташування кластера **E**: Північноатлантична течія, осередки в море Лабрадор і в Норвезькому морі, максимальне навантаження в другому компоненті вектора станів – на температуру поверхні) (рис. 3.5) – для відгуків у зоні **B** (місце розташування: крайня північ Східно-Європейської рівнини, захід і південь півострова Мала Азія, Чорне й Каспійське море).

При упередженні 4 місяці (для березня (рис. 4.8)):

– кластер **B** (рис. 3.1) – для відгуків у зонах **A** (місце розташування: північна й південна частина Східно-Європейської рівнини (включаючи територію України) і далі більша частина південної половини розглянутої території відгуків), **B** (місце розташування: центральна й східна частина Східно-Європейської рівнини, захід півострова Мала Азія), **C** (місце розташування: дрібномасштабні вогнища по всій території відгуків), **D** (місце розташування: західна половина Чорного й східна частина Середземне морів);

– кластер **C** (рис. 3.1), **E** (рис. 3.5) – для відгуків у зонах **A** і **B**;

– кластер **D** (рис. 3.1), **B** (рис. 3.5) – для відгуків у зоні **C**;

– кластери **A, C** (рис. 3.5) – для відгуків у зоні **D**.

Третій головний компонент характеристик процесів у приповерхньому шарі повітря в Північній Атлантиці на формування значень другого головного компонента векторів станів у лінійній моделі на всій розглянутій території Східної Європи істотно не впливає.

Поліноми другого й третього порядку, що відбивають у листопаді нелінійні зв'язки факторів і відгуків у вигляді другого головного компонента, також містять у собі значимі члени, що виражають процеси взаємодій у приповерхньому шарі повітря в Північній Атлантиці. Найбільше яскраво серед них з різною завчасністю, як і для першого компонента відгуків, проявляється однорідна зона **A** (рис. 3.1). Процеси в ній мають помірну інтенсивність і

мінімальну міжрічну мінливість. У поліномах третього порядку протягом усього розглянутого періоду (грудень-березень) репрезентативний вектор зони **A** (рис. 3.1) займає перші позиції по значимості для всіх однорідних кластерів відгуків. У поліномах другого порядку значимість зазначеного репрезентативного вектора змінюється залежно від завчасності. Так з упередженням в один і два місяці процеси, які описуються другим головним компонентом, у приповерхньому шарі в зоні **A** (рис. 3.1) (компонент в цієї зоні має максимальні навантаження на температури поверхні, що підстилає, і повітря в шарі 2 м), в основному, визначають значення репрезентативних векторів другого головного компонента відгуків у кластерах **B**, **C**, **D** (рис. 4.5) і **B**, **C**, **E** (рис. 4.6), відповідно. З упередженням три й чотири місяці, така значимість фактору в зоні **A** (рис. 3.1) існує тільки для кластерів відгуків **A** (рис. 4.7) у лютому й **C** (рис. 4.8) у березні. Розподіл інших факторів, що впливають, які представляють перші три компонента характеристик процесів взаємодії підстилаючої поверхні і приземного шару повітря, і які здійснюють істотний внесок у формування другого компонента відгуків у поліномах другого й третього порядку не має однорідність і послідовність. Так у полі першого головного компонента (рис. 3.1) відсутні репрезентативні вектори, істотно впливають на формування нелінійної складової репрезентативних векторів другого компонента (рис. 4.5) з одномісячної завчасністю (для грудня). Однак в інші місяці значимість зв'язку факторів, що відповідають першому головному компоненту, з відгуками має місце, а саме:

- у січні, у поліномі другого ступеня репрезентативний вектор зони **C** (рис. 3.1) є значимим для однойменних векторів-відгуків у кластерах **C** і **E** (рис. 4.6); а в поліномі третього ступеня – для кластерів **C** і **D** (рис. 4.6);

- у лютому, у поліномі третього ступеня репрезентативний вектор зони **B** (море Баффіна) (рис. 3.1) формує значення середніх векторів для кластерів **A** і **B** (рис. 4.7), а зони **C** (рис. 3.1) – тільки для кластера **C** (рис. 4.7);

- у березні, у поліномі третього ступеня репрезентативний вектор зони **D**

(район зіткнення Лабрадорської й Північноатлантичної течії) (рис. 3.1) формує нелінійну складову репрезентативних векторів для кластерів **A** і **D** (рис. 4.8).

У полі другого компонента (рис. 3.5) вагома значимість факторів для однойменного компонента в районі відгуків із завчасністю два місяці (для січня) проявляється слабо. Тільки лише один репрезентативний вектор зони **C** (рис. 3.5) активно впливає на формування аналогічного вектора кластера **B** (рис. 4.6) у поліномі другого порядку. В інші місяці ситуація змінюється. Так, з одномісячним упередженням (для грудня), процеси в приповерхньому шарі повітря, які описуються другим компонентом, мають значимість:

- у зоні факторів **A** (рис. 3.5) – для кластера відгуків **B** (рис. 4.5) у моделях другого й третього порядків;

- у зоні факторів **B** (рис. 3.5) – для кластера відгуків **D** (рис. 4.5) у моделі другого порядку;

- у зоні факторів **C** (рис. 3.5) – для кластера відгуків **A** (рис. 4.5) у моделі другого порядку;

- у зоні факторів **F** (рис. 3.5) – для кластера відгуків **D** (рис. 4.5) у моделі третього порядку.

Із тримісячним упередженням (для лютого) факторами, що впливають, (другий компонент) для яких значення критерію Фишера істотно перевищують критичні, є: у поліномі другого порядку фактор у зоні **B** (рис.3.5) – для кластера відгуків **C** (рис. 4.7) і в поліномі третього порядку фактор у зоні **A** (рис. 3.5) – для кластерів відгуків **A** і **C** (рис. 4.7).

Процеси взаємодії поверхні, що підстилає, і атмосфери в однорідній зоні **A** (рис.3.5), які описуються другим головним компонентом, мають істотну вагу в поліномах другого порядку для відгуків у кластерах **A** і **C** (рис. 4.8) і в поліномі третього порядку для відгуку в кластері **C** (рис. 4.8). У поліномах третього порядку значимими також є середні вектори другого компонента зони факторів **B** (рис. 3.5) – для кластера відгуків **A** (рис. 4.8) і зони факторів **C** (рис. 3.5) – для кластера відгуків **C** (рис. 4.8).

Істотна значимість членів поліномів, що представляють моделі другого й третього порядків і стосовних до третього компонента процесів енерго- і масообміну в приповерхньому шарі повітря в Північній Атлантиці, проявляється в основному в січні й у березні. У грудні цей факт має місце в рівнянні другого порядку для кластера відгуків **D** (рис. 4.5), де значимим членом виступає середній вектор третього компонента зони факторів **B** (рис. 3.9) з максимальної міжрічною мінливістю (основні навантаження на зональну складову швидкості вітру й поверхневі потоки схованого тепла). Для відгуків у січні, моделі другого ступеня для кластерів **A** і **C** (рис. 4.6) і третього ступеня для кластерів **B** і **C** (рис. 4.6) після процедури просівання містять у собі репрезентативні вектори зон факторів **D** і **C** (рис. 3.9), відповідно. У березні, у число факторів, що впливають, які вносять істотний внесок у нелінійний компонент відгуків, входять: середній вектор зони **A** (рис. 3.9) – у поліноми другого й третього порядків для кластера **B** (рис. 4.8); середній вектор зони **B** (рис. 3.9) – у поліном третього порядку для кластера **D** (рис. 4.8); середній вектор зони **C** (рис. 3.9) – у поліном другого порядку для кластера **C** (рис. 4.8) і в поліном третього порядку для кластера **B** (рис. 4.8).

Головні компоненти, що відбивають енергетичний стан атмосфери в кластерах *на поверхні 850 гПа*, мають вагому значимість для відгуків, представлених другим компонентом векторів станів, тільки в моделях другого й третього порядку. При цьому у випадках із завчасністю 1 – 2 місяці кількість значимих факторів значно більше, ніж із завчасністю 3 – 4 місяці (для лютого й березня).

Так у *поліномах другого порядку*, у випадку з одномісячним упередженням, на формування репрезентативних векторів у кластерах відгуків **A** і **C** (рис. 4.5) найбільш значимо впливають процеси, що описуються третім головним компонентом, у зонах факторів **B** (показний вектор у неї має максимальну внутрішньокластерну міжрічну дисперсію і основне навантаження на зональну складову швидкості вітру) і **C** (ця зона має велике середнє значення

репрезентативного вектора з основним навантаженням на зональну складову швидкості вітру й геопотенціал) (рис. 3.21) відповідно. Для січня (завчасність два місяці) ситуація змінюється. Значимими стають середні вектори в зонах першої й другої головних компонент, а саме: у зонах **A** (має велике середнє значення компонента з рівномірно розподіленими навантаженнями) (рис. 3.13) і **D** (має максимальне по величині середнє значення компоненти з максимальними навантаженнями на відносний вихор швидкості) (рис. 3.17) – для відгуків у кластері **A** (рис. 4.6), у зоні **C** (рис. 3.13) – для відгуків у кластері **B** (рис. 3.13) і в зоні **A** (рис. 3.17) – для відгуків у кластері **E** (рис. 4.6).

У лютому, із завчасністю три місяці, середній вектор першого компонента векторів станів на поверхні 850 гПа зони **C** (рис. 3.13) (має мінімальні значення середні значення й невелику дисперсію компонента, що є свідченням слабкої активності процесів у цій зоні) впливає в поліномах другого ступеня на формування значень репрезентативного вектора в кластері відгуків **C** (рис. 4.7). У цьому ж місяці внесок у формування значень другого компонента в кластері відгуків **B** (рис. 4.7) у нелінійних моделях першого й другого порядку визначається в основному процесами в зоні **C** (рис. 3.17), який відповідають максимальні значення середнього вектора й велике вагове навантаження на відносний вихор швидкості.

Подібна ситуація за участю одного значимого фактору, що впливає, у нелінійній частині моделі присутня й у березні: середній вектор зони **B** (рис. 3.13), з максимальними значеннями й основними додатними навантаженнями на температурно-вологісні характеристики і геопотенціал, активно впливає на значення другого головного компонента в кластері відгуків **A** (рис. 4.8).

Найбільш вагомо значимість факторів, що впливають, (у вигляді головних компонентів векторів станів на поверхні 850 гПа) у поліномах третього порядку проявляється у відгуках із завчасністю 1-2 місяця. Так, для відгуків у грудні, процеси, які характеризує другий компонент, у зоні факторів

**В** (рис. 3.17) вносять істотний вклад у визначення середнього вектора кластера відгуків **А** (рис. 4.5). Аналогічно, значення першого компонента в зоні факторів **А** (рис. 3.13) визначають у моделях третього порядку середній вектор кластера відгуків **В** (рис. 4.5), а значення першого компонента в зоні факторів **С** (рис. 3.13) і другого компонента в зоні факторів **А** (рис. 3.17) визначають середній вектор кластера відгуків **С** (рис. 4.5). Третій головний компонент у зоні факторів **Д** (рис. 3.21), що відповідає Північноатлантичній течії, який входить до складу значимих членів полінома третього порядку, має максимальне по величині середнє значення і рівномірно розподілені навантаження на вихідні характеристики (крім геопотенціалу), визначає середній вектор кластера відгуків **Д** (рис. 4.5). Для відгуків у січні, репрезентативний вектор зони **В** (рис. 3.13) першого головного компонента векторів станів на поверхні 850 гПа в листопаді, що характеризує підвищений енергетичний стан атмосфери, у моделях третього порядку вносить істотний вклад у формування середнього вектора другого компонента в кластерах **В**, **Д**, **Е** (рис. 4.6).

У рівнянні третього порядку для відгуку в кластері **А** (рис. 4.6) велику роль грають перший головний компонент стану атмосфери на поверхні 850 гПа в листопаді в однорідній зоні факторів **А** (рис. 3.13) і другий головний компонент – у зоні факторів **Д** (рис. 3.17).

На відміну від процесів на поверхні 850 гПа в Північній Атлантиці, процеси на поверхні 700 гПа в моделях третього порядку для відгуків у кластерах другого компонента векторів станів не мають особливої значимості й в основному представлені в поліномах другого порядку.

У *лінійних моделях* з упередженням один місяць (для грудня) у кластерах **А** і **В** (рис. 4.5) істотний внесок у формування значень відгуків вносять репрезентативні вектори першого головного компонента в зонах **С** (з максимальною міжрічною дисперсією) і **В** (з максимальним середнім значенням компонента) (рис. 3.25). Такий же вплив вектор першого головного



компонента в зоні **В** (рис. 3.25), що охоплює простір над Гренландією, Гренландським морем і над північчю Норвезького моря (Норвежсько-Гренландська ЕАО), здійснює із двомісячним упередженням на вектор другого компонента в кластері відгуків **Е** (рис. 4.6) і із тримісячним упередженням – у кластері відгуків **А** (рис. 4.7). У полі третього компонента векторів станів на поверхні 700 гПа є присутнім тільки один середній вектор, що є значимим у лінійних моделях для відгуків у кластерах **А** і **С** (рис. 4.6). Цей середній вектор відповідає зоні факторів **С** (рис. 3.33). Основне навантаження в ньому приходить на відносний вихор швидкості.

Для відгуку в кластері **А** (рис. 4.5) у нелінійних рівняннях другого й третього порядків на перших місцях по значимості знаходиться вектор другого головного компонента, що має відношення до однорідної зони **В** (рис. 3.29). Дана зона є самою масштабною, а процеси, які описуються в ній другим компонентом, в основному, визначають циркуляційні характеристики атмосфери на поверхні 700 гПа.

З таким же одномісячним упередженням у поліномах другого порядку для відгуків у кластерах **В** і **С** (рис. 4.5) значимими є вектори третього компонента в зоні **А** (рис. 3.33) і першого компонента в зоні **А** (рис. 3.25). У першій із зазначених зон навантаження приходяться на зональну складову швидкості вітру, у другий - на температурно-вологісні характеристики й геопотенціал.

У моделі другого порядку із двомісячним упередженням для кластера відгуку **Д** (рис. 4.6), що займає практично всю Східно-Європейську рівнину, значимими є тільки фактори, що характеризують особливості процесів, які відбиваються на поверхні 700 гПа. Зазначений кластер також має осередки в південній частині території відгуків. Основними факторами, що впливають, у цій моделі є головні компоненти з однорідних зон факторів **В** і **С** (рис. 3.29) з максимальними по величині середніми значеннями (у зоні **С** основні навантаження приходяться на компоненти, що визначають температурно-

вологісний режим). У поле третього компонента такою зоною є зона факторів **С** (рис. 3.33) з навантаженням на відносний вихор швидкості.

У моделях другого порядку із тримісячним і чотиримісячним упередженнями кількість кластерів на території відгуків, на які впливає структура енергетичного стану атмосфери на поверхні 700 гПа, збільшується до трьох. Так, у лютому, на характеристики процесів, які описуються другим головним компонентом у кластерах відгуків **А**, **В** і **С** (рис. 4.7), великий вплив здійснюють атмосферні процеси над Північною Атлантикою, які представлені третім головним компонентом у зонах факторів **С** і **Д** (рис. 3.33), що розташовані над основними ЕАО. До складу цих однорідних зон також входить і зона факторів другого головного компонента **А** (рис. 3.29), відмінною рисою якої є більші навантаження на циркуляційні характеристики.

У ситуації з весняним місяцем березнем у визначенні кінцевого виду рівнянь другого порядку для кластерів відгуків **А**, **В**, **Д** (рис. 4.8) беруть участь середні вектори, які представлені в зонах третього головного компонента **А**, **В**, **Д** (рис. 3.33). Крім цього, для кластера відгуків **Д** (рис. 4.8) такими факторами є репрезентативні вектори в зоні першого головного компонента **С** (рис. 3.25) і в зоні другого головного компонента **С** (рис. 3.29).

**Третій головний компонент.** Як вказувався раніше (розділ опису відгуків) третій компонент у середньому описує 15% загальної дисперсії характеристик процесів взаємодій у приповерхньому шарі повітря. Ця невелика частка свідчить про те, що на формування векторів станів відгуків, процеси, які описуються третім компонентом, мають відносно слабкий вплив. До таких процесів можна віднести ті, які обумовлені місцевими особливостями, наприклад, рельєфом місцевості. У зв'язку з вищевикладеним, надалі будемо представляти опис впливу кліматоутворюючих факторів Північної Атлантики на відгуки у вигляді векторів третього головного компонента, більше стисло, указуючи в основному тільки ті значимі фактори, які впливають на процеси в більшій частині території відгуків (табл. 5.11 – 5.14).

Серед таких факторів у розглянутих *лінійних моделях* мають місце головні компоненти векторів станів у приповерхньому шарі повітря, які визначені в наступних однорідних зонах Північної Атлантики:

- у зоні першого компонента **В** (рис. 3.1) (море Баффіна) – для всіх упереджень і векторів відгуків;

- у зоні другого компонента **С** (рис. 3.5) (області Гренландського Норвезького морів, океанська вода в районі острова Ньюфаундленд, Португальської течії, центру північного антициклонального круговороту) – із завчасністю два місяці (вплив на відгуки в кластерах **В, D, E** (рис. 4.10));

- у зоні першого компонента **D** (рис. 3.1) (область зіткнення холодного Лабрадорської й теплої Північноатлантичної течій) – із завчасністю три місяці (вплив на відгуки в кластерах **С, D, E** (рис. 4.11));

- у зоні другого компонента **В** (рис. 3.5) (області моря Баффіна, прибережні води північної й східної частин Гренландії й острів Шпіцберген) – із завчасністю чотири місяці (вплив на відгуки в кластерах **А, С** (рис. 4.12)).

Значимими членами в лінійних поліномах є також параметри стану атмосфери на поверхні 700 гПа. Особливо цей факт проявляється в кінцевих рівняннях моделі для відгуків у січні, у лютому й у березні, де головні компоненти, які характеризують енергетичний стан атмосфери на поверхні 700 гПа, мають значну вагу.

У січні до складу лінійних поліномів входять репрезентативні вектори третього компонента в зоні факторів **А** (рис. 3.33) – для відгуків у кластері **В** (рис. 4.10) і в зоні факторів **D** (рис. 3.33) – для відгуків у кластерах **А, С, D** (рис. 4.10). Репрезентативні вектори зони факторів **D** і зони **В** (рис. 3.33) присутні також серед значимих членів у поліномі третього ступеня для відгуку в кластері **С** (рис. 4.10).

У лінійній моделі в лютому для відгуку в кластері **А** (рис. 4.11) перші місця по значимості займають середні вектори в однорідних зонах факторів **А** першого головного компонента (рис. 3.25) і другого головного компонента

(рис. 3.29) векторів станів приповерхнього повітря. Основні навантаження в першому головному компоненті приходяться на характеристики температурно-вологісного режиму й геопотенціал, а для другого компонента - на циркуляційні характеристики атмосфери.

Крім цього, інтенсивність відносного вихру швидкості в зоні факторів **B** (рис. 3.33) впливає через поліном першого порядку на формування різниці температур і зональної складової швидкості вітру в кластерах відгуків **C** і **D** (рис. 4.11).

У березні лінійні рівняння, які визначають значення характеристик процесів взаємодії поверхні, що підстилає, і прилягаючого до неї повітря, які описуються третім компонентом, у кластерах Східної Європи містять середні вектори всіх однорідних зон третього компонента поверхні 700 гПа (рис. 3.33). Причому репрезентативні вектори, що мають відношення до зон **B** і **C** (рис. 3.33), також утримуються в поліномах другого порядку для кластерів відгуків **B** і **D** (рис. 4.12).

*В нелінійних моделях* вплив процесів взаємодій атмосфери й поверхні, що підстилає, у Північній Атлантиці на відгуки в кластерах третього компонента визначається, головним чином, репрезентативним вектором першого головного компонента в самій великій однорідній зоні факторів **A** (рис. 3.1) з максимальним середнім значенням і максимальними навантаженнями на температуру повітря в шарі 2 м і поверхні, що підстилає, протягом усього часового інтервалу.

Зонами факторів, які мають трохи меншу вагу в поліномах другого й третього порядку, але також беруть участь у формуванні значень третього компонента відгуків, є:

– для грудня – зона факторів другого компонента **A** (рис. 3.5), з максимальної міжрічної дисперсією й біля нульовим значенням середнього вектора, з навантаженнями на потоки схованого тепла (0,7) і різницю температур (-0,58) (для відгуків у кластерах **A** і **C** (рис. 4.9));

– для січня – зона факторів першого компонента **D** (рис. 3.1) (для відгуків у кластерах **D** і **E** (рис. 4.10), розташованих на заході Чорного і у східній частині Середземне морів) і зона факторів **F** (рис. 3.5) другого компонента з максимальними навантаженнями у векторі станів на різницю температур і зональну складову швидкості вітру, яка представлена осередками в різних частинах Північної Атлантики, у тому числі і на стику Лабрадорської й Північноатлантичної течій, у районах протоки Дейвиса, Північного й Балтійського морів (для відгуків у кластерах **C** і **E** (рис. 4.10));

– для лютого – зона факторів другого компонента **E** (рис. 3.5), з максимальними по величині значеннями середнього вектора й основним навантаженням на поверхневу температуру води, що охоплює області Північноатлантичної течії, моря Лабрадор і центральну частину Норвезького моря (для відгуків у кластері **A** (рис. 4.11)). З такою же завчасністю на відгуки в кластерах **A** і **E** (рис. 4.11) впливають циркуляційні умови в зоні третього компонента факторів **A** (рис. 3.9);

– для березня – зона факторів першого компонента **C** (рис. 3.1), з основними навантаженнями на температуру повітря, температуру поверхні води й різницю температур, що охоплює систему Північноатлантичної – Норвезької течій і море Лабрадор (Ньюфаундлендська й Норвежсько-Гренландська (б) ЕАО) (для відгуків у кластерах **A**, **C**, **E** (рис. 4.12)). Для цього місяця мають місце ще дві зони значимих факторів: зона другого компонента **D** (рис. 3.5), з навантаженнями на різницю температур і потік схованого тепла, – для відгуків у кластері **A** (рис. 4.12) і зона третього компонента **D** (рис. 3.9), з навантаженням на зональну складову швидкості вітру, – для відгуків у кластері **A** (рис. 4.12).

У рівняннях другого порядку з упередженням для лютого наявність векторів другий і третьої головних компонент характеристик стану атмосфери на поверхні 700 гПа в зонах факторів **B** (рис. 3.29) і **D** (рис. 3.33), з навантаженнями на циркуляційні характеристики й масову частку водяної пари,

відповідно, сприяє підвищенню чутливості моделей для кластерів відгуків **B**, **C** і **D** (рис. 4.11). У поліномі для відгуку в останньому згаданому кластері (**D** (рис. 4.11)) також значимим є репрезентативний вектор однорідної зони факторів **C** (рис. 3.25) першого компонента.

Характеристики, що входять до складу векторів станів атмосфери на поверхні 850 гПа, мають значимість серед факторів для відгуків у вигляді середніх векторів третього компонента тільки в поліномах другого й третього порядку. Так з одномісячним упередженням через поліноми другого порядку на потоки схованого тепла в кластерах відгуків **A** і **B** (рис. 4.9), і на різницю температур у кластері відгуків **A** (рис. 4.9) активно впливають процеси, які пов'язані з деформацією поля геопотенціалу й циркуляційними характеристиками в зоні факторів **A** (рис. 3.21), а також циркуляційними характеристиками в зоні факторів **C** (рис. 3.17). Крім зазначеного для кластера відгуків **B** (рис. 4.9), у рівнянні третього порядку більшу значимість має середній вектор зони **D** (рис. 3. 21), з приблизно рівномірно розподіленими навантаженнями між вихідними характеристиками (крім геопотенціалу).

У січні, формування характеристик вітру в кластері відгуків **A** (рис. 4.10) у нелінійній частині моделі істотно залежить від стану атмосфери на поверхні 850 гПа, який описується першим головним компонентом, у зонах факторів **A** і **C** (рис. 3.13). У рівняннях другого й третього порядків для самого масштабного кластера **B** (рис. 4.10) у поле третього компонента взаємодій у приповерхньому шарі повітря, найбільш значимими факторами є репрезентативні вектори однорідних зон **B**, **C** (рис. 3.21) і **C** (рис. 3.13). У таких же рівняннях для відгуків у січневих кластерах **D** і **E** (рис. 4.10) мають велику вагу масова частка водяної пари і відносний вихор швидкості в зоні факторів **A** (рис. 3.17).

З тримісячним упередженням (для лютого) процеси, які характеризуються першим головним компонентом у зоні факторів **C** (рис. 3.13), активно впливають на формування значень середнього вектора кластера відгуків **B** (рис. 4.11) з основними навантаженнями на зональну складову

швидкості вітру й температури поверхні й повітря. У цьому місяці, створенню умов для взаємодій у приповерхньому шарі повітря в кластерах відгуків **C**, **D**, **E**, сприяють температурно-вологісний режим і значення геопотенціалу в однорідній зоні факторів **B** (рис. 3.13) першого головного компонента.

Для відгуків у березні серед значимих репрезентативних векторів, які відбивають енергетичний стан атмосфери на поверхні 850 гПа, і для яких критерій Фишера перевищує критичне значення, можна виділити наступні:

- вектор зони факторів **B** (рис. 3.21) третього компонента, що здійснює внесок у рівняння другого порядку для відгуків у кластерах **B**, **D** (рис. 4.12);
- вектори в зонах факторів **C** (рис. 3.17) другого компонента і **A** (рис. 3.21) третього компонента, що беруть участь у нелінійних поліномах для відгуку в кластері **E** (рис. 4.12).

### 5.3 Оцінка адекватності моделі

Наступним етапом формування математичної моделі відгуків кліматичних характеристик у різних регіонах Східної Європи на процеси енергетичної взаємодії атмосфери й океану в районах Північної Атлантики й північної частини Тихого океану є оцінка її адекватності. Із цією метою були розраховані коефіцієнти множинної кореляції .

Наступним етапом формування математичних моделей для відгуків регіональних кліматів Східної Європи на процеси енергетичної взаємодії атмосфери й океану в Північній Атлантиці є оцінка її адекватності. Із цією метою були розраховані коефіцієнти множинної кореляції. Для факторів, що впливають, у листопаді й відгуків у грудні, січні, лютому й березні вони представлені в табл. 5.15 – 5.17.

Таблиця 5.15 Коефіцієнти множинної кореляції між відгуками в кластерах Східної Європи (1-й головний компонент) і факторами, що впливають, у Північній Атлантиці

Місяць фактору, що впливає	Місяць відгуку	Літера кластера відгуку	З урахуванням внеску обернених зв'язків		Без урахування внеску обернених зв'язків	
			без перерахунку коефіцієнтів	з перерахунком коефіцієнтів	без перерахунку коефіцієнтів	з перерахунком коефіцієнтів
листопад	грудень	<b>A</b>	0,68	0.81	0,52	0.73
		<b>B</b>	0,66	0.75	0,64	0.78
		<b>C</b>	0,50	0.70	0,44	0.74
		<b>D</b>	0,48	0.83	0,39	0.68
	січень	<b>A</b>	0,54	0.77	0,53	0.61
		<b>B</b>	0,31	0.56	0,24	0.63
		<b>C</b>	0,63	0.85	0,62	0.78
		<b>D</b>	0,58	0.75	0,58	0.83
	лютий	<b>A</b>	0.50	0.75	0.47	0.59
		<b>B</b>	0.35	0.64	0.21	0.54
		<b>C</b>	0.13	0.72	0.10	0.34
		<b>D</b>	0.26	0.67	0.26	0.44
	березень	<b>A</b>	0.65	0.85	0.61	0.72
		<b>B</b>	0.40	0.76	0.40	0.56
		<b>C</b>	0.41	0.65	0.19	0.39
		<b>D</b>	0.44	0.57	0.51	0.65

Статистична значимість коефіцієнтів множинної кореляції  $R$  перевірялася за допомогою критерію Стюдента (для вибірок  $n < 50$ ):

$$t = \frac{|z|}{\sigma_z}, \quad (5.8)$$



Таблиця 5.16 Коефіцієнти множинної кореляції між відгуками в кластерах Східної Європи (2-й головний компонент) і факторами, що впливають, у Північній Атлантиці

Місяць фактору, що впливає	Місяць відгуку	Літера кластера відгуку	З урахуванням внеску обернених зв'язків		Без урахування внеску обернених зв'язків	
			без перерахунку коефіцієнтів	з перерахунком коефіцієнтів	без перерахунку коефіцієнтів	з перерахунком коефіцієнтів
листопад	грудень	<b>A</b>	0.44	0.71	0.28	0.44
		<b>B</b>	0.44	0.65	0.28	0.37
		<b>C</b>	0.55	0.70	0.61	0.70
		<b>D</b>	0.40	0.59	0.39	0.53
		<b>E</b>	0.57	0.76	0.57	0.84
	січень	<b>A</b>	0.63	0.81	0.66	0.83
		<b>B</b>	0.52	0.65	0.38	0.45
		<b>C</b>	0.61	0.64	0.56	0.62
		<b>D</b>	0.67	0.80	0.58	0.70
		<b>E</b>	0.59	0.68	0.30	0.37
	лютий	<b>A</b>	0.57	0.78	0.44	0.80
		<b>B</b>	0.56	0.82	0.59	0.76
		<b>C</b>	0.53	0.90	0.51	0.91
	березень	<b>A</b>	0.10	0.79	0.17	0.65
		<b>B</b>	0.31	0.75	0.37	0.56
		<b>C</b>	0.45	0.77	0.34	0.64
<b>D</b>		0.61	0.87	0.59	0.82	

де  $\hat{z}$  - логарифмічне перетворення Фур'є, що підкоряється нормальному закону розподілу

$$\hat{z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+R}{1-R}, \quad (5.9)$$

Таблиця 5.15 Коефіцієнти множинної кореляції між відгуками в кластерах Східної Європи (3-й головний компонент) і факторами, що впливають, у Північній Атлантиці

Місяць фактору, що впливає	Місяць відгуку	Літера кластера відгуку	З урахуванням внеску обернених зв'язків		Без урахування внеску обернених зв'язків	
			без перерахунку коефіцієнтів	з перерахунком коефіцієнтів	без перерахунку коефіцієнтів	з перерахунком коефіцієнтів
листопад	грудень	<b>A</b>	0.66	0.83	0.50	0.69
		<b>B</b>	0.70	0.89	0.68	0.86
		<b>C</b>	0.68	0.84	0.57	0.80
	січень	<b>A</b>	0.41	0.62	0.43	0.54
		<b>B</b>	0.57	0.74	0.32	0.50
		<b>C</b>	0.54	0.88	0.48	0.87
		<b>D</b>	0.45	0.64	0.43	0.68
		<b>E</b>	0.45	0.61	0.47	0.58
	лютий	<b>A</b>	0.65	0.69	0.49	0.64
		<b>B</b>	0.46	0.62	0.45	0.60
		<b>C</b>	0.46	0.73	0.43	0.47
		<b>D</b>	0.41	0.56	0.39	0.74
		<b>E</b>	0.46	0.58	0.47	0.73
	березень	<b>A</b>	0.24	0.61	0.29	0.45
		<b>B</b>	0.53	0.61	0.58	0.73
<b>C</b>		0.18	0.56	0.10	0.44	
<b>D</b>		0.29	0.65	0.41	0.53	
<b>E</b>		0.21	0.53	0.11	0.64	

$\sigma_z$  - середньквдратичний відхил величини  $\hat{z}$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}. \quad (5.10)$$

У результаті нескладних обернених перетворень можна одержати вираження для мінімального значення значимого коефіцієнта множинної кореляції:

$$R_{\min \text{ знач}} = \frac{e^{2t_{кр}(\alpha, \nu)\sigma_z} - 1}{e^{2t_{кр}(\alpha, \nu)\sigma_z} + 1}, \quad (5.11)$$

у нашому випадку для числа ступенів волі  $\nu = 42$  й рівня значимості  $\alpha = 0,05$  (імовірність  $p = 0,95$ ) критичне значення критерію Стюдента  $t_{кр}(\alpha, \nu) = 2,02$ , тоді згідно (5.11) мінімальний значимий коефіцієнт кореляції  $R_{\min} = 0,29$ . З таблиць 5.15-5.17 видно, що при використанні вдосконаленої моделі з перерахунком коефіцієнтів апроксимуючих поліномів, для всіх випадків з урахуванням обернених зв'язків, коефіцієнти множинної кореляції  $t > t_{кр}(\alpha, \nu)$ ,  $R_{\min} = 0,53$ . Це означає, що гіпотеза про статистичну значимість коефіцієнтів множинної кореляції не відкидається. Однак, у деяких випадках без обліку обернених зв'язків присутні коефіцієнти кореляції від 0,34 до 0,39. Відповідно до алгоритму моделі це означає, що внесок факторів, що впливають, у формування модельного результату  $l$ -го рівняння через обернені зв'язки з  $\mu$ -ми рівняннями ( $\mu = \overline{1, k-1}$ ) є істотним і практично повністю визначає кінцеве значення відгуку.

Порівняння коефіцієнтів множинної кореляції показує, що процеси енерго- і масообміну між океаном і атмосферою, що протікають у листопаді, знаходять відгуки в регіональних кліматах Східної Європи з різними упередженнями. При цьому зв'язок факторів, що впливають, з першим й третім складовими процесів взаємодій у регіонах Східної Європи найбільше тісно

проявляється з одномісячним і двомісячним упередженнями, а із другої складової - з трьох- і чотирьохмісячними упередженнями.

## ВИСНОВКИ

При виконанні даної наукової роботи були отримані наступні результати:

1. Застосування методу імовірнісної апроксимації дає можливість отримати систему утворюючих функцій для оцінки на основі статистичних сукупностей факторів і відгуків коефіцієнтів системи лінійної і нелінійної частини рівнянь регресії, а також коефіцієнтів обернених зв'язків.
2. Розроблено універсальний ітераційний метод кластеризації даних (УІМКД). В основу алгоритму УІМКД покладені методи перевірки статистичних гіпотез функцій евклідова відстаней і критеріїв неоднорідності рядів, закони розподілу яких невідомі. Здійснено кластеризація полів вихідних характеристик.
3. За допомогою методів компонентного і кластерного аналізу розроблено комплексний метод конструювання системи факторів, що впливають, у просторі північної Атлантики і відгуків кліматів в регіонах східної Європи на узагальнені характеристики атмосферних процесів в північній Атлантиці. Проведено комплексний аналіз відгуків в кластерах Східно-Європейського регіону.
4. Розроблено критерії оцінки статистичної значущості параметрів моделі. Проведено аналіз статистичної значущості параметра моделі з попередженням 1-4 місяці (впливають фактори в листопаді. Здійснено просіювання факторів).
5. За допомогою стандартних критеріїв проведено оцінку адекватності моделей першого, другого і третього порядку. Порівняння коефіцієнтів множинної кореляції показує, що процеси енерго- і масообміну між океаном і атмосферою, що протікають у листопаді, знаходять відгуки в регіональних кліматах Східної Європи з різними упередженнями. При цьому зв'язок факторів, що впливають, з першим й третім складовими процесів взаємодій у регіонах Східної Європи найбільше тісно проявляється з одномісячним і

двомісячним упередженнями, а із другої складової - з трьох- і чотирьохмісячними упередженнями.

6. На основі великої сукупності полів приземного атмосферного тиску та температури виявлені загальні особливості їх статистичної структури. Визначено динаміку центрів дії атмосфери північної частини Тихого океану (Алеутської депресії та Гонолульського максимуму).
7. Компонентний аналіз полів приземного тиску та температури дав можливість визначити важливі особливості циркуляційних процесів. Більшу частину сумарної дисперсії полів (60%) вичерпують в усі місяці року перші чотири власних значення.
8. За останні 35 років, в досліджуваному регіоні спостерігається поступове посилення центрів дії атмосфери північної частини Тихого океану, які, в свою чергу, формують кліматичні умови не тільки Північної Америки та Азії, але й впливають на клімат інших регіонів північної та південної півкуль.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. *Randall D. A., Wood R. A., Bony S., Colman R., Fichefet T., Fyfe J., Kattsov V., Pitman A., Shukla J., Srinivasan J., Stouffer R.J., Sumi A., Taylor K.* Climate models and their evaluation. In: *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. (Eds: Solomon S., Qin D., Manning M. et al.)
2. *Дымников В. П., Лыкосов В. Н., Володин Е. М.* Моделирование климата и его изменений: Современные проблемы // Вестн. РАН. 2012. Т. 82. С. 227–236.
3. *Жуликов С. Е.* Математическое моделирование краткосрочного прогноза погоды // Вестн. ТГУ. 2009. Т. 14, вып. 5. С. 1021–1026.
4. *Зарипов Р. Б.* Обзор современных методов повышения детализации метеорологических полей // Динамика окруж. Среды и глобал. Изменения климата. 2010. №1. С. 1–11.
5. *Катцов В. М., Мелешко В. П.* Современные приоритеты фундаментальных исследований климата // Тр. ГГО им. А. И. Воейкова. 2008. Вып. 557. С. 3–19.
6. *Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д.* Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
7. *Мелешко В. П., Гаврилина В. М., Мирвис В. М., Матюгин В. А., Пичугин Ю. А., Вавулин С. В.* Гидродинамико-статистический долгосрочный прогноз метеорологических полей по модели ГГО. 2. Результаты оперативных испытаний и перспективы улучшения прогностической схемы // Метеорология и гидрология. 2002. № 10. С. 5–17.
8. *Maqsood I., Khan M. R., Abraham A.* An ensemble of neural networks for weather forecasting. *Neural Computing & Applications*, 2004, vol.13, no 2, pp. 112–

122.

9. *Taylor, J. W., Buizza R.* Neural Network Load Forecasting with Weather Ensemble Predictions. *IEEE Trans. on Power Systems*, 2002, vol. 17 (3). pp. 626-632.

10. *Школьный Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д.* Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. Підручник. – К.: Вища школа, 1999. – С.455-513.

11. *Школьный Е.П.* Многофакторная регрессионная модель физико-статистического метода прогноза погоды // Труды УкрНИГМИ, 1976. – Вып. 134. - С.3-24.

12. *Домрачёв А.Е.* Метеорологические условия формирования микроструктуры тёплых туманов Одессы : Дис...канд.Географ.наук: 11.00.09. – О., 1989. – 177 с.

13. *Серга Е.М.* Результати чисельних експериментів по статистичній моделі динаміки клімату України // Міжвідомчий науковий зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – Вип.48. – С.23-32.

14. Статистичне моделювання клімату України : Звіт з НДР (закл.) / ОДЕКУ. - № держреєстрації 0202U000264. – О., 2003. – 168 с.

15. *Школьный Е.П., Серга Э.Н., Хохолькова Е.А.* Исследование откликов климатических характеристик на территории Украины на процессы в системе «атмосфера-океан» Северной Атлантики // Міжвідомчий науковий зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2002. – Вип.46. – С.13-24.

16. *Lance G. N., Willams W. T.* A general theory of classification sorting strategies. 1. hierarchical systems // *Comp. J.* - 1967. - no. 9. - Pp. 373–380.

17. *Загоруйко Н. Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. - Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 318 с.

18. *Кулаичев А. П.* Методы и средства комплексного анализа данных. - М: ИНФРА- М, 2006. – 276 с.

19. *Лагутин М. Б.* Наглядная математическая статистика. - М.: П-центр, 2003. – 347 с.



20. Уиллиамс У.Т., Ланс Д.Н. Методы иерархической классификации // Статистические методы для ЭВМ / Под ред. М. Б. Малютов. - М.: Наука, 1986. - С. 269–301.
21. Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review // ACM Computing Surveys. - 1999. - Vol. 31, no. 3. - Pp. 264–323.
22. Мандель И. Д. Кластерный анализ.-М.:Финансы и Статистика, 1988. – 339 с.
23. Серга Э.Н. Универсальный адаптивный итерационный метод кластерного анализа // Міжвідомчий науковий зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2003. – Вип.47. – С.83-89.
24. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б. О сходимости распределений статистик и мощности критериев однородности Смирнова и Лемана-Розенблатта // Измерительная техника. 2005. № 12. С. 9-14.
25. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Миркин Е.П. Исследование критериев проверки гипотез, используемых в задачах управления качеством // Материалы VII международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения” АПЭП-2004. Новосибирск, 2004. – Т. 6. – С. 269-272.
26. Лемешко Б.Ю., Помадин С.С. Проверка гипотез о математических ожиданиях и дисперсиях в задачах метрологии и контроля качества при вероятностных законах, отличающихся от нормального // Метрология. 2004. – № 3.- С.3-15.
27. Орлов А.И. О применении статистических методов в медико-биологических исследованиях. - М.: «Вестник Академии наук СССР», 1987.№2. С. 88-94.
28. Орлов А.И. О проверке однородности двух независимых выборок // Заводская лаборатория. – 2003. – Т.69. №.1. – С.55-60.
29. Орлов А.И. Прикладная статистика. - М.: «Экзамен», 2006. – 671 с.
30. Орлов А.И. Состоятельные критерии проверки абсолютной однородности независимых выборок // «Заводская лаборатория. Диагностика материалов».- 2012.Т.78. №.11. – С.66-70.

31. *Крамер Г.* Математические методы статистики.: Пер. с англ.-2-е изд.- М, 1975. – 325 с.
32. *Lehmann E.L.* Consistency and unbiasedness of certain nonparametric tests / *Ann. Math. Statist.* – 1951. V.22. № 1. – P.165-179.
33. *Rosenblatt M.* Limit theorems associated with variants of the von Mises statistic // *Ann. Math. Statist.* – 1952. V.23. – P.617-623.
34. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
35. *Серга Э.Н., Рубан И.Г., Рудич О.С.* Климатическое районирование полей среднемесячной температуры подстилающей поверхности в северной части Тихого океана в зимний период//*Вісник Одеського держ. екологічного ун-ту.*- 2014.-N17.
36. *Климатология / Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева М.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П.*- Л: Гидрометеиздат, 1989. – 567 с.
37. *Лаппо С.С.* Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана / *С.С. Лаппо, С.К. Гулев, А.Е. Рождественский.* – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 335 с.
38. *Андреанова О.Р.* О связи тепловых аномалий в Северной Атлантике и на Европейской территории СССР // *Метеорология и гидрология.* – 1986. - №7. – С. 114-116.