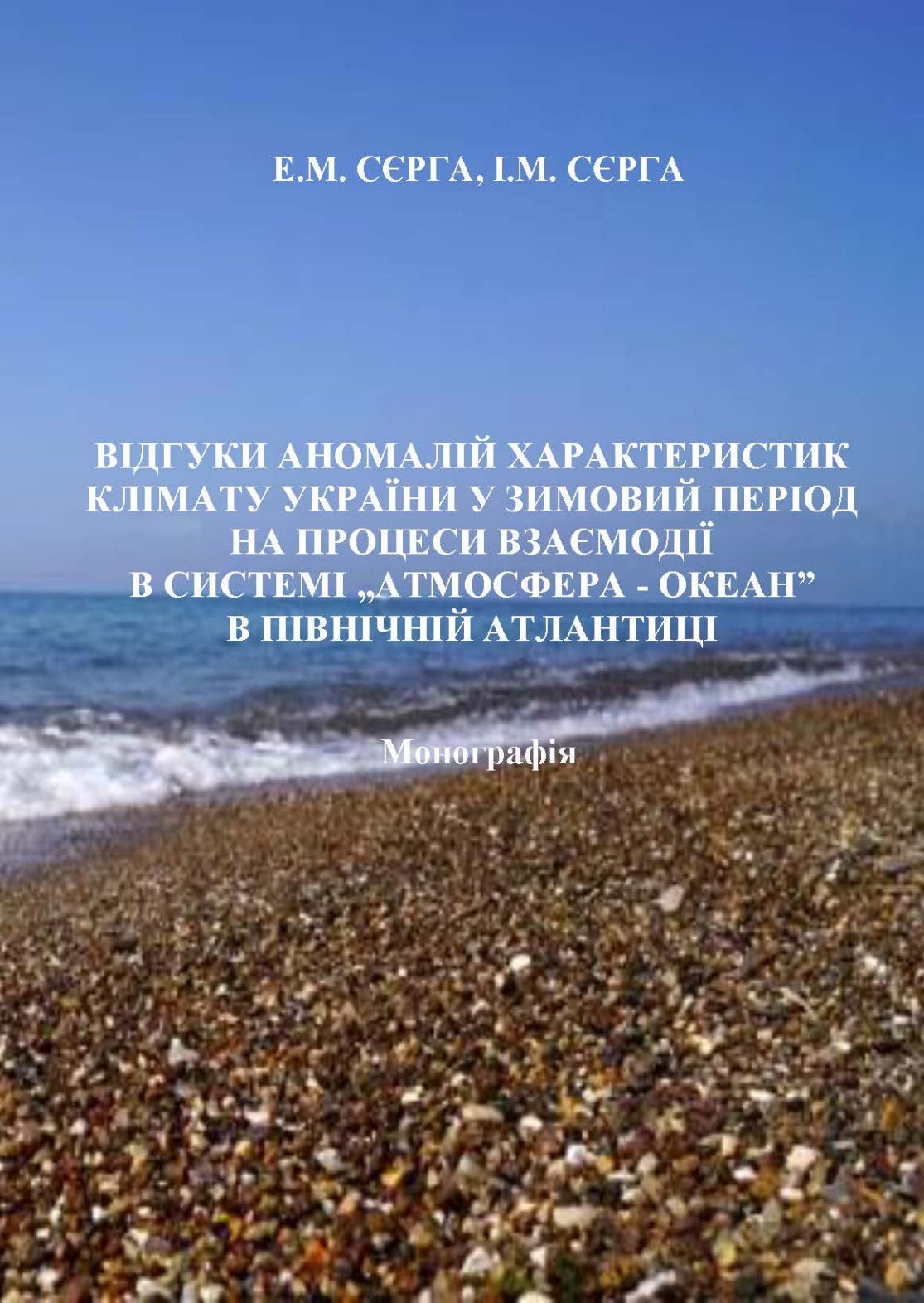




Е.М. СЕРГА, І.М. СЕРГА

**ВІДГУКИ АНОМАЛІЙ ХАРАКТЕРИСТИК
КЛІМАТУ УКРАЇНИ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД
НА ПРОЦЕСИ ВЗАЄМОДІЇ
В СИСТЕМІ „АТМОСФЕРА - ОКЕАН”
В ПІВНІЧНІЙ АТЛАНТИЦІ**

Монографія

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Е. М. СЕРГА, І.М. СЕРГА

**ВІДГУКИ АНОМАЛІЙ ХАРАКТЕРИСТИК
КЛІМАТУ УКРАЇНИ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД НА
ПРОЦЕСИ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ
„АТМОСФЕРА - ОКЕАН” В ПІВНІЧНІЙ
АТЛАНТИЦІ**

Монографія

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2021

УДК 556.166

C32

Серга Е.М., Серга І.М.

C32 Відгуки аномалій характеристик клімату України у зимовий період на процеси взаємодії в системі „атмосфера - океан” в Північній Атлантиці : монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. 136 с.

ISBN 978-966-186-193-9

Взаємодії в системі атмосфера-підстильна поверхня та між шарами атмосфери є процесами, які на великих часових масштабах більшою мірою визначають стан кліматичної системи. За даними досліджень зміни клімату неоднорідні за територією, тому велика увага приділяється вивченню поведінки регіональних кліматів, їх реакції на коливання значень кліматоформуючих факторів. Монографія присвячено вирішенню важливої наукової проблеми встановлення фізико-статистичних закономірностей кліматичних зв'язків між процесами взаємодії у системі атмосфера-підстильна поверхня у Північній Атлантиці й України

Sierha E.M., Sierha I.M.

Response of climate characteristics anomalies for the Ukraine in the winter to the interaction processes in the North Atlantic system “atmosphere-ocean”: monograph. Odesa: Odessa State Environmental University, 2022. 136 p.

Interactions in the atmosphere-underlying surface system and between the layers of the atmosphere are processes that on a large time scale to a greater extent determine the state of the climate system. According to research, climate change is heterogeneous in territory, so much attention is paid to the study of the behavior of regional climates, their response to fluctuations in the values of climate-forming factors. The monograph is devoted to the solution of an important scientific problem of establishing physical and statistical regularities of climatic relations between the processes of interaction in the atmosphere-underlying surface system in the North Atlantic and the Ukraine.

The monograph is intended for a wide circle researchers of climate, as well as students of higher education institutions.

УДК 556.166

Рецензенти:

д.геогр.н., доц. Шевченко О.Г.; к.геогр.н., с.н.с. Коморін В.М.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №6 від 30.06.2021 р.)

ISBN 978-966-186-193-9

© Серга Е.М., д-р геогр. наук, доц.,
Серга І.М., к-т фіз.-мат. наук, доц., 2021

© Одеський державний екологічний
університет, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІДГУКІВ КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ВАРІАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ АТМОСФЕРИ І ОКЕАНУ.....	7
1.1 Структура математичної моделі	7
1.2 Обґрунтування складу діючих факторів	12
2 ПРОЦЕДУРА ПІДГОТОВКИ ДІЮЧИХ ФАКТОРІВ І ВІДГУКІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ СТАТИСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ	21
2.1 Процедури підготовки діючих факторів і аналіз їх статистичної структури	21
2.1.1 Факторний аналіз діючих факторів	21
2.1.2 Статистичний аналіз часових рядів діючих факторів	27
2.2 Підготовка інформації про відгуки	65
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЧИСЕЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	81
3.1 Аналіз статистичної значущості параметрів моделі й її адекватності.....	81
3.1.1 Статистична значущість параметрів моделі.....	81
3.1.2 Оцінка адекватності моделі.....	92
3.2 Результати чисельних експериментів	94
ВИСНОВКИ.....	111
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	114
ДОДАТОК А.....	123

ВСТУП

Процеси, які відбуваються в кліматичній системі, викликають як її природну мінливість, так і реакцію на збурення типу підвищення концентрацій атмосферних парникових газів. При цьому зміни, які відбуваються в кліматичній системі, в свою чергу, також будуть обумовлювати глобальний розподіл парникових газів. Наприклад, Північноатлантичне колювання (ПАК) визначає перенесення антропогенних газів в Арктику. Процеси оберненого зв'язку посилюють або послаблюють реакцію на початкове збурення і, отже, мають велике значення для точного моделювання еволюції клімату.

Основним фактором оберненого зв'язку в системі клімату Землі, який може пояснювати значне потепління, прогнозоване кліматичними моделями у відповідь на підвищення концентрації двоокису вуглецю, є підвищення вмісту водяної пари в атмосфері. Підвищення температури збільшує здатність атмосфери утримувати воду.

Найбільша невизначеність в перспективних оцінках клімату пов'язана з хмарами і їх взаємодією з радіацією. Хмари можуть відбивати сонячну радіацію, поглинати і випускати випромінювання в діапазоні довгих хвиль. Співвідношення між цими процесами залежить від висоти, товщини і радіаційних властивостей хмарності. При цьому вплив на клімат здійснюють і хмари верхнього ярусу. Радіаційні властивості і еволюція хмар залежать від розподілу атмосферної водяної пари, водних крапель, частинок льоду, атмосферних аерозолів. Проте кількісні характеристики в системі хмарність - радіація в даний час відомі недостатньо.

Зміни характеристик підстильної поверхні також утворюють важливі обернені зв'язки, оскільки зміна клімату антропогенного походження впливає на стан земної поверхні (наприклад, на зволоженість ґрунту, альбедо, шорсткість поверхні і рослинний покрив). При цьому такі зміни можуть впливати на глобальний клімат кількома шляхами, наприклад через великомасштабне обезлісування у вологих тропіках, яке призводить до зменшення випаровування і підвищення приземної температури.

Таким чином, одним з основних аспектів, які можна виявити, аналізуючи наведені вище факти, є відмінність у відгуку регіональних кліматів на зміни глобального клімату та клімату в інших географічних районах. Останнє може бути пояснено не тільки регіональними особливостями, а й різним впливом обернених зв'язків, існуючих в кліматичній системі.

Формування аномалій клімату, мінливості параметрів атмосфери необхідно розглядати з урахуванням стану діяльного шару океану, особливо його температури. Океани впливають на розташовану над ними атмосферу головним чином за допомогою перенесення енергії в формі теплової ІК-радіації, явного тепла і тепла фазових перетворень.

Найбільший внесок в енергетику атмосфери робить теплова ІК-радіація, найменший - перенесення явного тепла шляхом турбулентної теплопровідності. Друге місце в енергетичному балансі належить прихованому теплу - за рахунок випаровування. У свою чергу, атмосфера впливає на океан шляхом обміну імпульсом. Цей механізм є основним у формуванні океанічних течій.

Процеси взаємодії в системі океан - атмосфера є надзвичайно складними. При їх вивченні слід розглядати цілу систему діючих факторів. Крім зазначених вище механізмів енергетичного обміну, які визначаються температурою поверхні океану, вертикальними градієнтами температури в приземному шарі повітря і швидкістю вітру, необхідно враховувати типи циркуляційних процесів в атмосфері і океані. Стосовно Північної Атлантиці інтегральною характеристикою циркуляції атмосфери є Північноатлантичне коливання. Однак якщо розглядати часові масштаби в 1 - 2 місяці, то необхідно враховувати той факт, що азорський антициклон і ісландська депресія мігрують в значній мірі по довготі і широті, змінюючись за інтенсивністю. Це дуже впливає на інтенсивність цикло- і антициклогенеза, а також на траєкторії переміщення баричних утворень на Євразійський континент. Індекс ПАК, який є нормованої різницею тиску між Понта-Делгада і Рейк'явіком, не в повній мірі відображає характер циркуляційних процесів на такому часовому інтервалі кліматичної мінливості.

Як показують дослідження, існує статистичний зв'язок на певних часових масштабах між великомасштабними атмосферними осциляціями: ПАК, Північнотихоокеанським коливанням (ПТК), Південним коливанням (ПК) (о. Таїті - м. Дарвін), яке безпосередньо пов'язане з явищем Ель-Ніньо, а також з осциляцією, що добре виявляється в циркуляційних процесах атмосфери в західному секторі Південного океану. Всі перераховані фактори в тій чи іншій мірі впливають на формування глобального і регіональних кліматів, в тому числі і клімату України. Врахувати ступінь впливу кожного з них окремо і в комплексі на регіональні кліматичні характеристики можна, використовуючи методи багатовимірної статистичного аналізу. У цій монографії викладаються результати вирішення цього завдання для території України за допомогою комплексу статистичних моделей. У дослідженні зроблено спробу вивчити особливості погодо- і кліматоутворювальних процесів, які розвиваються в результаті енерго- і масообміну між океаном і атмосферою в Північній Атлантиці, а також відгуки клімату України на основні кліматоутворювальні чинники. Основою для цих досліджень послужила статистична модель у вигляді системи нелінійних регресійних рівнянь третього степеня з оберненими зв'язками. Отримана система утворювальних функцій, які дозволили розрахувати оцінки коефіцієнтів поліномів різних степенів. У створеній моделі для стиснення вихідної

інформації про діючі фактори в районі розташування кораблів погоди був застосований факторний аналіз, який дозволив виявити тенденції в зміні характеристик, що беруть участь в енерго- і масообміні. Реакція клімату в різних регіонах України на процеси в Північній Атлантиці визначалася шляхом використання кластерного аналізу, алгоритм якого розроблений авторами. Проведено ряд експериментів для різних ситуацій в районі Північної Атлантики, можливих внаслідок глобального потепління клімату. Досліджено реакція кліматичних характеристик на території України при подібних процесах. Показано, що модель задовільно описує відгуки кліматичних характеристик в регіонах України на зміни діючих факторів в Північній Атлантиці.

1 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІДГУКІВ КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ВАРІАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ АТМОСФЕРИ І ОКЕАНУ

1.1 Структура математичної моделі

Як і в багатьох інших науках, в метеорології при розробці методів метеорологічних прогнозів, а також при вирішенні завдань фізичного аналізу атмосферних процесів, будуються статистичні моделі, які відбивають взаємозв'язок метеорологічних величин з діючими факторами, у вигляді лінійних рівнянь множинної регресії. Використання в такого роду моделях поліномів першого степеня в певній мірі виправдано тим, що розрахунок коефіцієнтів апроксимуючого полінома більш високих степенів за допомогою методу найменших квадратів має великі обчислювальні труднощі. Однак, з фізичної точки зору, припущення про лінійність взаємозв'язків між параметрами атмосфери навряд чи може знайти переконливе обґрунтування. Тому нелінійні статистичні моделі є більш кращими. Кліматичний режим тієї чи іншої території описується рядом кліматичних характеристик. Ці характеристики, по-перше, обумовлюються в більшості випадків одними і тими факторами і, по-друге, мають статистичний зв'язок один з одним. Ці обставини дають підстави використовувати статистичну модель, яка має вигляд системи нелінійних регресійних рівнянь для опису відгуків параметрів, що характеризують регіональний клімат, на кліматоутворювальні процеси. Принципи побудови такої моделі викладені в роботах [76,77]. Вперше такого роду модель була реалізована при дослідженні особливостей характеристик мікроструктури теплих приморських туманів [36].

Як і в роботах [69,72,79], будемо описувати l характеристик регіонального клімату $\hat{y}_l$, системою нелінійних рівнянь регресії третього порядку виду

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

В них $a_0^{(l)}, a_i^{(l)}, a_{ij}^{(l)}, a_{ijs}^{(l)}$ - коефіцієнти регресії при відповідних степенях діючих факторів x . Останній член рівності (1.1) характеризує внесок обернених зв'язків, тобто статистичних зв'язків між характеристиками регіонального клімату (параметрами на виході моделі). Особливості цих взаємозв'язків визначають коефіцієнти обернених зв'язків α_v .

Діючі фактори x в моделі є ортогональними, центрованими і нормованими. Це дає підставу прийняти гіпотезу про їх нормальний розподіл. Параметри на виході моделі – центровані і нормовані [76,77].

Спочатку передбачається, що структура рівнянь, які складають модель, є однаковою. Надалі ця умова буде знята, оскільки методика побудови моделі містить алгоритми перевірки статистичних гіпотез про значущість діючих факторів і їх степенів. Отже, в кінцевому вигляді структура кожного з рівнянь системи може виявитися абсолютно різною.

Оцінки коефіцієнтів рівнянь моделі (1.1) знаходяться таким чином [76,77]:

$$a_0^{(l)} = - \sum_{p=1}^m a_{pp}^{(l)}, \quad (l = \overline{1, k}), \quad (1.2)$$

$$a_{pp}^{(l)} = \frac{z_{pp}^{(l)}}{2} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k a_v^{(l)} \frac{z_{pp}^{(v)}}{2}, \quad (p = \overline{1, m}), \quad (1.3)$$

$$a_{ps}^{(l)} = z_{ps}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{ps}^{(v)}, \quad (p < s = \overline{1, m}), \quad (1.4)$$

$$a_p^{(l)} = z_p^{(l)} - 3a_{ppp}^{(l)} - \sum_{j=1}^{p-1} a_{jjp}^{(l)} - \sum_{j=p+1}^m a_{pjj}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_p^{(v)}, \quad (p = \overline{1, m}), \quad (1.5)$$

$$a_{ppp}^{(l)} = \frac{1}{6} [z_{ppp}^{(l)} - 3z_p^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} (z_{ppp}^{(v)} - 3z_p^{(v)})], \quad (p = \overline{1, m}), \quad (1.6)$$

$$a_{pss}^{(l)} = \frac{1}{2} [z_{pss}^{(l)} - z_p^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} (z_{pss}^{(v)} - z_p^{(v)})], \quad (p < s = \overline{1, m}), \quad (1.7)$$

$$a_{pps}^{(l)} = \frac{1}{2} [z_{pps}^{(l)} - z_s^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} (z_{pps}^{(v)} - z_s^{(v)})], \quad (p < s = \overline{1, m}), \quad (1.8)$$

$$a_{psr}^{(l)} = z_{psr}^{(l)} - \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} z_{psr}^{(v)}, \quad (p < s < r = \overline{1, m}). \quad (1.9)$$

Зазначені коефіцієнти послідовно розраховуються на основі твірних

функцій [76,77]

$$z_0^{(l)} = a_0^{(l)} + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i \leq j)}}^m a_{ij}^{(l)} M[x_i x_j] = 0, \quad (1.10)$$

$$\begin{aligned} z_p^{(l)} = & \sum_{i=1}^m a_i^{(l)} M[x_i x_p] + \sum_{\substack{i,j,t=1 \\ (i \leq j \leq t)}}^m a_{ijt}^{(l)} M[x_i x_j x_t x_p] + \\ & + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p], \quad (p = \overline{1, m}), \end{aligned} \quad (1.11)$$

$$\begin{aligned} z_{ps}^{(l)} = & a_0^{(l)} M[x_p x_s] + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i \leq j)}}^m a_{ij}^{(l)} M[x_p x_s x_i x_j] + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p x_s], \\ & (p \leq s = \overline{1, m}), \end{aligned} \quad (1.12)$$

$$\begin{aligned} z_{psr}^{(l)} = & \sum_{i=1}^m a_i^{(l)} M[x_i x_p x_s x_r] + \sum_{\substack{i,j,t=1 \\ (i \leq j \leq t)}}^m a_{ijt}^{(l)} M[x_i x_j x_t x_p x_s x_r] + \\ & + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v x_p x_s x_r], \quad (p \leq s \leq r = \overline{1, m}), \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$\begin{aligned} r_{l\mu} = & \sum_{i=1}^m a_i^{(l)} M[y_\mu x_i] + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i \leq j)}}^m a_{ij}^{(l)} M[y_\mu x_i x_j] + \sum_{\substack{i,j,t=1 \\ (i \leq j \leq t)}}^m a_{ijt}^{(l)} M[y_\mu x_i x_j x_t] + \\ & + \sum_{\substack{v=1 \\ (v \neq l)}}^k \alpha_v^{(l)} M[y_v y_\mu], \quad (\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l), \end{aligned} \quad (1.14)$$

У наведених співвідношеннях (1.10) - (1.14) M означає операцію математичного сподівання. Функції (1.10) - (1.14) дають можливість одержати коефіцієнти рівнянь (1.1), які визначаються рівняннями (1.2) - (1.9) за умови, що знайдені коефіцієнти обернених зв'язків. Останні можна визначити, якщо використовувати твірну функцію (1.14) і підставити в її праву частину значення коефіцієнтів з формул (1.2) - (1.10). Тоді отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\sum_{\substack{\nu=1 \\ (\nu \neq l)}}^k A_{\mu\nu}^{(l)} \alpha_{\nu}^{(l)} = B_{\mu}^{(l)}, \quad (\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l) \quad (1.15)$$

або в матричній формі рівняння

$$A^{(l)} \alpha^{(l)} = B^{(l)}. \quad (1.16)$$

У ньому $A^{(l)} = \{A_{\mu\nu}^{(l)}\}_{(k-l), (k-l)}$ - квадратна матриця порядку $(k-l)$ утворюється з k - мірної матриці шляхом виключення стовпця і рядка за номером l . Елементи цієї матриці розраховуються за допомогою співвідношення

$$\begin{aligned} A_{\mu\nu}^{(l)} = & r_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \sum_{p=1}^m \{ [(m+4)z_p^{(\nu)} - \sum_{j=1}^{p-1} z_{jjp}^{(\nu)} - \sum_{\substack{j=p+1 \\ (p < m)}}^m z_{pjj}^{(\nu)}] z_p^{(\mu)} + z_{pp}^{(\nu)} z_{pp}^{(\mu)} + \\ & + \frac{z_{ppp}^{(\nu)} z_{ppp}^{(\mu)}}{3} - z_p^{(\nu)} z_{ppp}^{(\mu)} \} - \frac{1}{2} \sum_{\substack{p,s=1 \\ (p < s)}}^m [(z_{pss}^{(\nu)} - z_p^{(\nu)}) z_{pss}^{(\mu)} + (z_{pps}^{(\nu)} - \\ & - z_s^{(\nu)}) z_{pps}^{(\mu)} + 2z_{ps}^{(\nu)} z_{ps}^{(\mu)}] - \sum_{\substack{p,s,r=1 \\ (p < s < r)}}^m z_{psr}^{(\nu)} z_{psr}^{(\mu)}, \quad (\mu, \nu = \overline{1, k}; \nu, \mu \neq l). \end{aligned} \quad (1.17)$$

В рівності (1.15) $\alpha^{(l)}$ - вектор с координатами

$$\alpha^{(l)} = \begin{pmatrix} \alpha_1^{(l)} \\ \alpha_2^{(l)} \\ \dots \\ \alpha_{l-1}^{(l)} \\ \alpha_{l+1}^{(l)} \\ \dots \\ \alpha_k^{(l)} \end{pmatrix}, \quad (1.18)$$

а $B^{(l)}$ - вектор мірності $(k-l)$

$$B^{(l)} = \begin{pmatrix} B_l^{(l)} \\ B_2^{(l)} \\ \dots \\ B_{l-1}^{(l)} \\ B_{l+1}^{(l)} \\ \dots \\ B_{k-1}^{(l)} \end{pmatrix}, \quad (1.19)$$

координати якого розраховуються за формулою

$$\begin{aligned} B_\mu^{(l)} = & r_{\mu l} - \frac{1}{2} \sum_{p=1}^m \{ [(m+4)z_p^{(l)} - \sum_{j=1}^{p-1} z_{jjp}^{(l)} - \sum_{\substack{j=p+1 \\ (p < m)}}^m z_{pjj}^{(l)}] z_p^{(\mu)} + z_{pp}^{(l)} z_{pp}^{(\mu)} + \\ & + \frac{z_{ppp}^{(l)} z_{ppp}^{(\mu)}}{3} - z_p^{(l)} z_{ppp}^{(\mu)} \} - \frac{1}{2} \sum_{\substack{p,s=1 \\ (p < s)}}^m [(z_{pss}^{(l)} - z_p^{(l)}) z_{pss}^{(\mu)} + (z_{pps}^{(l)} - z_s^{(l)}) z_{pps}^{(\mu)} + \\ & + 2z_{ps}^{(l)} z_{ps}^{(\mu)}] - \sum_{\substack{p,s,r=1 \\ (p < s < r)}}^m z_{psr}^{(l)} z_{psr}^{(\mu)}, \quad (\mu, \nu = \overline{1, k}; \nu, \mu \neq l). \end{aligned} \quad (1.20)$$

З рівності (1.17) випливає, що матриця $A^{(l)}$ - симетрична. Якщо, $|A^{(l)}| \neq 0$, то розв'язання рівняння (1.16), яке надає всі необхідні коефіцієнти обернених зв'язків $\alpha_\nu^{(l)}$, має вигляд

$$\alpha^{(l)} = [A^{(l)}]^{-1} B^{(l)}. \quad (1.21)$$

Таким чином, коефіцієнти системи рівнянь (1.1) є повністю визначеними після розрахунку оцінок моментів

$$z_p^{(l)} = M[\hat{y}_l x_p], \quad (p = \overline{1, m}), \quad (1.22)$$

$$z_{ps}^{(l)} = M[\hat{y}_l x_p x_s], \quad (p, s = \overline{1, m}), \quad (1.23)$$

$$z_{psr}^{(l)} = M[\hat{y}_l x_p x_s x_r], \quad (p, s, r = \overline{1, m}), \quad (1.24)$$

$$r_{l\mu} = M[\hat{y}_l y_\mu], \quad (\mu = \overline{1, k}; \mu \neq l), \quad (1.25)$$

які входять в співвідношення (1.2) - (1.10), (1.11) та (1.20).

1.2 Обґрунтування складу діючих факторів

Регіональні клімати, як складові загального клімату Землі, характеризуються місцевими особливостями взаємодії атмосферних процесів з підстильною поверхнею, властивими певному регіону, шляхом обміну кількістю руху, теплом і вологою. Таке твердження впливає з визначення клімату по М.І. Будико: «Клімат даної місцевості можна визначити як характерний для неї багаторічний режим погоди, зумовлений сонячною радіацією, її перетвореннями в діяльному шарі земної поверхні та пов'язаною з ними циркуляцією атмосфери і океанів» (переклад з російської) [45]. Дослідниками встановлено, що виникаючі турбулентні потоки імпульсу Q_u , прихованого тепла Q_n і явного тепла Q_T визначаються співвідношеннями [51]:

$$Q_u = \rho \overline{w'u'}, \quad (1.26)$$

$$Q_n = L \overline{w's'}, \quad (1.27)$$

$$Q_T = c_p \rho \overline{w'T'}, \quad (1.28)$$

де

ρ - густина повітря;

w', u' - пульсації вертикальної і горизонтальної компонент швидкості вітру;

s' - пульсація масової частки водяної пари;

T' - пульсація температури повітря;

L - питома тепло випаровування;

c_p - питома теплоємність повітря при постійному тиску.

Так як пульсації представлених метеорологічних величин неможливо виміряти, для одержання значень зазначених потоків (1.26) - (1.28) застосовуються напівемпіричні співвідношення (1.29) - (1.31) [51]:

$$Q_u = c_u \rho u^2, \quad (1.29)$$

$$Q_n = c_n L \rho \frac{0.622}{p} [E_0 - e_z] u, \quad (1.30)$$

$$Q_T = c_T c_p \rho (T_g - T) u, \quad (1.31)$$

в яких

T_g - температура поверхневого шару води;

E_0 - насичуючий парціальний тиск пари при температурі T_g ;

e_z - парціальний тиск пари;

u - швидкість вітру у поверхні води;

p - атмосферний тиск;

c_u, c_n, c_T - коефіцієнти обміну імпульсом, вологою і теплом.

При практичній реалізації цих формул приймається гіпотеза про рівність коефіцієнтів обміну, хоча, як показали дослідження [51], вони розрізняються, однак ці відмінності несуттєві. Характеристики обміну, розраховані за формулами (1.29) - (1.31.), осереднюються за часом. Часовий масштаб осереднення залежить від цілей дослідження. Якщо необхідно одержати достовірні режимні характеристики тепло- і вологообміну, описати на кількісному рівні їх річний хід і міжрічні відмінності, то слід розглядати зазначені параметри атмосфери і океану з місячними осередненнями. При дослідженнях просторових відмінностей великомасштабних потоків тепла краще аналізувати дані, які визначають сезонний хід і міжрічну мінливість. Це дає можливість виділити ту частину потоків, яка обумовлена великомасштабними процесами. Співвідношення сезонної і кліматичної компонент потоків тепла різне в різних широтах. У високих і низьких широтах кліматична складова в 2-5 разів перевищує сезонну. У середніх широтах вони мають однакове значення. Оскільки в цих широтах тепловіддача найбільша, врахування теплообміну, пов'язаного з сезонним ходом, має велике значення [50,51]. Енергетична взаємодія між океаном і атмосферою на масштабах, порівнянних з сезонним ходом, має важливу особливість. Вона полягає у тому, що виникають амплітудно-фазові відмінності характеристик тепла атмосфери і океану. Дослідження показали, що має місце випередження в річному ході термічних і вологісних характеристик океану термічними і вологісними характеристиками атмосфери. Запізнення по фазі температури води щодо температури повітря становить в середньому по Світовому океану 25-30 діб [50,51].

Випередження за фазою термічними і вологісними характеристиками атмосфери аналогічних параметрів поверхні океанів має сприяти виникненню сезонних потоків, які мають напрямок від атмосфери до океану. Однак, оскільки $T_g > T$ і $E_0 > e_z$, цей потік, як зазначено в роботі [51], є, по суті, «поток холод» з атмосфери в океан. Йому відповідає

потік тепла в зворотному напрямку. Термін «потік холоду» характеризує фізику процесу сезонного теплообміну, де активну роль грає атмосфера. Обмін теплом і імпульсом між атмосферою і океаном великою мірою визначає ступінь пристосування циркуляції повітряних мас до характеристик океанічної поверхні. В роботі [51], в якості міри пристосування розглядається взаємне розташування вектора вітру над водною поверхнею, який відбиває напрямок перенесення і генезис повітряних мас, і вектора швидкості великомасштабних океанічних течій, який визначає градієнти температури поверхневих вод океану і розташування основних гідрологічних фронтів. Воно характеризується векторним добутком:

$$G = [\vec{V}_a \times \vec{V}_e], \quad (1.32)$$

де

$\vec{V}_a$ і $\vec{V}_e$ - вектори швидкості вітру і течії.

Коли вектор приводного вітру колінарен з напрямком течії, характеристики повітря швидко пристосовуються до властивостей поверхні води, і навіть при значних швидкостях вітру не створюється умов для появи аномально високих значень потоків тепла. Навпаки, якщо повітряна маса переміщається перпендикулярно до фронту, в безпосередній близькості від нього утворюються великі вертикальні градієнти метеорологічних величин в приводному шарі. Вони призводять до виникнення екстремальних значень енергообміну. Дослідження показують [50,51], що максимальні значення потоків тепла і вологи спостерігаються в районах розташування Гольфстріму і Північноатлантичної течії. Таким чином, при описі кліматичних потоків на межі між океаном і атмосферою найбільш важливою характеристикою є великомасштабні температури та вологості контрасти в приводному шарі, які утворюються в процесі взаємодії зональної атмосферної циркуляції з полями великомасштабних градієнтів фізичних величин поблизу поверхні океану. Переважаючі циркуляційні процеси, які визначають умови формування регіонального клімату України в цілому і окремих її територій, формуються над Північною Атлантикою і пов'язаними територіями, і отже залежать від характеру процесів взаємодії атмосфери з поверхнею океану і прибережних морських акваторій. Розглянуті вище особливості процесів взаємодії в системі океан-атмосфера дають підстави для вибору в якості діючих факторів такі характеристики цих складових системи, як T_e - температура поверхні води в різних районах Північної Атлантики, T - температура приводного повітря, різницю температур вода-повітря ΔT , швидкість вітру u .

Велика увага в роботах, пов'язаних з дослідженнями змін і коливань клімату, приділяється коливальним механізмам термобаричних взаємодій в системі океан-атмосфера, які називаються Північноатлантичним колюванням [43,74,87,94,104,105]. Воно визначає собою періодично мінливі за величиною аномалії тиску в атмосфері Північної Атлантики і характеризується різницею тиску в азорському максимумі і в ісландській депресії. З аномаліями різниці тиску, які приводять до зміни меридіонального горизонтального градієнта тиску, пов'язані зонально-орієнтовані контрасти зимових температур між Гренландією і Європейським континентом, в також виникнення додатних аномалій тепла над Європою з інтенсивними опадами. Як показують дослідження, ПАК має дво-, шести- і квазідесятирічну періодичність [119]. З останньої пов'язують десятирічну періодичність в колюваннях клімату на Європейському континенті [93,100,114]. Розглядаються дві фази ПАК – «позитивна» і «негативна». При «позитивній» фазі великими є меридіональні градієнти тиску взимку над Північною Атлантикою, так як ісландська депресія значно поглиблюється, а азорський антициклон посилюється. При «негативній» фазі вони послаблюються, а центр азорського антициклону переміщається на схід до берегів Північної Африки. Ці процеси визначають характер бароклинності, розташування і інтенсивність західно-східного переносу в середній тропосфері, а отже і траєкторії циклонічних вихорів і їх інтенсивність. Приклад яскраво вираженої «позитивної» фази ПАК наводиться в роботі [51]. У січні 1984р. тиск в центрі азорського максимуму був вище на 12-15 гПа, а в центрі ісландського мінімуму - нижче на 6-10 гПа в порівнянні з середніми багаторічними. Різниця тиску в центрах склала 45-47 гПа, що на 20 гПа вище середньої багаторічної. Крім того, центр азорського антициклону зсунувся на північ, що характерно для «позитивної фази», на 5-7° широти. У зв'язку з цим, меридіональний градієнт тиску в січні - лютому 1984р. досяг 1,6-1,9 гПа/°широти при кліматичному значенні 0,8-0,9 гПа/°широти. Це призвело до значного посилення зонального перенесення, збільшення повторюваності циклонічних ситуацій до 68%. (Повторюваність антициклональної ситуацій склала 32%). Аналогічна ситуація мала місце і в грудні 1983р. Умови теплообміну між атмосферою і океаном при розглянутих процесах представлені в таблиці 1.1 [51].

З таблиці 1.1 випливає, що вертикальний температурний ($T_g - T$) і вологісний ($E_0 - e_z$) градієнти в приводному шарі при антициклональному режимі в 5-10 разів більше, ніж при циклонічній, а швидкість вітру в 2 рази менше. В результаті цього, потоки явного і прихованого тепла збільшуються при антициклонічній циркуляції в 4-7 разів. Якщо врахувати повторюваність цих типів циркуляції, то антициклонічні умови призвели до передачі в атмосферу 70% явного і 55% прихованого тепла і до 60% сумарної тепловіддачі [51]. Отже, можна

прийти до висновку, що в період розвитку «позитивної» фази ПАК повітря в циклонічних вихорах знаходиться в стані максимального насичення водяною парою. Це призводить до того, що зима на європейській території Євразійського континенту стає м'якою з великою кількістю опадів.

Таблиця 1.1 – Статистичні характеристики параметрів взаємодії океану і атмосфери при типі циркуляції, яка спостерігалася взимку 1983-84 рр. [51]

Параметр	Атмосферна ситуація			
	циклонічна		антициклонічна	
	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x
$(T_g - T), ^\circ C$	0,6	1,1	9,1	2,7
$(E_0 - e_z), гПа$	2,3	2,1	11,8	1,9
$u, м/с$	13,4	5,7	6,3	2,1
$Q_T, Вт/м^2$	21	29	134	36
$Q_n, Вт/м^2$	64	42	258	61

Процеси меридіонального перенесення і обміну повітрям між океаном і континентами пов'язані з безперервним перетворенням енергії в атмосфері. Характер цих перетворень в атлантико-європейському секторі різний при різних фазах ПАК. В роботі [74] розглядаються інтегральні запаси кінетичної і доступної лабільною енергії для позатропічних широт Північної півкулі, а також середнєширотної їх величини для 2° широтних кіл на північ від 30° півн.ш. Ці дані порівнювалися з характеристиками ПАК при його різних фазах [94,104,105,120]. Основний максимум кінетичної енергії відзначається взимку близько 30° півн.ш., в той час як найбільше значення доступної лабільною енергії - близько 50° півн.ш. В деякі зими виникає вторинний максимум цієї енергії поблизу 60° півн.ш. Наявність або відсутність його залежить від фази ПАК. Спільний аналіз інтегральних вихрових енергій і індексів ПАК показує, що вплив на перетворення енергії в атмосфері не завжди в повній мірі є певним.

Розглянуті особливості фаз ПАК та їх вплив на процеси формування кліматичного режиму над Європейським континентом дають підставу включити характеристики ПАК в число діючих факторів, які містяться в моделі. Такими характеристиками є: довгота і широта центру ісландського мінімуму λ_L і φ_L , азорського максимуму λ_H и φ_H , різниця тиску в їх центрах ΔP , а також загальноприйнятий індекс ПАК - δp_A . Останній являє собою аномалії різниці тиску, нормовані на середньоквадратичне відхилення в пунктах Понта-Делгада і Рейк'явік.

Циркуляційні процеси в атмосфері різних регіонів Північної півкулі пов'язані між собою. Визначальні їх умови тепло- і вологообміну в Північній Атлантиці, є важливим фактором формування кліматичного режиму Європи. Однак вплив Атлантики поширюється, як відомо і на більшу частину Євразійського континенту. З іншого боку, на розвиток циркуляційних процесів, над Північною Атлантикою, особливо в холодний період, надають погода і кліматоутворювальні умови, які виникають на Північноамериканському континенті. Вони, в свою чергу, як показано в роботі [74], залежать від фаз Північнотихоокеанського коливання (ПТК). У зв'язку з цим, зазначений вище склад діючих факторів доповнюється індексом ПТК - δp_T .

Слід зауважити, що ПАК та ПТК не є єдиними коливальними механізмами термобаричних взаємодій в системі океан-атмосфера. В роботі [118] наводиться характеристика Арктичної осциляції, яка представляє собою періодичне посилення і ослаблення арктичного максимуму атмосферного тиску. Ослаблення його пов'язане з посиленням циклонічної діяльності над Арктичним басейном, підвищенням температури повітря, збільшенням опадів. У теплий період відбувається розширення зони відкритої води, а отже збільшується акумуляція тепла. Це, в свою чергу, призводить до зменшення обсягів льоду, який утворюється взимку. Зростає водообмін і льодообмін через протоку Фрама, що посилює опріснення в Північно-Європейському басейні і надходження атлантичних вод в Арктичний басейн.

В роботі [109] наводяться характеристики ще одного коливального механізму термобаричних взаємодій. Йдеться про так звану Північноморську-Каспійську телеконекцію (North Sea-Caspian Pattern), яка впливає на розвиток атмосферних процесів в Центральній і Східній Європі, а також на Близькому і Середньому Сході. Особливою коливальною структурою в системі океан-атмосфера є валкерівська циркуляція, яка безпосередньо пов'язана з Ель-Ніньо - Південним коливанням (ЕНПівдК). Валкерівський осередок є зональною циркуляцією в екваторіальній області, керовану температурним градієнтом океану. Повітряні маси північно-східного пасату над Тихим океаном переміщуються з більш холодних східних акваторій океану в західному напрямку, де вони прогріваються, збагачуються вологою, піднімаються вгору, в області екваторіальної улоговини і переносяться в протилежному напрямку. Циркуляція Валкера безпосередньо пов'язана з так званим Південним коливанням (ПівдК). Інтегральною кількісною характеристикою ПівдК (індексом ПівдК) служить перепад тиску між Таїті і м.Дарвін. В роботі [107] ПівдК розглядається як атмосферні флуктуації, пов'язані зі зміною додатних і від'ємних аномалій температури поверхневих вод в екваторіальній частині Тихого океану. Додатні аномалії проявляються нерегулярно, тримаються протягом 12-18 місяців і

досягають значних величин. Наприклад, в 1982 р в океані під впливом атмосферних впливів в екваторіальній зоні сформувалася тепла температурна аномалія, яка переносилася до східної периферії Тихого океану на рівні термокліна і досягла поверхневих шарів в листопаді-грудні 1982 г. У берегів Чилі аномалія температури склала 4°C [49,110].

Додатні аномалії температури в східній приекваторіальній частині Тихого океану, які мають назву Ель-Ніньо (ЕН), пов'язані з певними атмосферними явищами [50,51]. По-перше, формується аномальний атмосферний тиск над Австралійсько-Індонезійським регіоном, який поєднується з ослабленням субтропічного максимуму в південно-східній зоні Тихого океану. Така структура поля тиску відноситься до «негативної» фази ПівдК.

По-друге, відбувається ослаблення або зміна напрямку східних вітрів в екваторіальній частині Тихого океану, яке викликає збій в середнєкліматичному зональному осередку циркуляції. По-третє, відбувається різке збільшення опадів в екваторіальних районах на схід від 160°сх.д. По-четверте, проявляються глобальні наслідки в позатропічних широтах, які характеризуються поглибленням і зміщенням на південь алеутського мінімуму в зимовий сезон Північної півкулі. Слід підкреслити, що в цей сезон алеутська депресія відіграє велику роль у розвитку ПТК.

Як показує Вірткі [122] і ряд інших дослідників [108,112,113], Ель-Ніньо тісно пов'язане з Південним коливанням. Великий інтерес представляють часові інтервали Ель-Ніньо - Південного коливання. Як випливає з [89], відзначається висока когерентність між уздовж екваторіальним градієнтом тиску і різницею тиску на лінії Таїті-Дарвін з періодом 40-60 місяців при зсуві фаз між о.Пасхі і Дарвіном в 8 місяців. Інші дослідники наводять дані про різну періодичність ЕНПівдК. Однак всі вони укладаються в інтервал від 2 до 8 років.

У роботах [108,112,113] наводяться дані про глобальні відгуки на ЕНПівдК, а саме про його вплив на атмосферні процеси в Індійському океані і Атлантиці. Процеси, пов'язані з взаємодією в системі ЕНПівдК, і вплив цих процесів на глобальну атмосферну циркуляцію покладені в основу ідейної частини проекту короткоперіодних коливань клімату "Tropical Ocean and Global Atmosphere (TOGA)" [51]. Таким чином, природною є спроба включити в число діючих факторів у розглянутій математичної моделі індекс ЕНПівдК - $\Delta p_{\text{ен}}$.

Індекси ПАК, ПТК, ЕНПівдК – це статистичні ряди цих характеристик з певною дискретністю. Аналогічний вид мають ряди довготи λ і широти φ азорського і ісландського центрів дії атмосфери. Значно складніше з питанням про значення параметрів, які визначають тепло- і вологообмін між поверхнею океану і атмосферою в акваторії Північної Атлантики: температурою води T_e , температурою приводного

повітря T , різниці температур повітря-вода $\Delta T = T - T_e$ і швидкістю вітру u , оскільки ці характеристики змінюються не тільки в часі, але і в просторі. Розглянуті вище процеси тепло- і вологообміну свідчать про те, що необхідно мати відомості про режим цих характеристик в різних регіонах Північної Атлантики, які включають в тому числі Ньюфаундлендську і Північноатлантичну енергоактивні зони океанів [1,32,33,57,58,61, 87,121], зони розташування осей Північноатлантичної теплої течії, Східногренландської і Лабрадорської холодних течій і, отже, океанських фронтів.

З метою формування статистичних рядів перерахованих вище діючих факторів, в зазначених акваторіях Північної Атлантики були використані дані спостережень мережі кораблів погоди [71]. Схема їх розташування в Північній Атлантиці представлена на рисунку 1.1

Вимірювання вище зазначених фізичних параметрів проводилися на кораблях погоди з 1953 по 1974 рр [71]. Як зазначалося вище, з точки зору вивчення коливальних процесів в кліматичній системі необхідно для середніх і високих широт спиратися на характеристики теплообміну, пов'язаного з сезонним ходом. Тому в основу покладені середньомісячні значення цих характеристик.

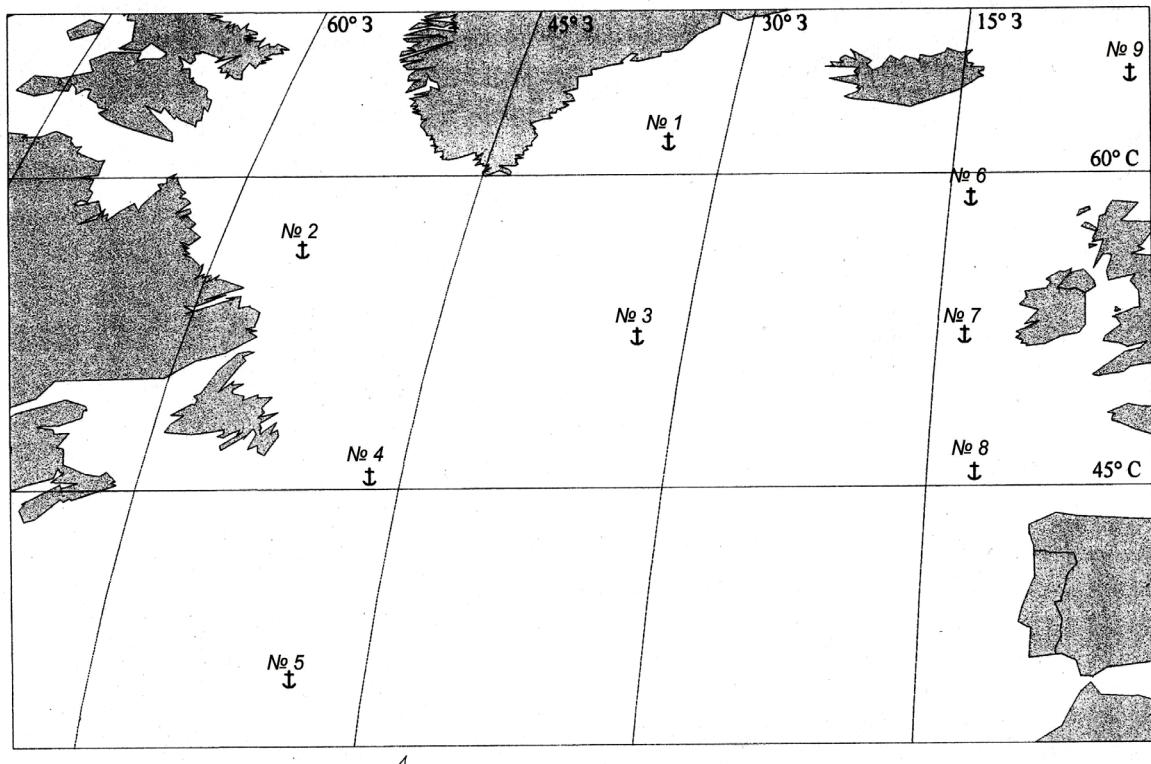


Рисунок 1.1 – Схема розташування кораблів погоди в Північній Атлантиці

Даних про діючі фактори за зазначений період для побудови моделі виявилось недостатньо. Для збільшення довжини рядів були використані дані NASA [92] об'єктивного аналізу полів цих характеристик, визначених

на регулярній 2-градусної сітки точок за період з березня 1980 по листопад 1992 рр. З них вибиралися вузли, географічні координати яких близькі до координат місць розташування кораблів погоди. Таким чином, вдалося збільшити довжину рядів середньомісячних значень даних фізичних параметрів 1980 до 1992 рр. включно. Проміжні значення діючих факторів з 1975 по 1979 рр. були відновлені за допомогою методу Монте-Карло [59].

Як відомо, в найбільш яскравій формі кліматичні зміни і коливання проявляються в зимові місяці. Тому модель будувалася для зимових місяців. Не тривіальним є питання про те, з яким випередженням за часом для характеристик клімату України необхідно брати діючі фактори для розрахунку параметрів моделі (1.1). Як впливає з роботи [34], відгуки процесів, які розвиваються над акваторією Північної Атлантики, на кліматоутворювальні чинники над Євразійським континентом проявляються в середньому для території Росії через 4 місяці. Андріановою О.Р. [3] були проведені дослідження зв'язку теплових аномалій в Північній Атлантиці і їх проявів безпосередньо на території України. Розглядалися теплові аномалії на поверхні вод в енергоактивних зонах Гольфстріму і Ньюфаундленду. З метою визначення ступеня узгодження їх з температурним режимом в Україні було проведено взаємний спектральний аналіз в зимовий період рядів температури поверхневих вод в зазначених акваторіях океану і температури повітря по трьом пунктам України: Одесі, Києву та Харкову. Встановлено, що поява аномалій в районах Гольфстріму і Ньюфаундленду відбивається в районах України через 1-3 місяці. Було показано, що найбільш значні аномалії температури води мають місце в холодну пору року: грудень-січень. Ці результати досліджень стали підставою для формування сукупностей діючих факторів в математичної моделі саме за грудень, а масиви відгуків кліматичних характеристик на території України - за лютий. Для порівняння були розглянуті і взаємодії з місячним випередженням, тобто процеси в акваторії Атлантики в грудні і їхні відгуки в Україні в січні.

Як зазначено в роботах [76,77], на діючі фактори і відгуки при побудові моделі накладається ряд умов. Тому перед проведенням розрахунків параметрів рівнянь моделі за наведеним вище алгоритмом, необхідно провести деякі процедури перетворення вихідних діючих факторів, щоб вони задовольняли поставленим вимогам.

2 ПРОЦЕДУРА ПІДГОТОВКИ ДІЮЧИХ ФАКТОРІВ І ВІДГУКІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ СТАТИСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ

2.1 Процедури підготовки діючих факторів і аналіз їх статистичної структури

2.1.1 Факторний аналіз діючих факторів

Однією з вимог, що пред'являються до діючих факторів, є їх ортогональність [76, 77]. Крім того, при побудові статистичних моделей завжди прагнуть здійснити процедуру стиснення інформації про діючі фактори, що зменшує громіздкість моделей і дозволяє одержати більш достовірні значення її параметрів.

З метою стиснення інформації про діючі фактори, які представляють собою безпосередні характеристики тепло- і волого обміну, перед включенням їх в модель був використаний факторний аналіз [53], у якому фізичні змінні x_i представляються у вигляді:

$$x_i = \sum_{j=1}^k P_{ij} f_j + v_i, \quad (i = \overline{1, n}), \quad (2.1)$$

де

f_j – узагальнені фактори,

P_{ij} – ваги загальних факторів у змінних (факторні навантаження),

v_i – залишки.

При цьому $k \ll n$. Узагальнені фактори незалежні, з одиничною дисперсією та нульовим математичним очікуванням, залишки також незалежні і мають дисперсію d_i .

Зазначені особливості цих елементів факторного аналізу приводять до того, що матрицу коваріацій фізичних змінних можна записати у вигляді:

$$K = PP' + D, \quad (2.2)$$

де

P – матриця ваг мірності $n \times k$,

D – n - мірна діагональна матриця дисперсій залишків,

$(\prime)$ – означає операцію транспонування.

Перелічені особливості зазначених факторних характеристик дають

можливість за допомогою матричної рівності

$$F = (E + N)^{-1} P' D^{-1} X, \quad (2.3)$$

де

E – одинична матриця,

X - n – мірний вектор вихідних фізичних величин,

розрахувати значення $k \times n$ мірної матриці узагальнених факторів F .

Квадратна матриця N мірності k визначається за допомогою рівності

$$N^2 = P' D^{-1} (K - D) D^{-1} P, \quad (2.4)$$

де

K - вибіркова матриця коваріацій.

Факторні ваги та дисперсії залишків розраховувалися для грудня, січня та лютого у зазначених вище регіонах Північної Атлантики (рис.1.1).

У подальшому узагальнені фактори одержані в грудні використовувалися як предиктори на вході в модель, а в січні та лютому тільки, для опису ситуацій розвитку процесів взаємодії атмосфери й океану у Північній Атлантиці. У такому ж порядку були проаналізовані результати використання факторного аналізу до вказаних фізичних параметрів стану атмосфери та поверхневого шару океану. Крім цього, процеси у грудні проаналізовано окремо.

За розрахунками, у грудні, 90% дисперсії температур повітря і поверхневих вод, різниці цих температур та швидкості вітру у районах розташування кораблів погоди №№ 1-3, 5-9 обумовлюють два узагальнених фактори $F1$ й $F2$. Тільки в районі розташування корабля №4 найбільшу частину дисперсії спричиняє один узагальнений фактор $F1$.

Ваги узагальнених факторів для грудня, січня та лютого в змінних містяться у таблиці 2.1-2.3.

З таблиці 2.1 випливає, що мають місце певні закономірності в розподілі ваг узагальнених факторів. Великі додатні ваги при різниці температур ΔT і при температурі повітря T , перший узагальнений фактор має в районах Північної Атлантики, які відносяться до середніх і високих широт (кораблі №№1, 2, 3, 6, 7 і 9), тобто, де спостерігаються найбільш значні контрасти між температурами поверхні океану і повітря, і, отже, де процеси обміну теплом і вологою між океаном і атмосферою найбільш інтенсивні. Температура води T_e , характеризується головним чином другим фактором $F2$. В центральній частині Північної Атлантики, де циркуляційні процеси в атмосфері і океані обумовлені великим анти

циклонічним колообертом (кораблі №5 і №8), найбільшу вагу з від'ємним знаком в різницю температур вносить другий узагальнений фактор $F2$, а в температуру води T_{ϵ} – перший узагальнений фактор $F1$, але вже з додатним знаком. В швидкість вітру зі значною вагою входить другий узагальнений фактор $F2$ (кораблі №№ 1,5,7,9).

Таблиця 2.1 – Ваги узагальнених факторів у фізичних змінних, (грудень)

Фізична змінна	Фактор	Номер корабля погоди								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔT	$F1$	0,89	0,95	0,94	0,80	0,16	0,8	0,99	-0,07	0,95
	$F2$	-0,33	-0,02	-0,24	-	-0,87	-0,45	-0,04	-0,97	-0,11
T	$F1$	0,92	0,86	0,82	0,97	0,91	0,96	0,81	0,57	0,99
	$F2$	0,37	0,45	0,50	-	-0,40	0,03	0,56	-0,81	0,1
T_{ϵ}	$F1$	0,24	0,06	0,07	0,65	0,94	0,02	0,06	0,88	0,52
	$F2$	0,88	0,99	0,99	-	0,23	0,93	0,91	-0,18	0,62
u	$F1$	0,18	-0,78	-0,69	-0,77	0,07	0,21	-0,12	-0,74	-0,16
	$F2$	-0,69	-0,02	-0,25	-	0,7	-0,50	-0,72	-0,00	0,88

Таблиця 2.2 – Ваги узагальнених факторів у фізичних змінних, (січень)

Фізична змінна	Фактор	Номер корабля погоди								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔT	$F1$	0,78	0,9	0,78	0,92	0,78	0,98	0,94	-0,16	0,91
	$F2$	-0,43	-	-	-0,22	-	-0,12	0,06	-0,9	0,2
T	$F1$	0,99	0,97	0,97	0,76	0,99	0,96	0,69	0,4	0,99
	$F2$	-0,12	-	-	0,59	-	0,21	0,72	-0,66	-0,11
T_{ϵ}	$F1$	0,7	0,53	0,69	-0,2	0,64	-0,01	-0,23	0,9	0,48
	$F2$	0,41	-	-	1,00	-	0,84	0,94	0,18	-0,71
u	$F1$	-0,07	-0,69	-0,69	-0,74	-0,33	-0,06	-0,59	-0,58	0,37
	$F2$	0,85	-	-	-0,14	-	-0,74	0,17	0,22	0,73

Як свідчать дані, які приведені в табл.2.1 - 2.3, у грудні, січні та лютому відбиття процесів взаємодії в узагальнених факторах має різну структуру. Стосовно принципів факторного аналізу кількість одержаних факторів та ваги при них мають два смислових навантаження, а саме

різноманітність умов формування зазначених параметрів стану атмосфери та океану й наскільки повно ці параметри описують процеси взаємодії двох середовищ, які виражені в узагальнених факторах. Наприклад, великі ваги факторів при всіх параметрах символізують вичерпність опису процесу взаємодії та його єдність. При цьому, якщо знаки при вагах додатні й значення факторів теж додатні, параметри стану збільшуються, процес може приводити до збільшення бароклінності атмосфери.

Таблиця 2.3 – Ваги узагальнених факторів у фізичних змінних, (лютий)

Фізична змінна	Фактор	Номер корабля погоди								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔT	$F1$	0,94	0,95	0,94	0,95	0,81	0,98	0,78	0,64	0,94
	$F2$	-0,15	-0,03	-0,13	-0,03	-	-0,11	-	0,63	-0,29
T	$F1$	0,96	0,88	0,82	0,74	0,97	0,95	0,99	0,96	0,92
	$F2$	0,24	0,44	0,5	0,64	-	0,28	-	0,26	0,14
T_e	$F1$	0,23	-0,04	0,02	-0,01	0,73	0,08	0,69	0,85	0,0
	$F2$	0,87	0,97	1,0	1,0	-	0,84	-	-0,26	0,96
u	$F1$	-0,41	-0,78	-0,73	-0,84	-0,58	-0,03	-0,22	-0,07	0,55
	$F2$	0,53	0,25	-0,07	-0,1	-	-0,69	-	0,88	0,36

Виходячи з такого розуміння результатів проведеного факторного аналізу параметрів взаємодії можна зробити висновок про їх внутрішньосезонні (місячні) відмінності. Так в січні формування параметрів у районі розташування кораблів погоди №№2,3,5 обумовлюється одним фактором, а №№1,4,6,7,8,9 – двома. У лютому ситуація змінюється: у районі кораблів №№5,7 обумовлюється одним фактором, а №№1,2,3,4,6,8,9 – двома. Таким чином, враховуючі дисперсії залишків, можна стверджувати, що найбільш стабільні процеси у грудні відбуваються в районі Ньюфаундлендської банки (Ньюфаундлендська енергоактивна зона, корабль №4), у січні – в районах Лабрадорської холодної течії (корабль №2), центральної частини Північної Атлантики (дрейфової теплої Північноатлантичної течії, корабль №3), центральної частини Північного антициклонального колооберту (північно-західної частини Саргасова моря, корабль №5), останнє зберігається у лютому, й додатково, відносна стабільність спостерігається у цьому місяці на південний захід від острова Ірландія (район дивергенції великомасштабних океанських потоків, корабль №7).

Така ж неоднозначність має місце й у вагах узагальнених факторів. При цьому найбільші додатні навантаження у всі розглянуті місяці має

температура повітря T . Відповідно до побудованих математичних виразів формування значень параметрів це означає, що збільшення додатних значень фактора призводить до збільшення відповідної характеристики, або параметру стану (у нашому випадку температури повітря). Крім того треба врахувати, що ці додатні навантаження припадають на перший фактор, який як правило має найбільшу енергетичну значущість, тобто обумовлює більшу частину дисперсії процесів взаємодії.

На другому місці по значущості перебуває різниця температур повітря – вода ΔT . Узагальнені перші фактори для цієї характеристики також мають великі додатні навантаження, за виключенням двох місяців грудня й січня у місцях розташування кораблів №№5,8 (північно-західної частини Саргасова моря та відносно холодної Португальської течії), де великі від’ємні ваги припадають на другий фактор. При цих ситуаціях спостерігаються відносно великі від’ємні навантаження при температурі повітря й незначні при температурі води. Ці факти надають можливість зробити висновки про сталість температури води в цих районах Північної Атлантики й пряму залежність різниці температур від стану атмосфери.

Участь у розглянутих процесах взаємодії атмосфери й океану температури водної поверхні також залежить від місяця і району акваторії океану. Так у грудні в районі кораблів №№5,8, а у лютому – №№5,7,8 велике додатне навантаження для цього параметру припадає на перший фактор. У січні, додатково, дещо менші додатні ваги спостерігаються в районі, який охоплює Лабрадорську течію, течію Ірмінгера (корабель №1) та центральну частину Північної Атлантики. В іншому, основні навантаження припадають на другий узагальнений фактор, особливо у лютому.

Окрему увагу привертає район корабля №9 (східна частина Норвезько-Гренландської енергоактивної зони), тут, наприклад в січні, при потужних східних вітрах спостерігається зниження температури води. Одночасно існує процес, який сприяє підвищенню температури повітря та різниць температур. Тобто мають місце інтенсивні процеси випаровування, і, відповідно, підвищення енергетичного стану атмосфери.

Стосовно четвертого параметру, зональної складової швидкості вітру u , процеси, які сприяють його зменшенню, або переходу від східного до західного напрямку, що спостерігається у більшості розглянутих випадків зумовлюють збільшенню інших зазначених параметрів стану океану та атмосфери. Особливо це стосується процесів в центральній та західній частини території Північної Атлантики.

Як було зазначено раніше, окрім характеристик тепло- і вологообміну атмосфери й океану в акваторії Північної Атлантики, а саме температури поверхневих вод океану, температури в приводному шарі повітря, різниці температур повітря-вода і зональної складової швидкості вітру, до складу діючих факторів при побудові моделі відібрані і інші

характеристики. До них відносяться географічні координати азовського і ісландського центрів дії, які визначені за середньомісячними кліматичними картами, різниця атмосферного тиску в цих центрах дії на рівні моря, індекси ПАК, ПТК і ЕНПівдК. Цілком ймовірно, що серед усіх діючих факторів побудованої сукупності, можуть виявитися статистично залежні. Однак однією з умов, які були прийняті при побудові математичної моделі, є умова незалежності діючих факторів. Щоб задовольнити цій умові до всієї сукупності факторів була застосована процедура ортогоналізації. Для цієї мети використовувався алгоритм Грама-Шмідта. Цей алгоритм полягає у тому, що за деякою системою векторів $a_1, a_2, \dots, a_k$ будується така ортогональна система $b_1, b_2, \dots, b_k$, що кожен вектор b_i ($i = \overline{1, k}$) лінійно виражається через $a_1, a_2, \dots, a_i$, тобто

$$b_i = \sum_{j=1}^i c_{ij} a_j, \quad (2.5)$$

де

$C = \{c_{ij}\}$ – верхня трикутна матриця.

При цьому слід домогтися, щоб система $\{b_j\}$, ($j = \overline{1, k}$) була ортонормована, а діагональні елементи матриці були додатними. Процес Грама - Шмідта полягає у наступному. Вважають, що $b_1 = a_1$. Тоді, якщо вже побудовані вектори $b_1, b_2, \dots, b_i$, то застосовується така рекурентна процедура:

$$b_{i+1} = a_{i+1} + \sum_{j=1}^i \alpha_j b_j, \quad (2.6)$$

де

$$\alpha_j = -\frac{(a_{i+1}, b_j)}{(b_j, b_j)}. \quad (2.7)$$

В рівності (2.7) круглі дужки позначають скалярний добуток векторів. Вектори b_j , ($j = \overline{1, i}$), побудовані з умови ортогональності вектора b_{i+1} до векторів $b_1, b_2, \dots, b_i$. Процес Грама-Шмідта може бути використаний як розкладання не виродженої квадратної матриці у добуток ортогональної матриці і верхньої трикутної матриці з додатними діагональними елементами, тобто окремий випадок Івасави розкладання [59]. Отримана таким чином система діючих факторів була включена в праву частину системи нелінійних регресійних рівнянь (1.1).

2.1.2. Статистичний аналіз часових рядів діючих факторів

Одержані для 9-й кораблів погоди на основі $n \times m$ - мірних матриць X , де m – обсяг сукупності для n – діючих змінних, k – мірні вектори F значень узагальнених факторів дають можливість сформувати для них часові ряди. До них додаються часові ряди і інших зазначених вище діючих факторів. Статистичний аналіз часових рядів представляє велику зацікавленість, оскільки дозволяє встановити періодичності, приховані в досліджуваних процесах, виявити трендову компоненту, якщо зробити у подальшому наступні згладжування цих процесів за допомогою ковзного осереднення.

Відомо [76], що для кусково-гладкої функції $f(t)$, заданої на нескінченному інтервалі $t \in (-\infty, +\infty)$, справедливо перетворення Фур'є

$$F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt, \quad (2.8)$$

де

$i = \sqrt{-1}$ - уявна одиниця.

Для процесу, заданого на обмеженому інтервалі $(-\tau, \tau)$, воно має вигляд

$$F_{\tau}(i\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.9)$$

або, якщо використати відому формулу Ейлера

$$F_{\tau}(i\omega) = u(\omega) - i\nu(\omega), \quad (2.10)$$

де парна $u(\omega)$ й непарна $\nu(\omega)$ його складові, які визначаються співвідношеннями

$$u(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} f(t)\cos\omega t dt, \quad (2.11)$$

$$\nu(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} f(t)\sin\omega t dt. \quad (2.12)$$

Якщо частоти гармонійних компонент процесу $f(t)$ не дуже

близькі, то функція $u(\omega)$ і $v(\omega)$ має вигляд кривих з різко окресленими піками в точках $\omega = \omega_k$. Висота піків приблизно дорівнює парній a_k і непарній b_k амплітудах процесу

$$f(t) = \sum_{k=1}^n (a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t), \quad (2.13)$$

що складається з періодичностей, прихованих в ньому. На цих же частотах ω_k спостерігатимуться піки амплітуд $A_k = A(\omega_k)$. Відомо, що для функції (2.8) справедливо співвідношення:

$$f(t) = \sum_{k=1}^n A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (2.14)$$

тому що $a_k \approx u(\omega_k)$ і $b_k \approx v(\omega_k)$.

Таким чином,

$$A_k = [u^2(\omega_k) + v^2(\omega_k)]^{1/2}. \quad (2.15)$$

З метою поліпшення селективних властивостей перетворень (2.11) і (2.12), в них вводиться множник Гіббса

$$g(t) = \frac{\sin \frac{\pi t}{\tau}}{2t}. \quad (2.16)$$

Графік функції $A(\omega_k)$ має назву амплітудно-частотної характеристики. Як приклад на рис.2.1 надана амплітудно-частотна характеристика першого узагальненого фактора (FI) для корабля № 1. Для виключення малозабезпечених піків на амплітудно-частотній характеристиці значення амплітуди $A(\omega_k)$ згладжується фільтром Т'юки

$$\tilde{A}(\omega_i) = 0,25 A(\omega_{i-1}) + 0,5 A(\omega_i) + 0,25 A(\omega_{i+1}). \quad (2.17)$$

Начальні фази, які утримуються в рівності (2.14), та які характеризують зсув періодичності по фазі, визначаються співвідношенням

$$\varphi_k = \arctg \frac{u(\omega_k)}{v(\omega_k)}. \quad (2.18)$$

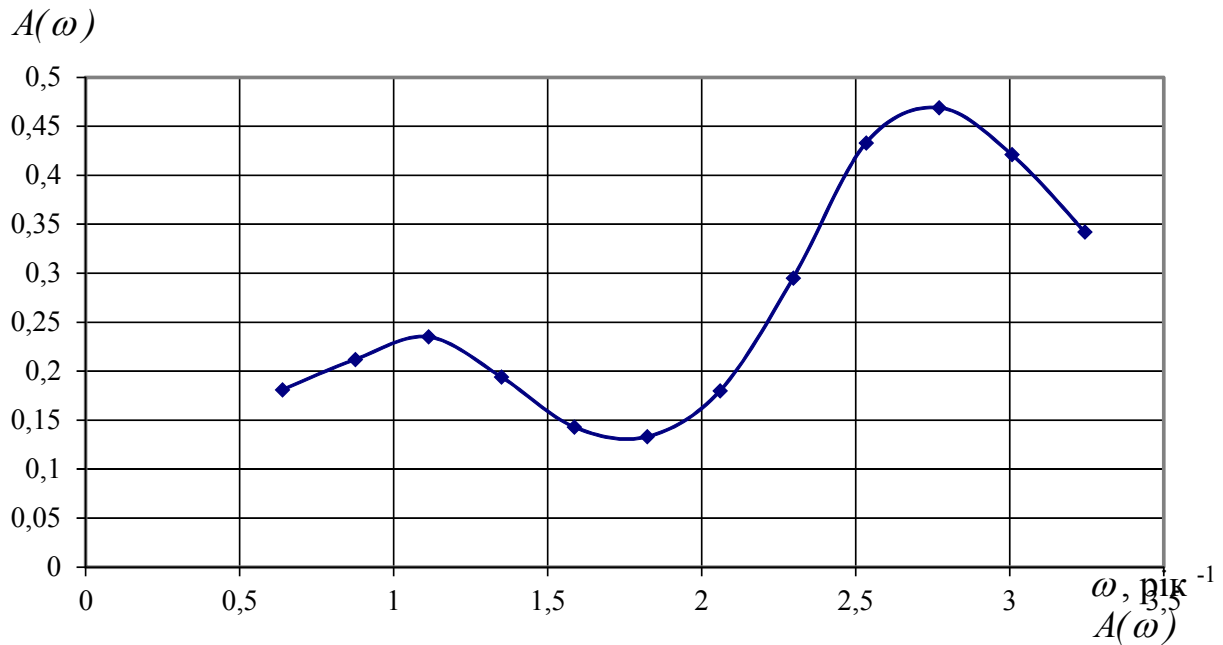


Рисунок 2.1 – Амплітудно-частотна характеристика узагальненого фактора FKI . Грудень

При аналізі періодичних коливань ω_k , схованих в вихідному процесі, достовірними вважаються ті з них, піки амплітуд $A(\omega_k)$ для яких виходять за довірчу межу $\bar{A} + \sigma_A$, яка забезпечує ймовірність $p = 0,68$. Найбільша періодичність, яка може бути виявлена в досліджуваному процесі за допомогою представленого вище алгоритму, залежить від довжини часового ряду.

Однак коливання з великими періодами можуть виявлятися тільки після згладжування вихідного процесу $f(t)$. Згладжування здійснюється за допомогою ковзного осереднення з використанням оператора

$$\tilde{f}(t_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=k-n/2}^{k+n/2} \alpha_i f(t_i), \quad (2.19)$$

де

α_i – ваговий множник,

n – кількість точок за якими проводиться згладжування,

а k – має значення з ряду.

$$k = 1 + \frac{n}{2}; 2 + \frac{n}{2}; \dots; N' + \frac{n}{2}; N' = N - n + 1,$$

де

N - загальна кількість членів ряду.

Характер згладжування визначається виглядом вагових множників. При $\alpha_i = 1 \quad \forall \quad i = \overline{1, n}$ оператор згладжування (2.19) являє просте ковзне осереднення. Нами використаний більш коректний фільтр, вагові множники для якого визначаються співвідношенням

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-i)}{n}. \quad (2.20)$$

Він характеризується тим, що найбільшу вагу має точка, розташована на середині відрізка згладжування. Вага точок, що віддаляються від середини відрізка згладжування, зменшується відповідно до косинус - функції.

У таблиці 2.4 наводяться значення параметрів періодичностей, які виявлені за допомогою перетворення Фур'є в часових рядах діючих факторів у грудні.

Таблиця 2.4 – Параметри періодичностей, схованих у часових рядах діючих факторів (грудень)

Номер фактора (F) і корабля (K)	ω , рік ⁻¹	T , рік	A	φ , рад
1.	2.	3.	4.	5.
$F1K1$	2,77	2,3	0,47	-0,64
$F2K1$	3,24	1,9	0,26	0,47
$F1K2$	2,06	3,1	0,94	-0,39
$F2K2$	2,30	2,7	0,72	0,99
$F1K3$	1,11	5,6	1,09	1,52
$F2K3$	3,24	1,9	0,47	0,41
$F1K4$	0,40	15,6	1,09	0,68
	2,82	2,2	0,41	0,38
$F1K5$	1,82	3,4	0,85	0,51

Продовження табл. 2.4

<i>F2K5</i>	2,30	2,7	0,78	-1,22
<i>F1K6</i>	2,53	25	0,36	0,83
<i>F2K6</i>	1,82	3,4	0,31	-0,20
<i>F1K7</i>	1,11	5,6	0,43	-1,15
	3,24	1,9	0,48	-1,25
<i>F2K7</i>	1,11	5,6	0,33	-0,09
<i>F1K8</i>	0,40	15,6	0,41	-1,44
	2,53	2,5	0,38	-1,55
<i>F2K8</i>	2,77	2,3	0,57	0,86
	3,24	1,9	0,60	-1,50
<i>F1K9</i>	0,88	7,2	0,31	-0,85
	2,06	3,1	0,32	-1,05
	3,24	1,9	0,45	1,20
<i>F2K9</i>	0,41	15,5	0,33	-0,23
	1,35	4,7	0,35	-1,01
ΔP	3,01	2,1	3,15	-3,00
λ_H	0,87	7,2	4,83	-6,01
	1,59	3,9	4,81	4,54
λ_L	0,88	7,1	5,29	-6,73
	1,82	3,4	6,12	-2,66
φ_H	3,24	1,9	8,77	-2,51
φ_L	2,53	2,5	8,55	-1,56
ЕНПівдК	0,96	6,5	0,26	-0,81
	1,10	5,7	0,33	-0,99
	1,38	4,5	0,24	0,38
ПАК	0,64	9,8	0,63	-0,50
	0,84	7,5	0,56	-0,83
	1,11	5,7	0,57	-1,10
	2,50	2,5	0,65	-0,15
	3,16	2,0	0,64	1,33
ПТК	1,14	5,5	1,02	0,46
	1,95	3,2	1,10	1,42
	2,40	2,6	1,06	0,77
	2,94	2,1	1,09	-0,47

Як випливає з табл.2.4, у часових рядах узагальнених факторів в акваторії Північної Атлантики міститься 2-3 літні періодичності. Цікавим є той факт, що в районах розташування кораблів №3 і №7 у часовому ряді першого фактора, який, як випливає з табл.2.1, характеризує з великими вагами різниця температур повітря-вода (з вагами відповідно 0,94 і 0,99) і температуру повітря (з вагами відповідно 0,82 і 0,81) виявлена статистично

значуща 5-6 річна періодичність. Треба звернути увагу, що як в першому випадку, так і в другому, розташування кораблів знаходиться приблизно на одній і тій самій широті. Низькочастотні коливання виявляються також в районі розташування корабля №9. У часовому ряду першого фактора, куди з великими вагами входять температура повітря і різниця температур повітря-вода, міститься семирічна періодичність, а в часі ряду другого чинника, в більшій мірі позначає температуру поверхневого шару води, проявляється 15-16 річна періодичність. Аналіз ваг загальних факторів свідчить про те, що у всіх зазначених випадках 15-16 річної періодичності у часових рядах узагальнених факторів відбиваються відповідні коливання температури поверхневих океанічних вод.

Багатіші спектри коливань виявлені у часових рядах факторів, які характеризують особливості атмосферної циркуляції в акваторіях океану. Так, в часовому ряді індексу ПАК мають місце 8-10, 5-6 і 2-3-х річні періодичності. У часовому ряді індексу ПТК виявляються 5-6 і 2-3 літні, а в часовому ряді індексу ЕНПівдК - 5-7 літні періодичності. Як зазначалося у розділі 1, наявність подібних періодичних коливань відзначається в ряді робіт [94,104,105]. Семирічна і 2-3-х річна періодичності властиві довготам центрів дії, а широт і різниці тиску - дворічна періодичність.

На рис.2.2-2.26 представлені вихідні часові ряди всіх розглянутих діючих факторів для грудня, а також результати ковзного 4-5-річного осереднення, здійсненого з використанням косинус-фільтра (2.19) - (2.20). Всі вони мають загальну закономірність: в них виразно проявляються двох-, трьохрічні періодичності, на згладжених часових рядах мають місце коливання з періодами 5-8 років, а в ряді випадків (у часових рядах, довготи азорського і ісландського центрів дії, індексу ПАК, а також індексу ЕНПівдК) – з періодами 8-10 років. На згладжених часових рядах чітко проявляється і трендова компонента. Як впливає з рис.2.2-2.26, де проста лінія означає фактичний, а жирна - згладжений часові ряди; F – означає узагальнений фактор, у часових рядах перших факторів в місцях розташування кораблів №1, №2, №3, №6, №7 та №9 (рис.2.2-2.7) з 60-х років до 80-х років минулого століття має місце загальна тенденція зниження його значення, а з 80-х років - збільшення.

Слід нагадати (табл. 2.1), що у грудні в зазначених районах перший узагальнений фактор з великими додатними вагами входить в температуру повітря і різниць температур вода-повітря, тобто відбиває їх загальну зміну.

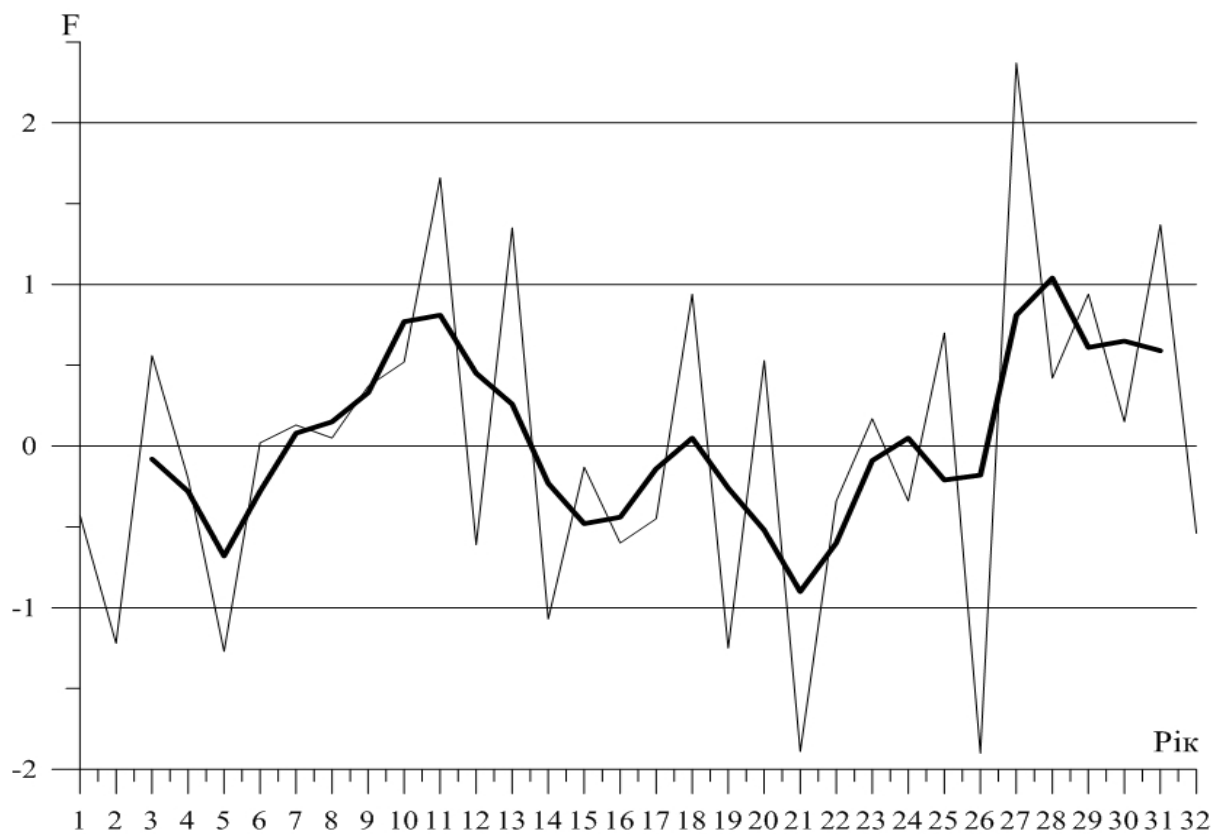


Рисунок 2.2 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $FIK1$ (грудень)

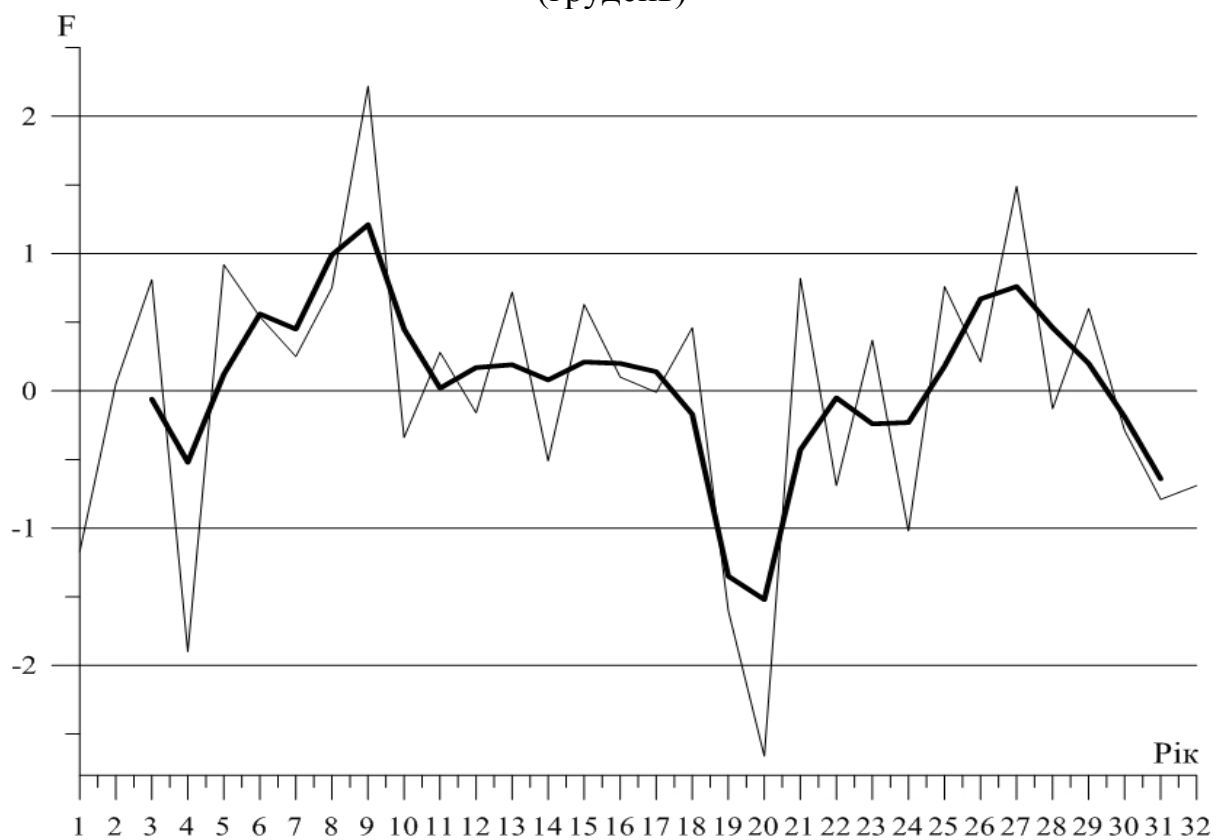
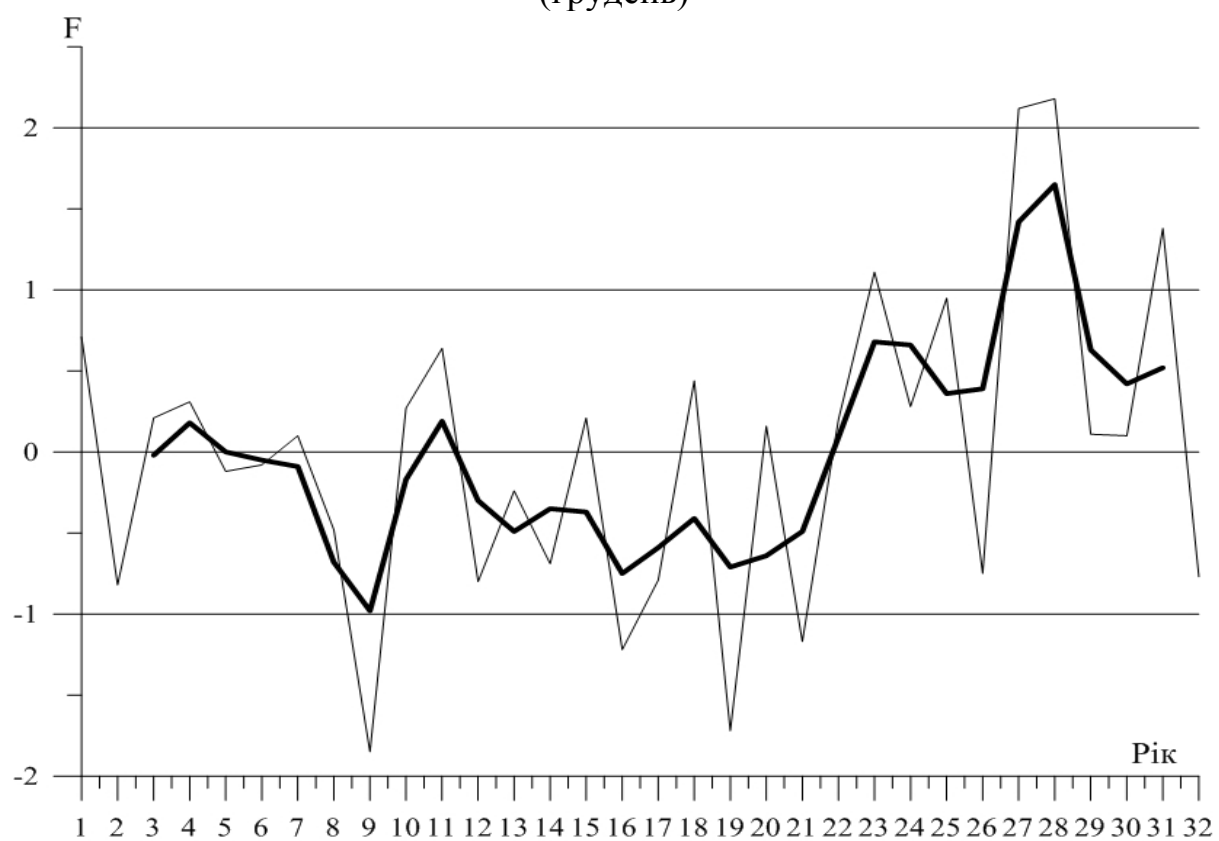
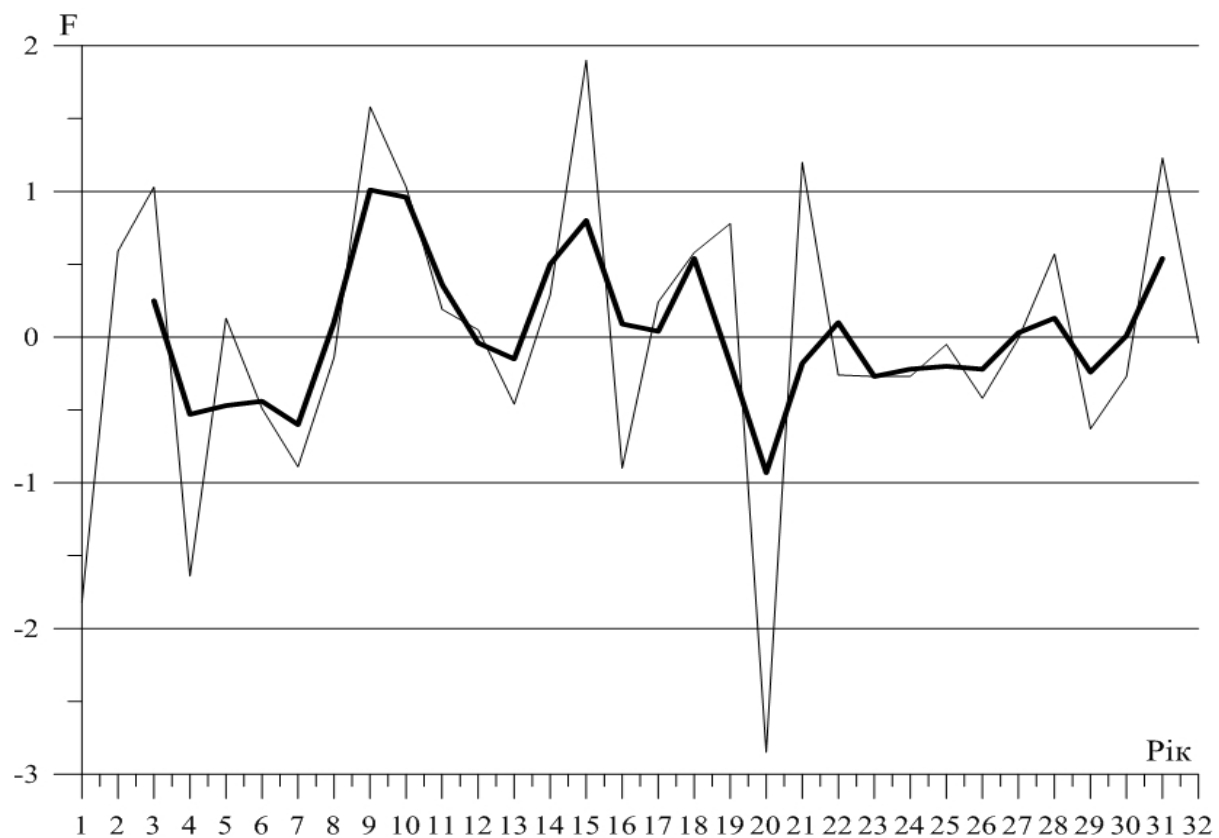


Рисунок 2.3 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $FIK2$ (грудень)



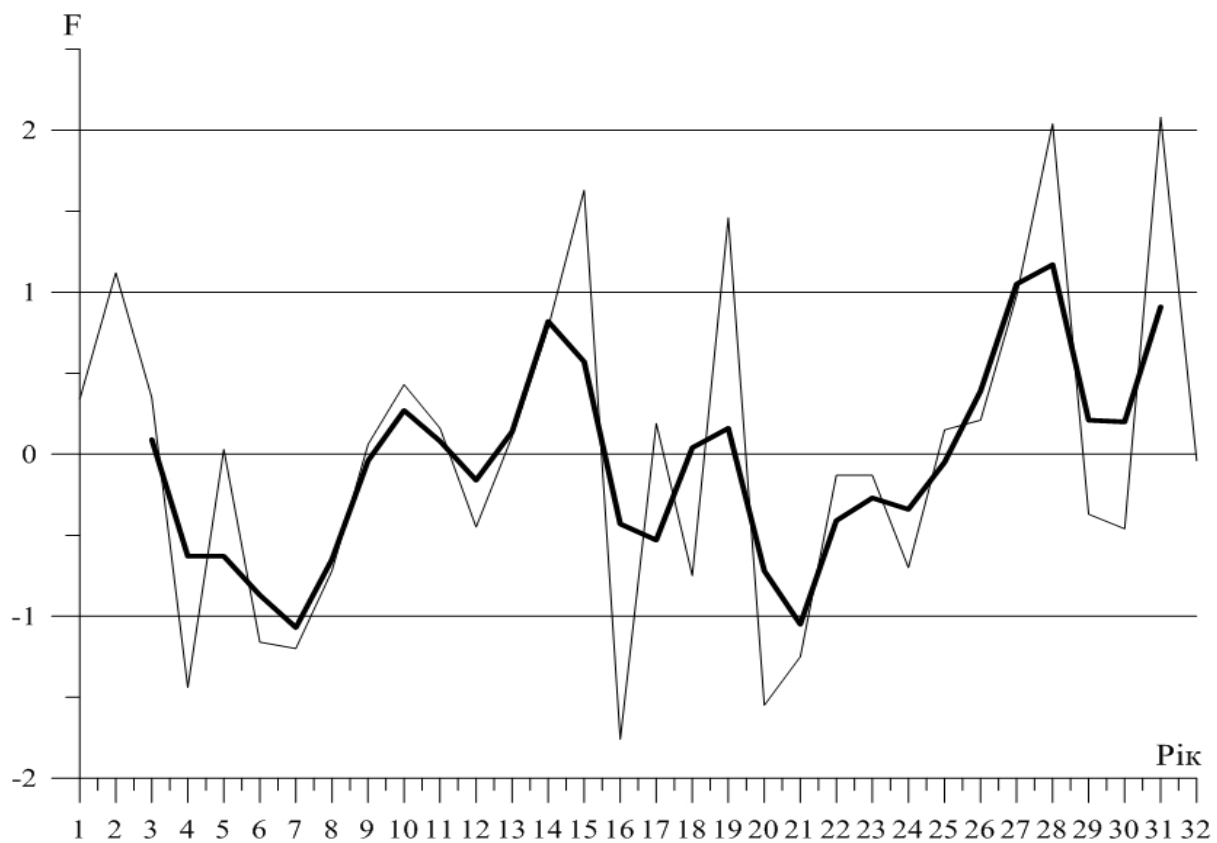


Рисунок 2.6 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $FIK7$ (грудень)

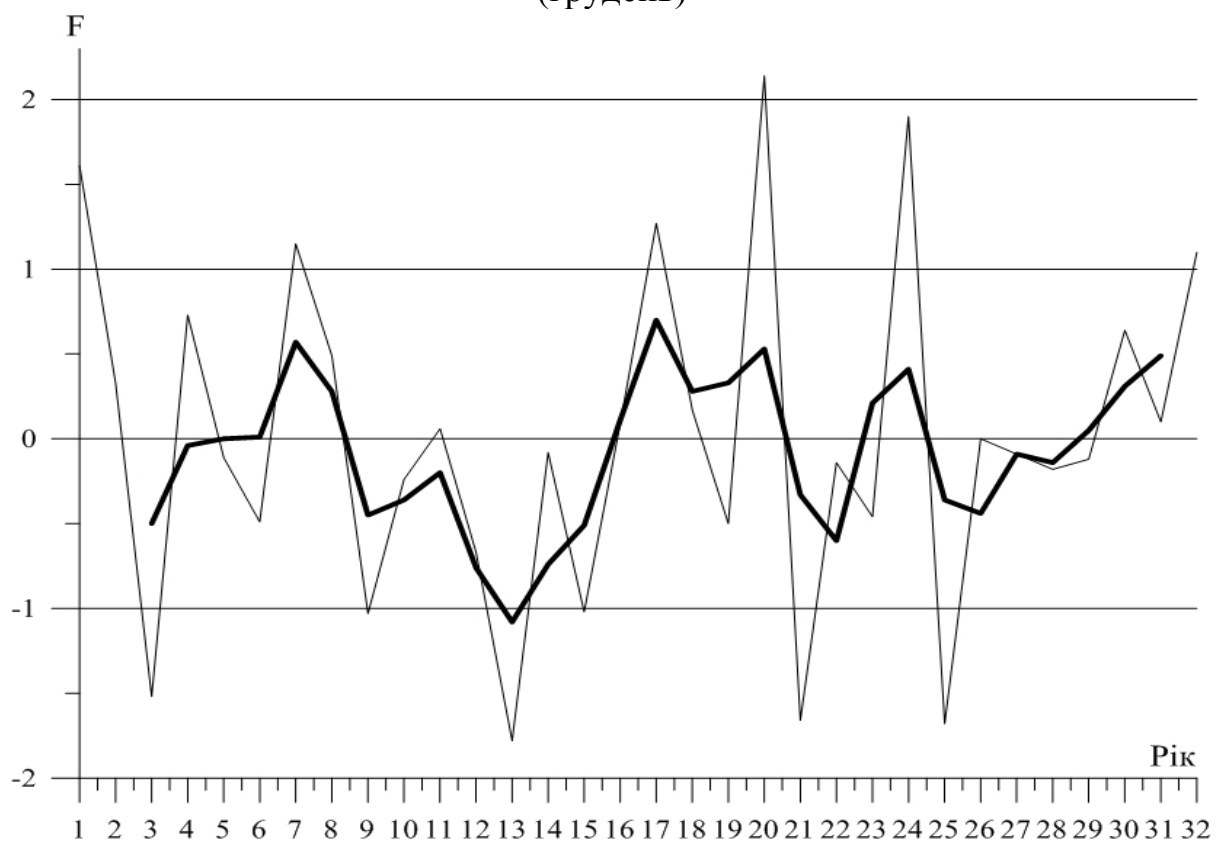


Рисунок 2.7 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $FIK9$ (грудень)

Навпаки, другі фактори, які мають більшу додатну вагу в температурі поверхневих вод, що впливає з рис.2.8-2.13, мають протилежну тенденцію в зазначених районах розташування кораблів погоди. В них до середини 60-х років спостерігається тренд зростання, а після цього - тренд загального падіння. Перераховані кораблі погоди розташовуються в північних широтах Північної Атлантики, отже, як показують зазначені дані (рис. 2.8-2.13), починаючи з середини 60-х років, в високих широтах Атлантичного океану почала виявлятися тенденція зниження температури поверхневих океанічних вод. Як впливає з табл.2.1, для корабля №4, на відміну від інших, був отриманий лише один загальний фактор, які відбиває всі чотири характеристики тепло- і вологообміну між поверхнею океану і атмосферою. Загальні тенденції його зміни з деяким зсувом за часом, в загальному, збігаються із зазначеними вище трендовими компонентами часових рядів других факторів. Особливе місце мають кораблі №5 і №8. Вони по довготі займають протилежне розташування: корабель №8 – поблизу Європейського континенту в зоні холодної Канарської течії, а корабель №5 – в західній півкулі в південній частині Північно-Атлантичного теплої течії. У часовому ряді першого фактора (рис.2.15, 2.16), який в районах розташування обох кораблів з великою вагою входить в температуру поверхневих вод, спостерігалася тенденція падіння до 70-80-х років, а потім загальне зростання.

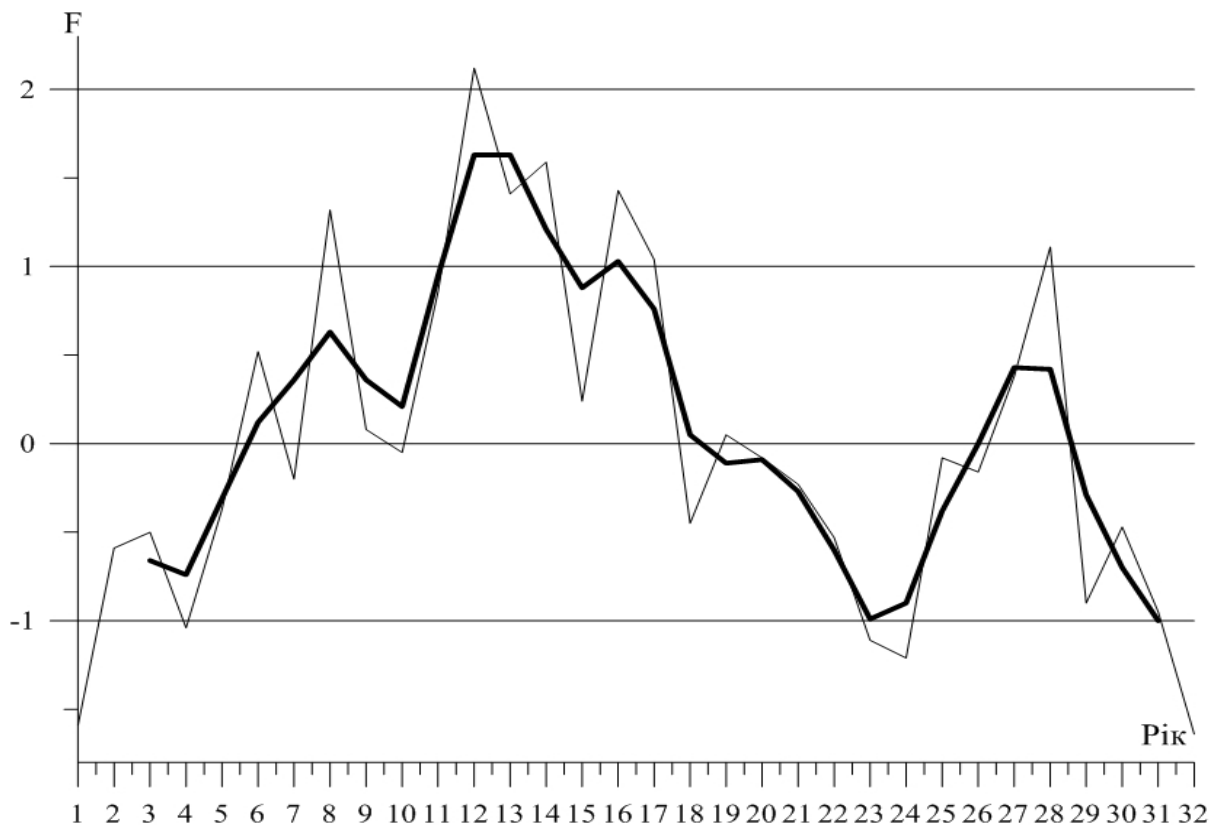


Рисунок 2.8 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K1$ (грудень)

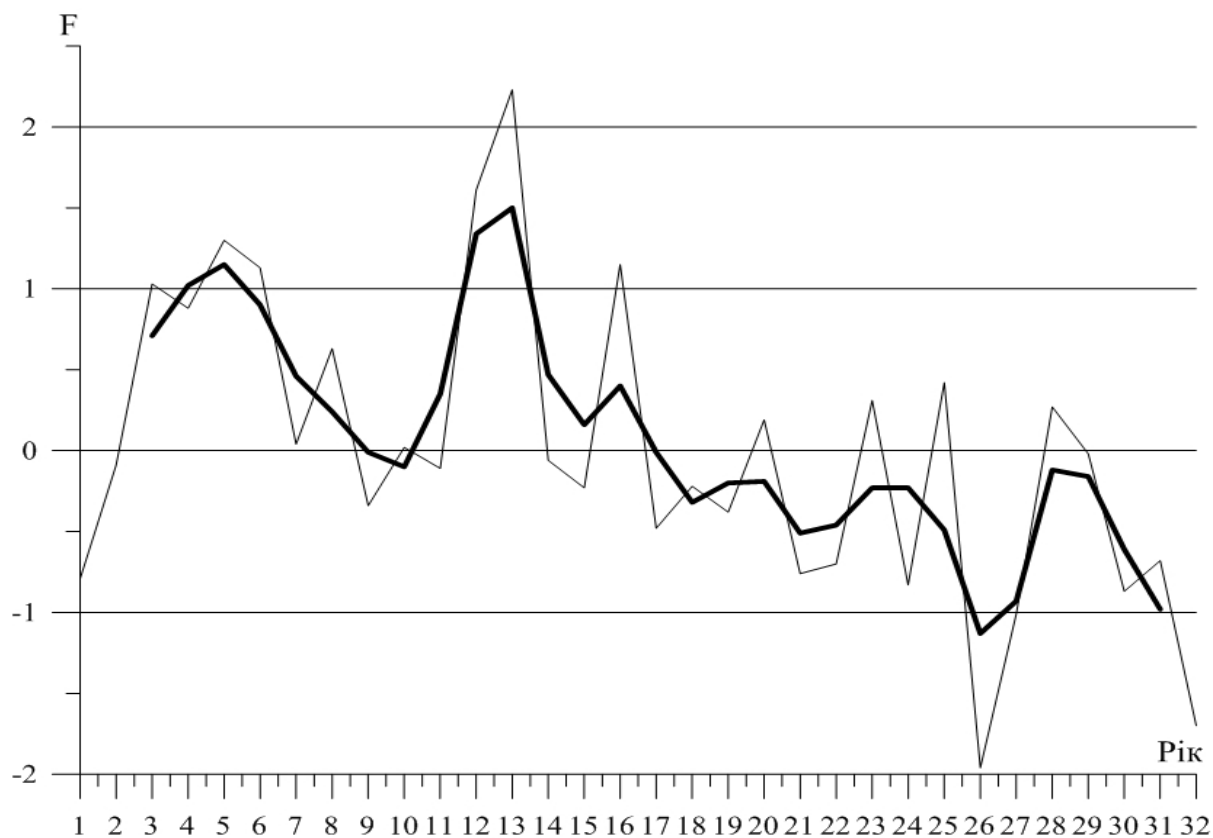


Рисунок 2.11 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K6$ (грудень)

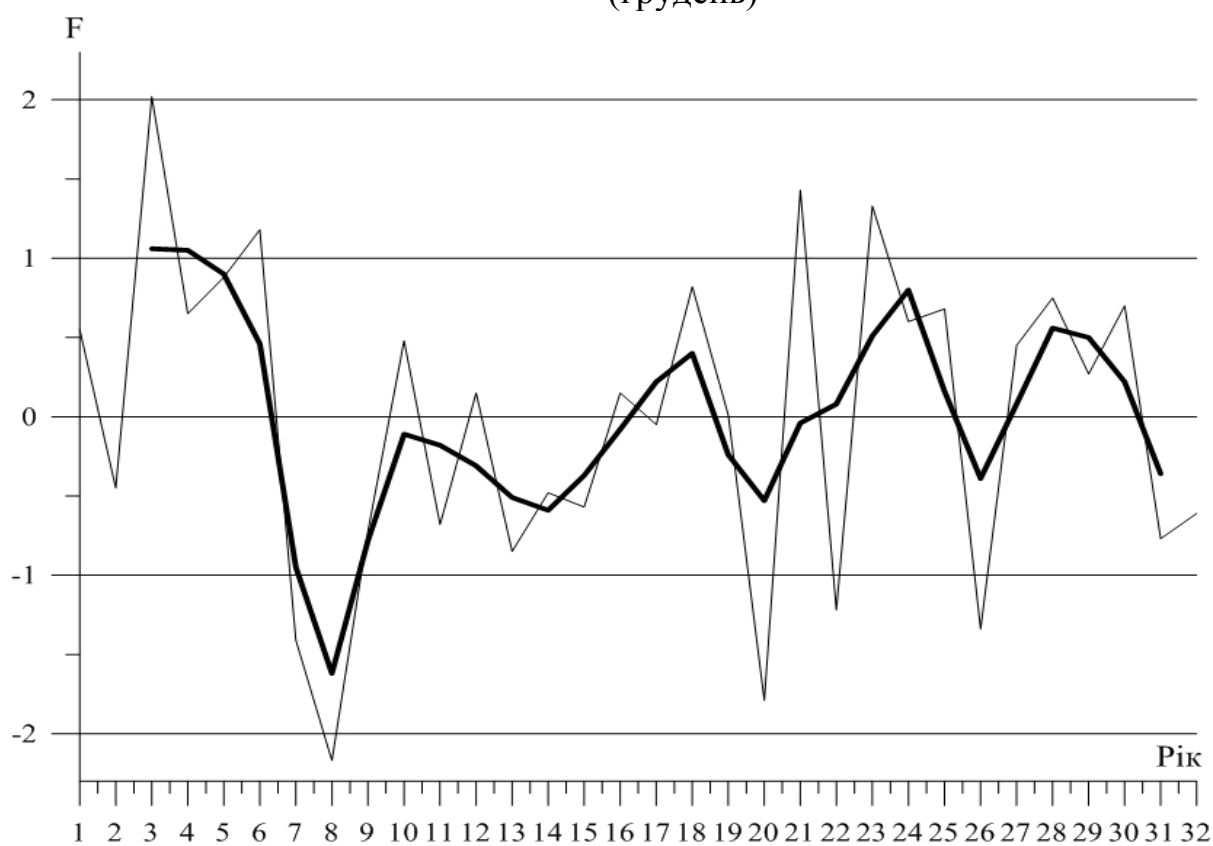


Рисунок 2.12 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K7$ (грудень)

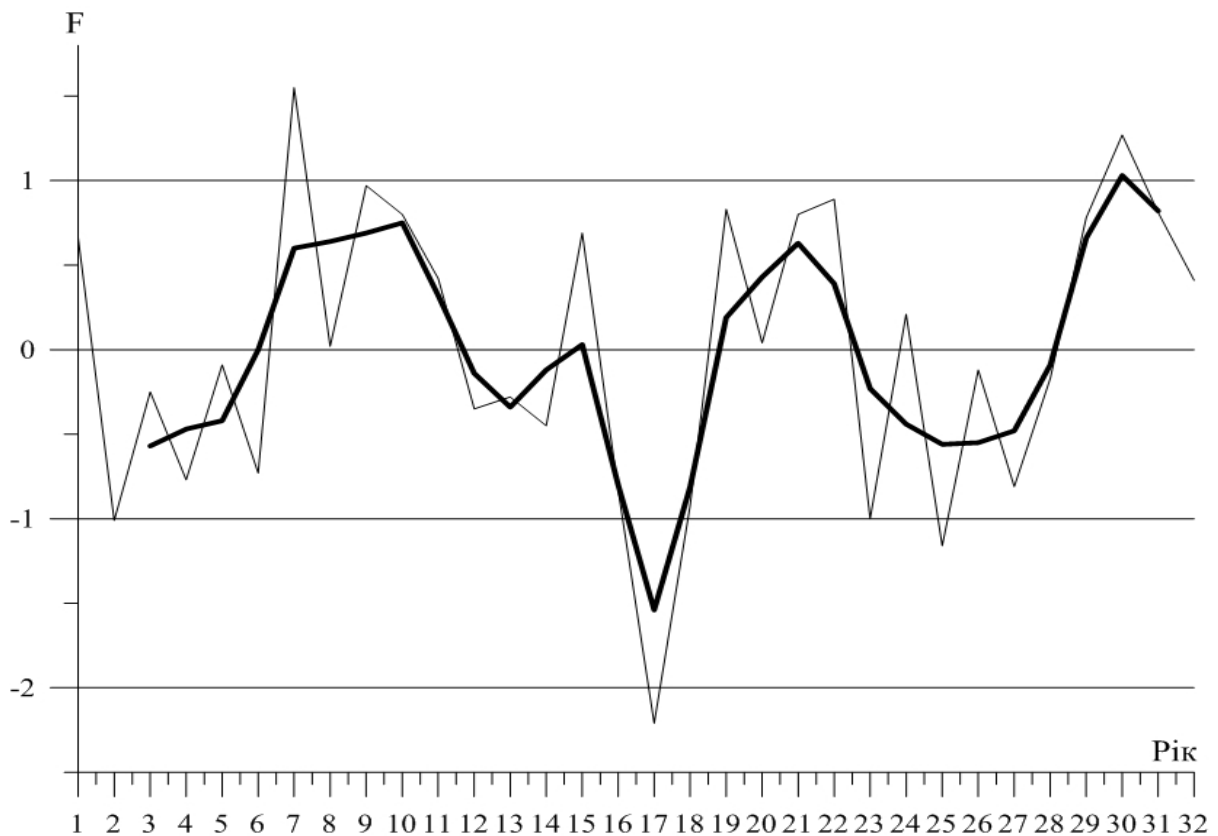


Рисунок 2.13 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K9$ (грудень)

Таким чином, можна прийти до висновку, що загальне потепління в глобальній кліматичній системі в кінці минулого століття призвело до загального підвищення температури поверхневих океанічних вод в середніх широтах акваторій Північної Атлантики і до зниження - в високих широтах океану внаслідок збільшення інтенсивного танення полярних льодів.

Представляють інтерес часові ряди факторів, які відбивають характер циркуляційних процесів над Північною Атлантикою. Як впливає з рис.2.19, центр азорського максимуму безперервно зміщувався на схід, а ісландського мінімуму - на захід. На ці тренди в тому і в іншому випадку накладаються 2-3-х річні коливання і більш тривалі - 8-10-х річні. Таким чином, наші дані підтверджують висновок про тенденцію зміщення на схід азорського антициклону, зроблені в роботі [68]. Що стосується тенденції зміни широти цих центрів дії то якщо широта азорського максимуму в другій половині минулого століття змінювалася мало, то широта ісландського мінімуму, починаючи з середини сімдесятих років, мала тенденцію до зменшення, тобто він зміщувався на південь.

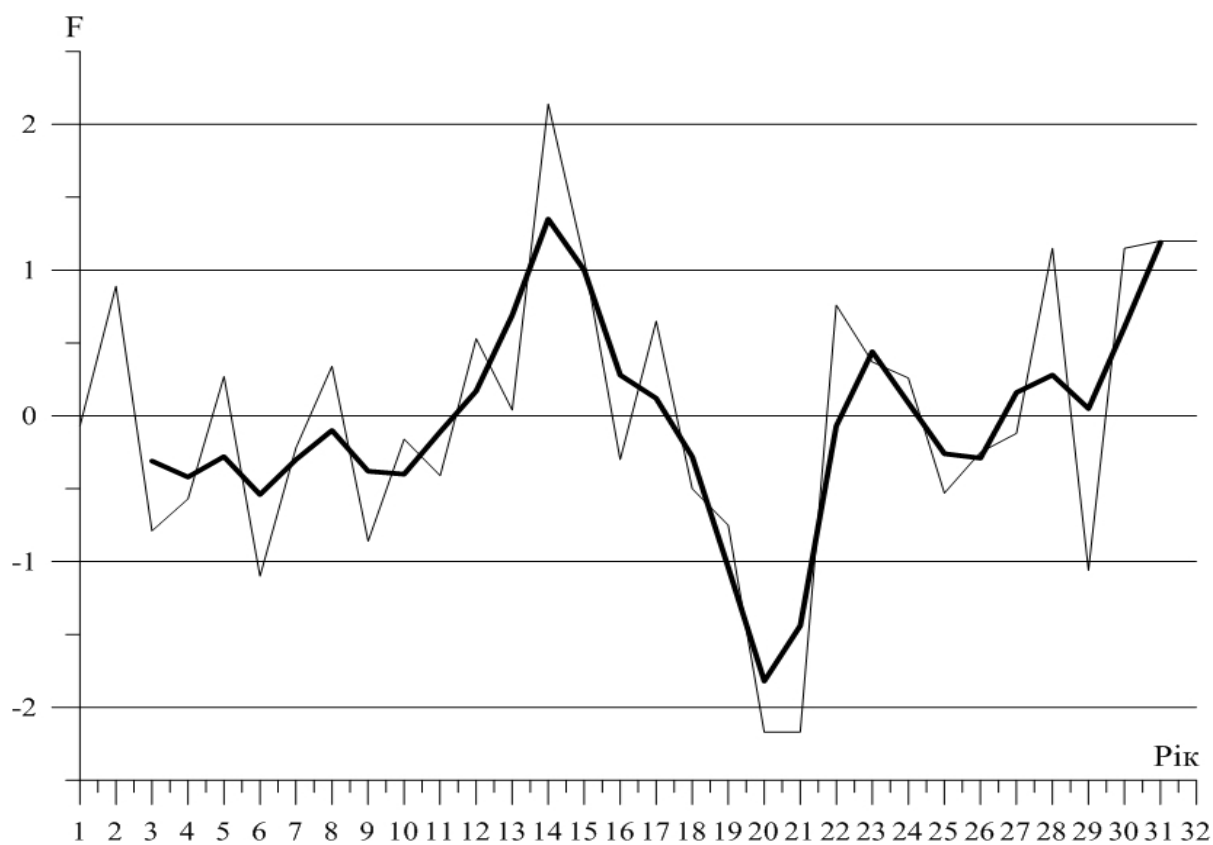


Рисунок 2.14 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K4$ (грудень)

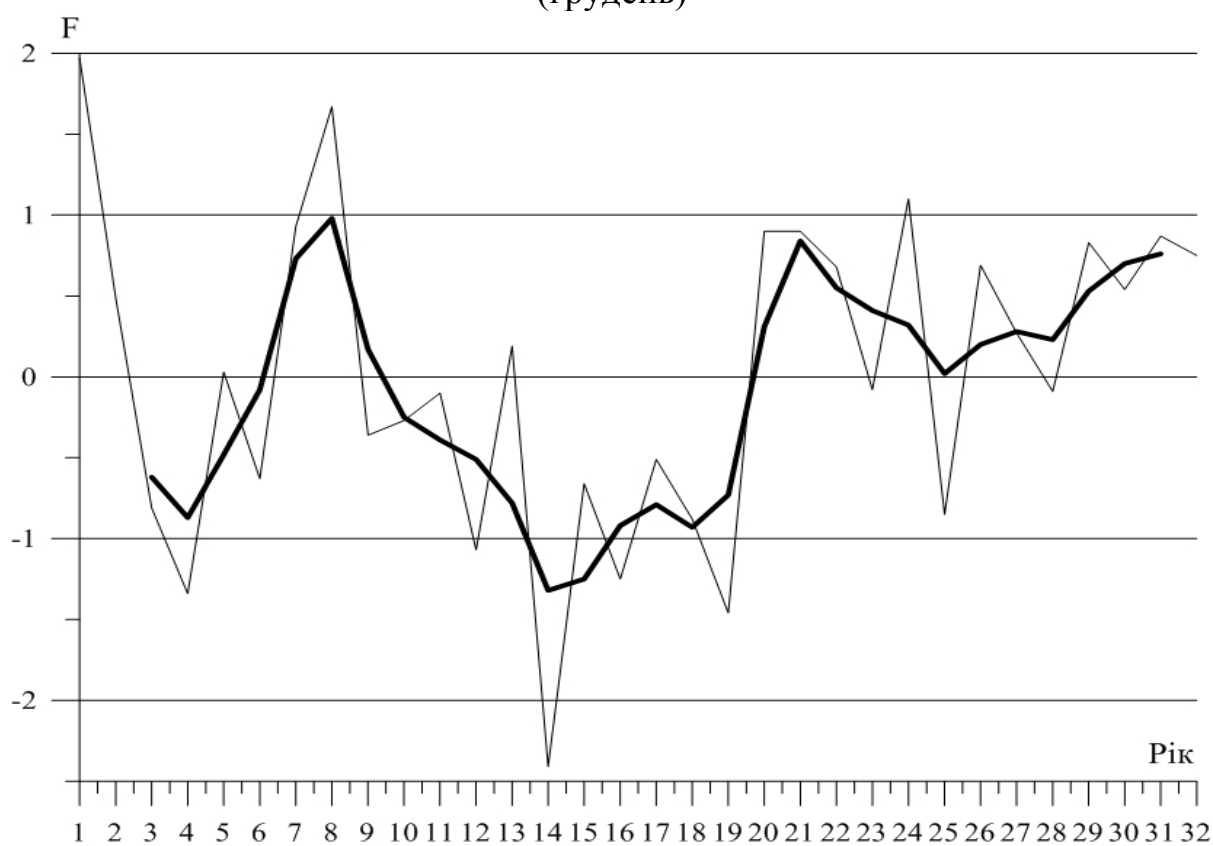


Рисунок 2.15 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K5$ (грудень)

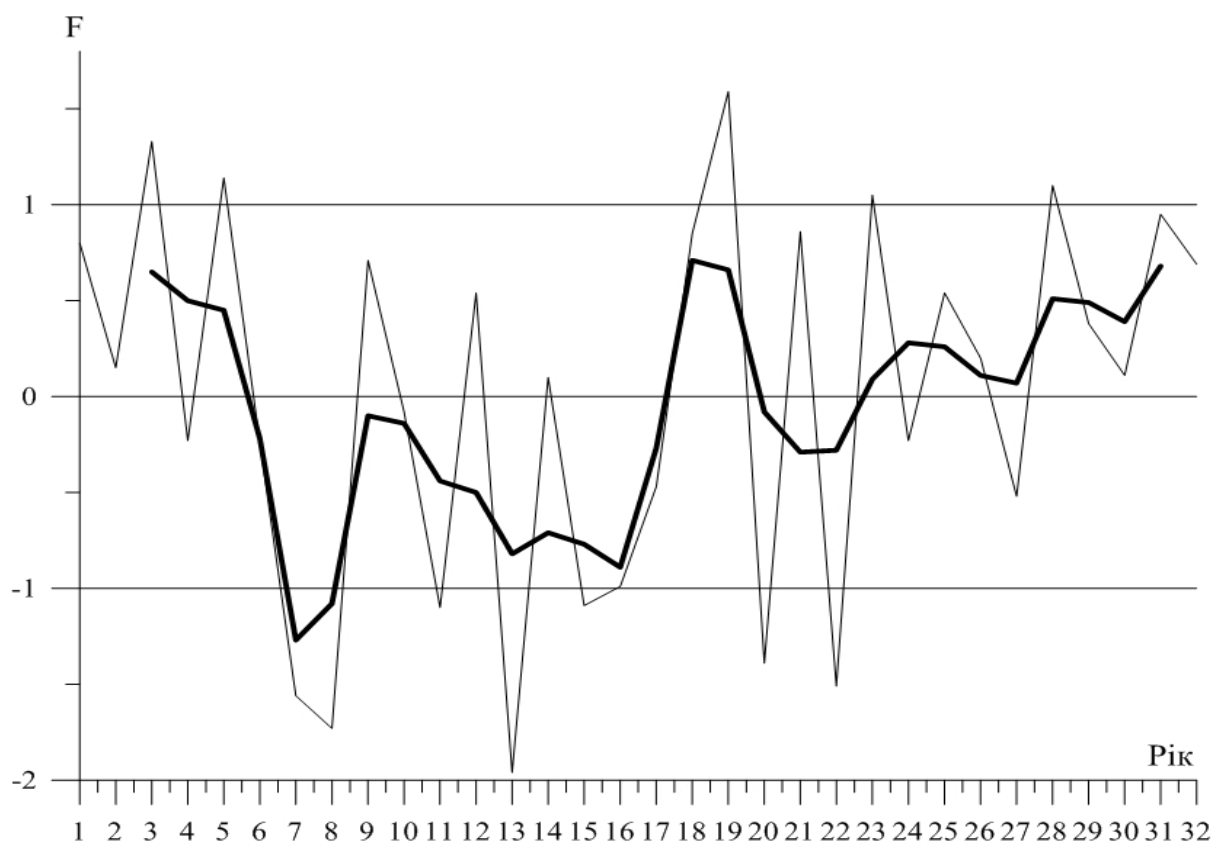


Рисунок 2.16 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K8$ (грудень)

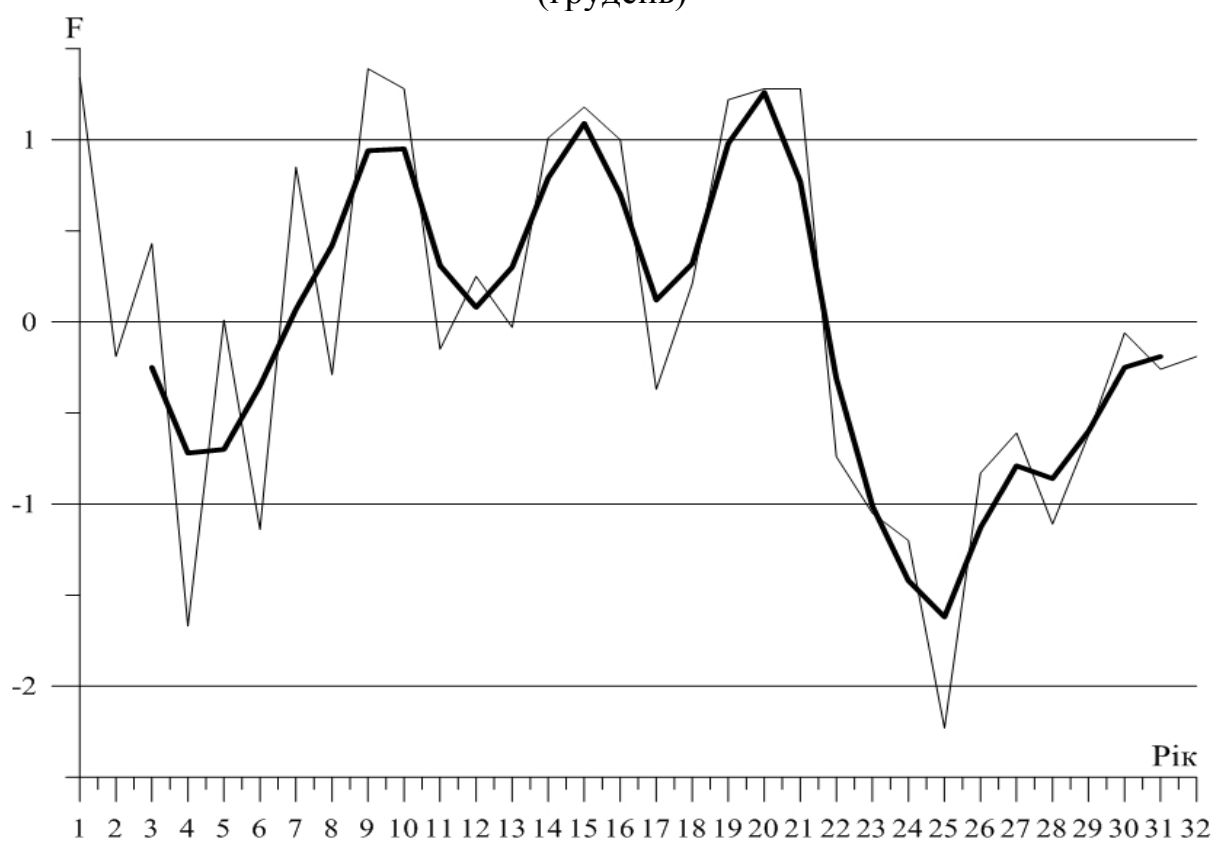


Рисунок 2.17 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K5$ (грудень)

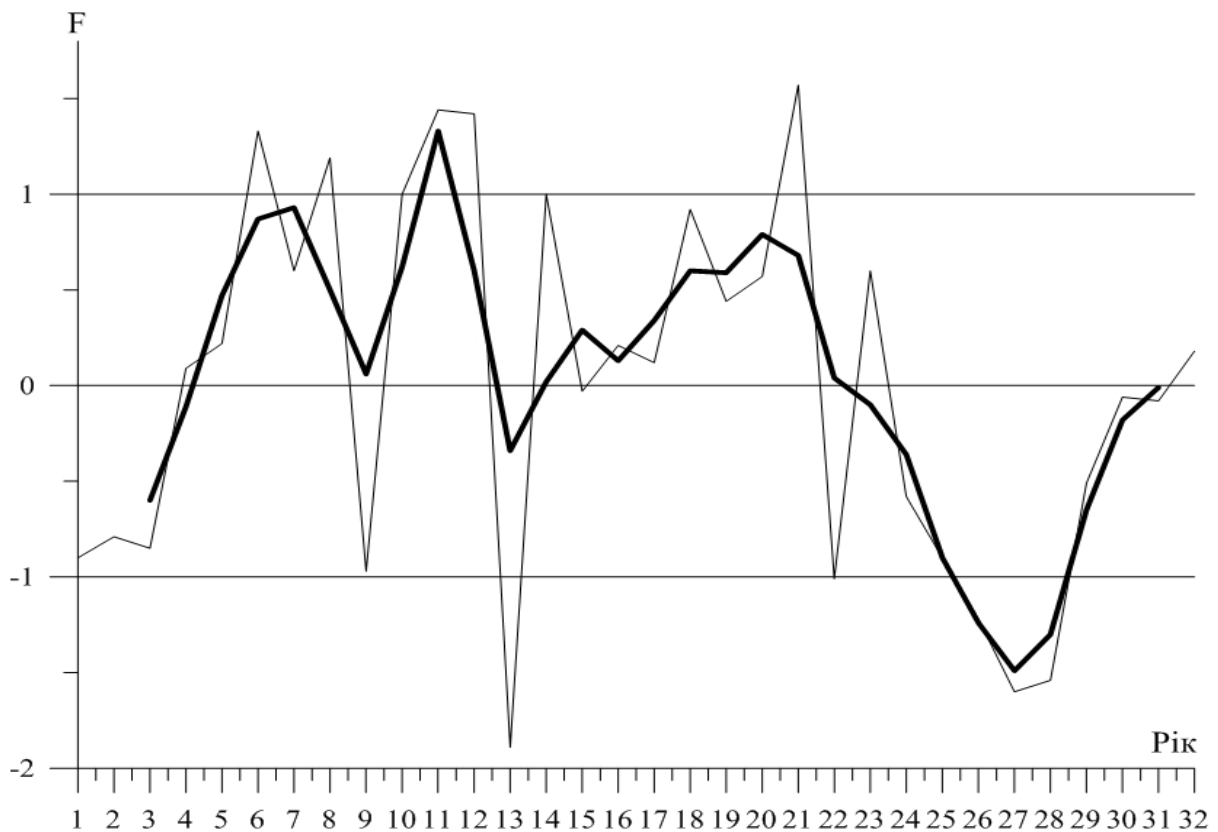


Рисунок 2.18 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K8$.
(грудень)

Зазначені вище трендові компоненти зменшення температури поверхневих вод в високих широтах і її підвищення в середніх широтах починаючи з 70-80 рр. минулого століття приводили, мабуть, до загострення бароклинності в Північній Атлантиці. У цей період, як випливає з рис. 2.2-2.7, присутня тенденція збільшення різниці температур "повітря-вода", що сприяє підвищенню інтенсивності випаровування з океанічної поверхні, а зближення за широтою центрів ісландського мінімуму і азорського максимуму - до збільшення меридіонального градієнта тиску. Про це свідчить структура часового ряду різниці тиску між центрами дії, представленого на рис.2.23, де до кінця 70-х років в ньому має місце тренд зменшення Δp , а в подальшому - її зростання.

Аналогічна тенденція проявляється і в часовому ряду індексу ПАК, проте більш слабо (рис.2.24). Це пов'язано з тим, що якщо Δp характеризує різницю тиску між центрами ісландського мінімуму і азорського максимуму при середньомісячному їх положенні, то індекс ПАК є різницею тиску між двома стаціонарно розташованими пунктами: Понта-Делгада (Азорські острови) і Рейк'явік (Ісландія), тобто без зв'язку з центрами зазначених баричних систем, географічні координати яких зазнають значних змін.

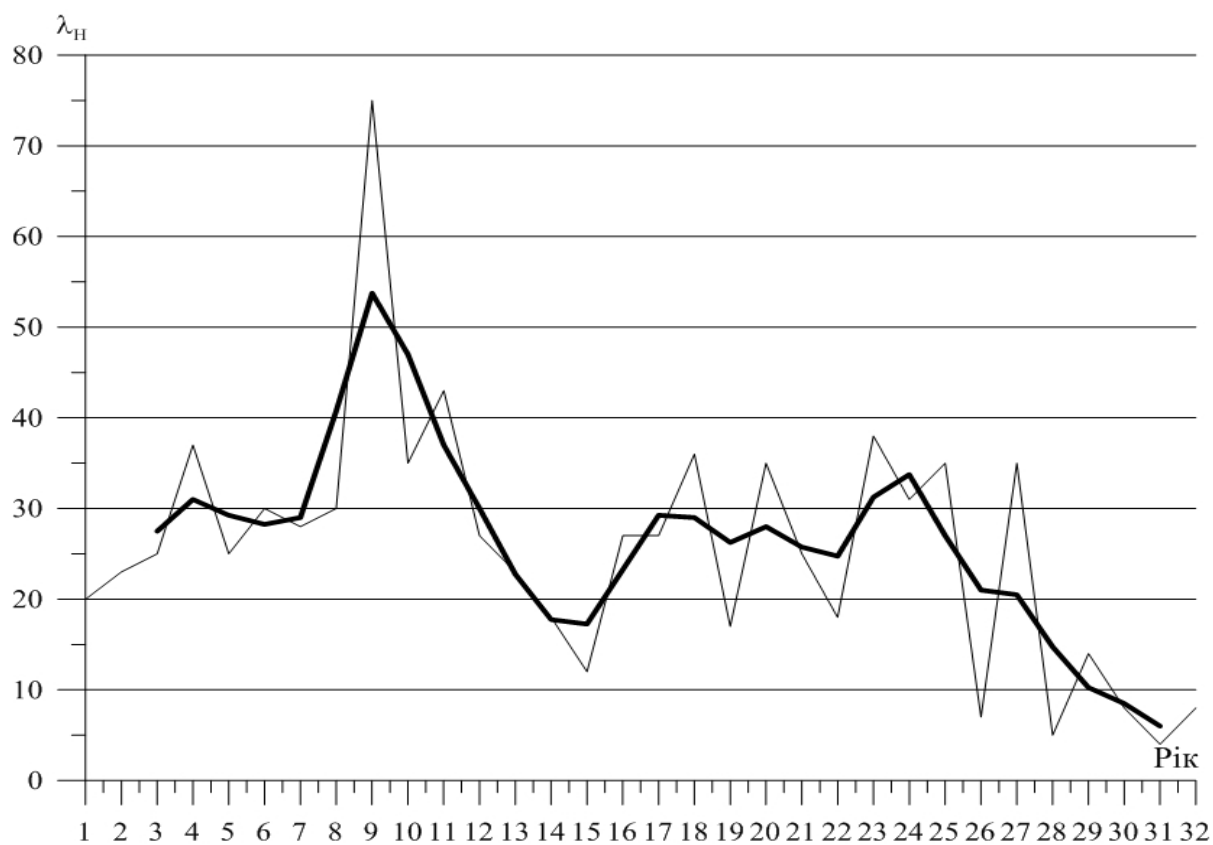


Рисунок 2.19 – Часовий та згладжений ряди довготи азорського максимуму (λ_H), в $^{\circ}$ зах.д. (грудень)

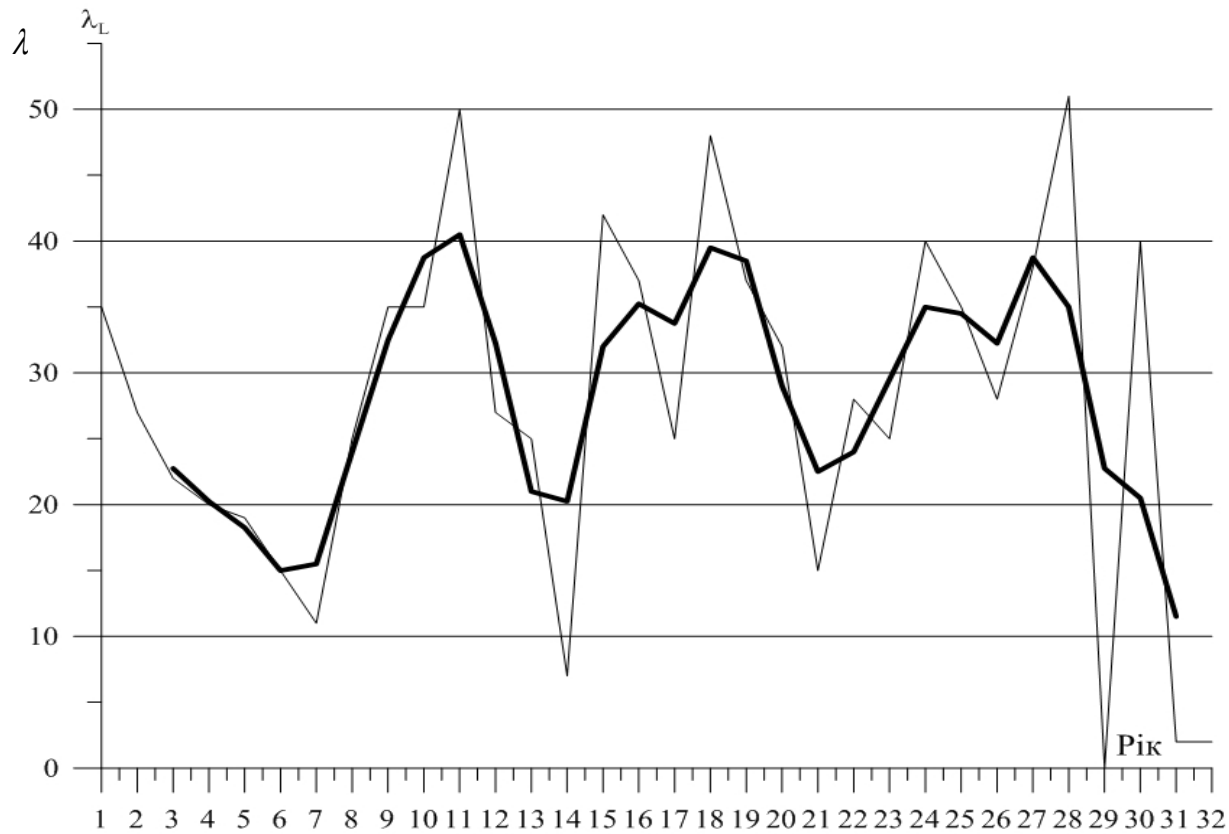


Рисунок 2.20 – Часовий та згладжений ряди довготи ісландського мінімуму (λ_L), в $^{\circ}$ зах.д. (грудень)

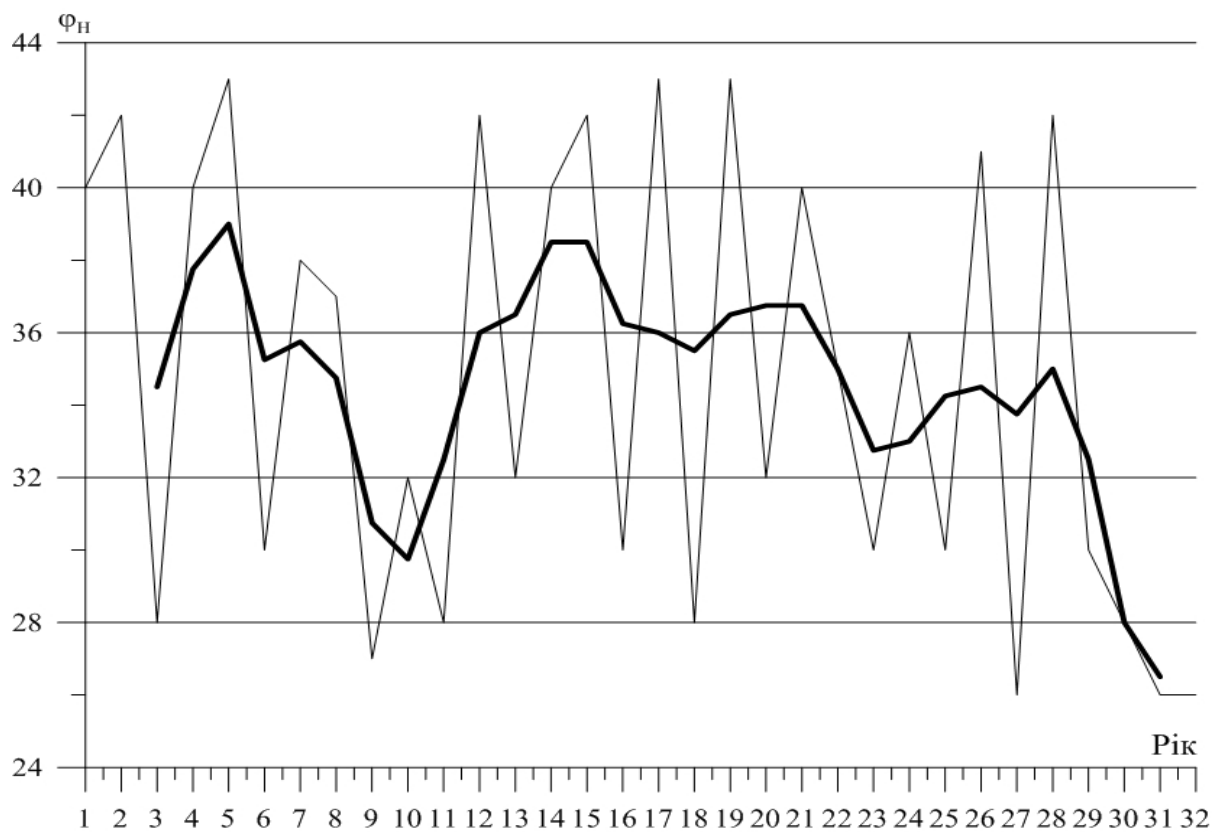


Рисунок 2.21 – Часовий та згладжений ряди широти азорського максимуму (φ_H), в $^{\circ}$ півн.ш. (грудень)

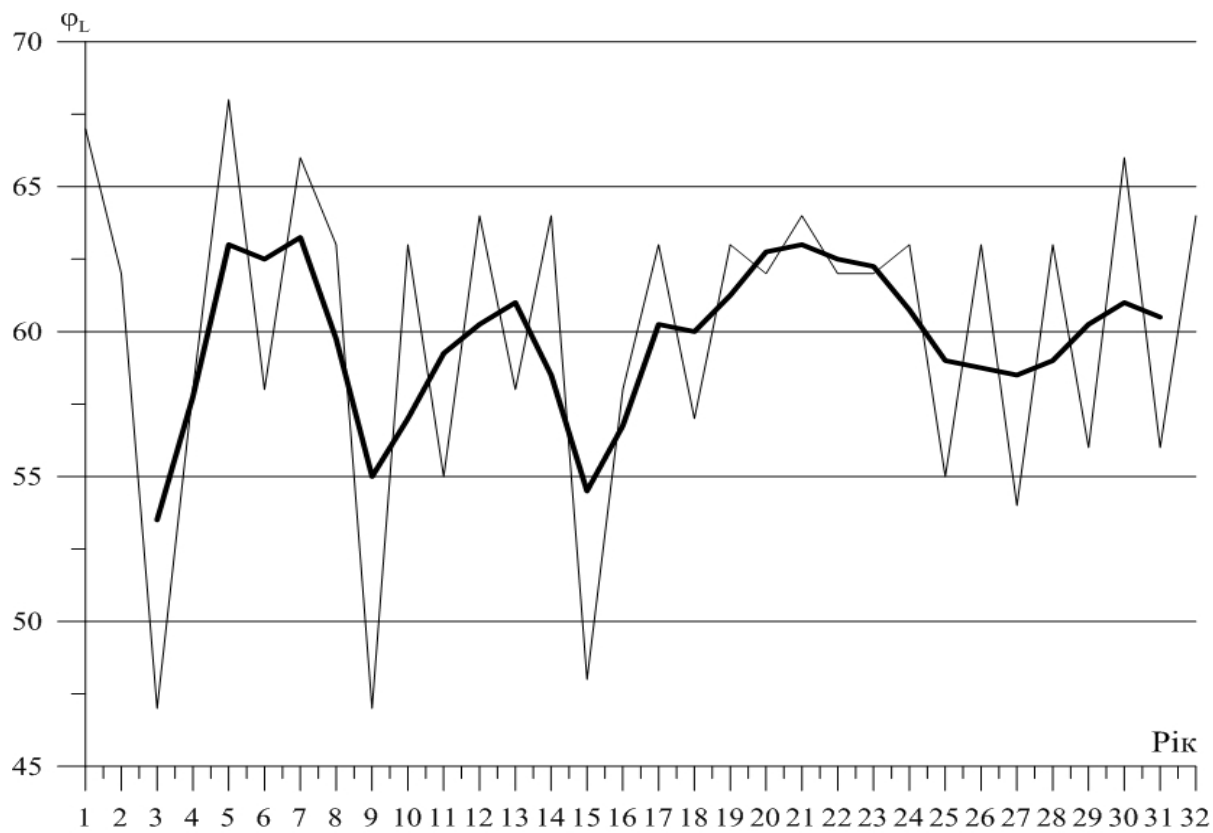


Рисунок 2.22 – Часовий та згладжений ряди широти ісландського мінімуму (φ_L), в $^{\circ}$ півн.ш. (грудень)

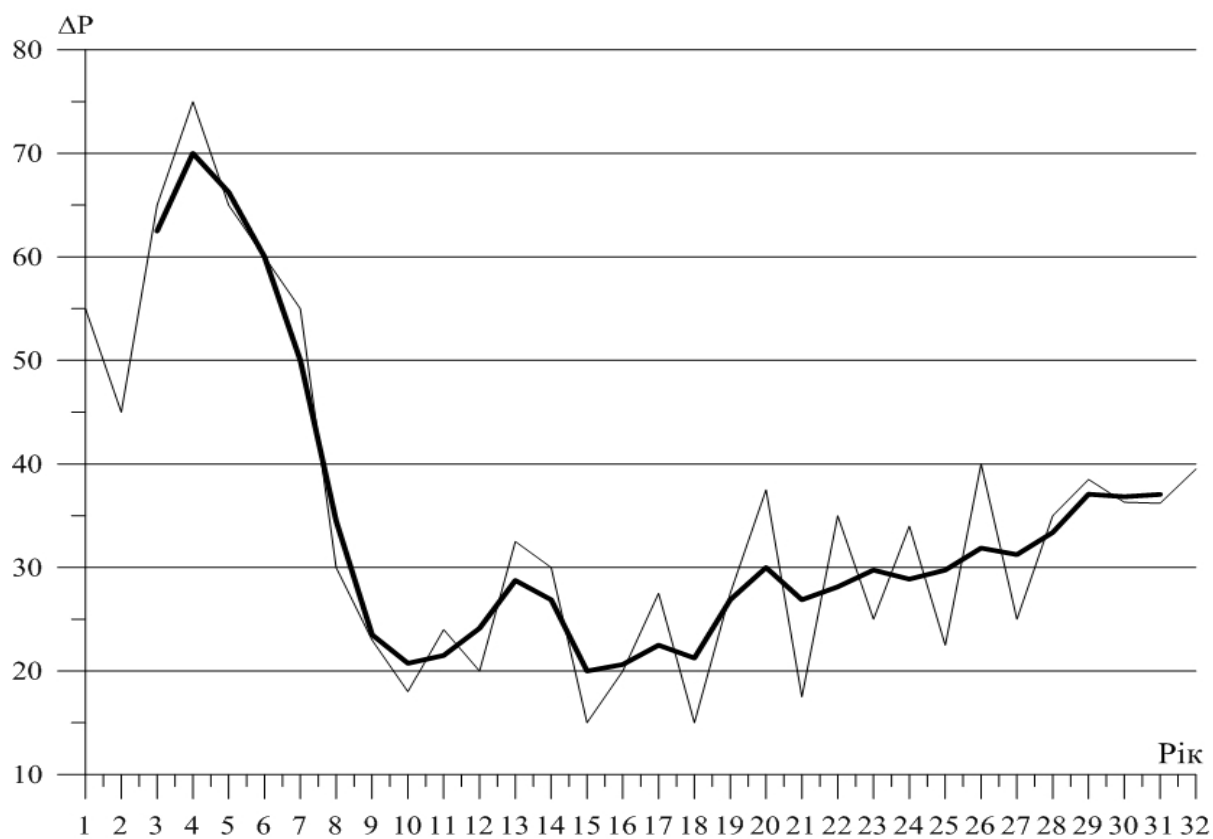


Рисунок 2.23 – Часовий та згладжений ряди різниці тиску (Δp), в гПа
(грудень)

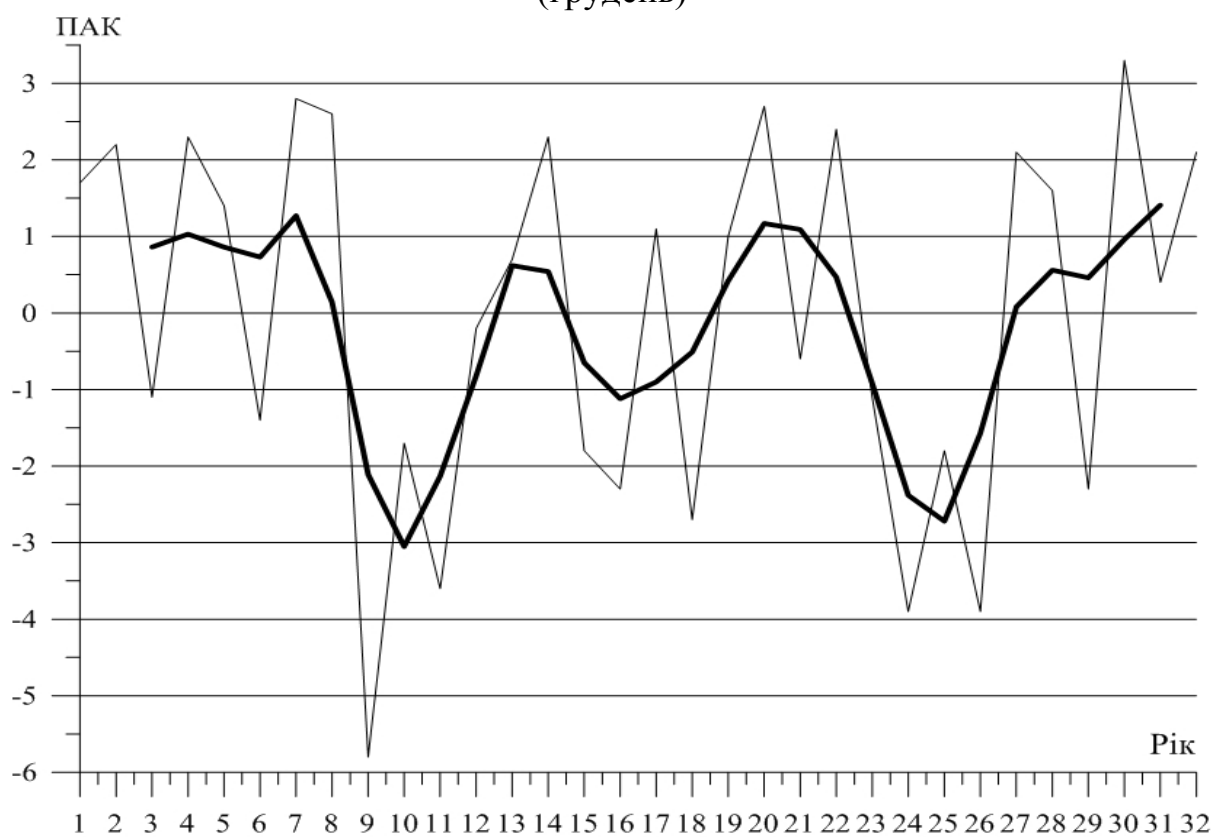


Рисунок 2.24 – Часовий та згладжений ряди індекса Північноатлантичного
коливання (ПАК) (грудень)

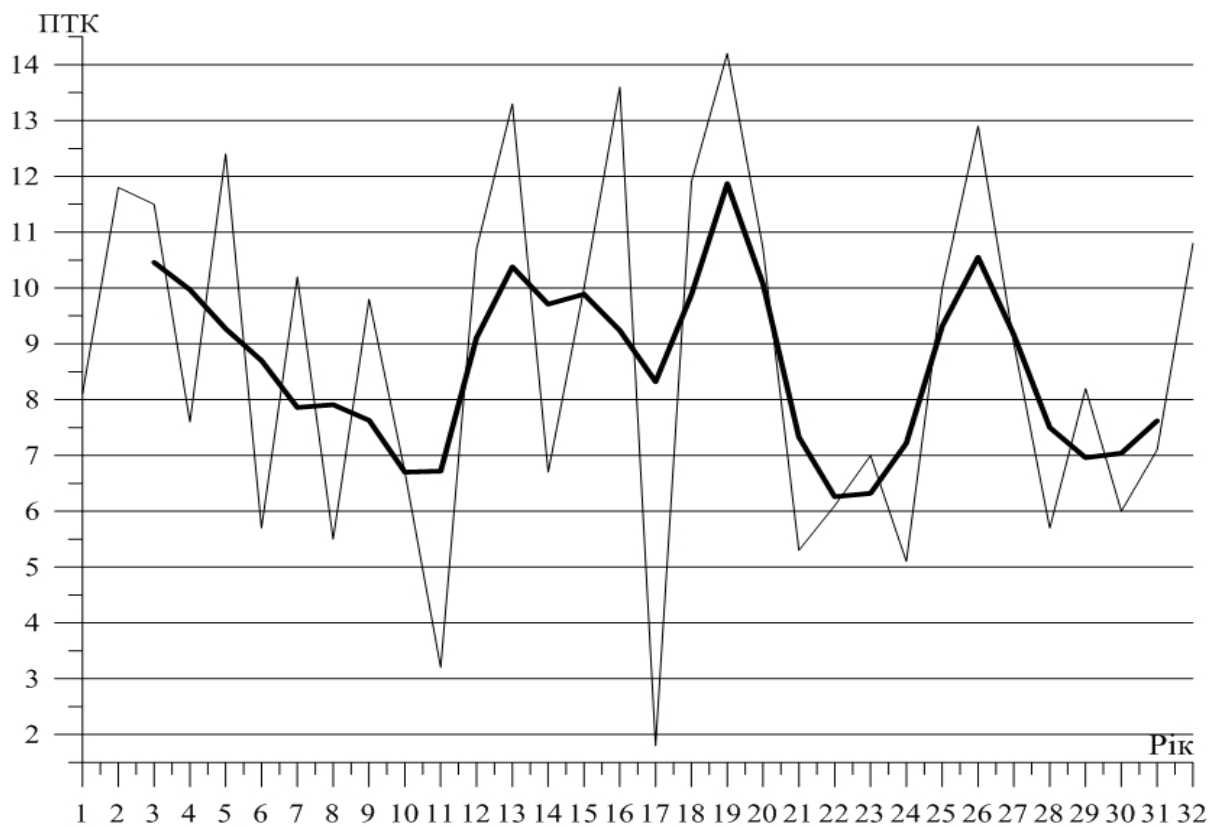


Рисунок 2.25 – Часовий та згладжений ряди індекса Північно-тихоокеанського коливання (ПТК) (грудень)

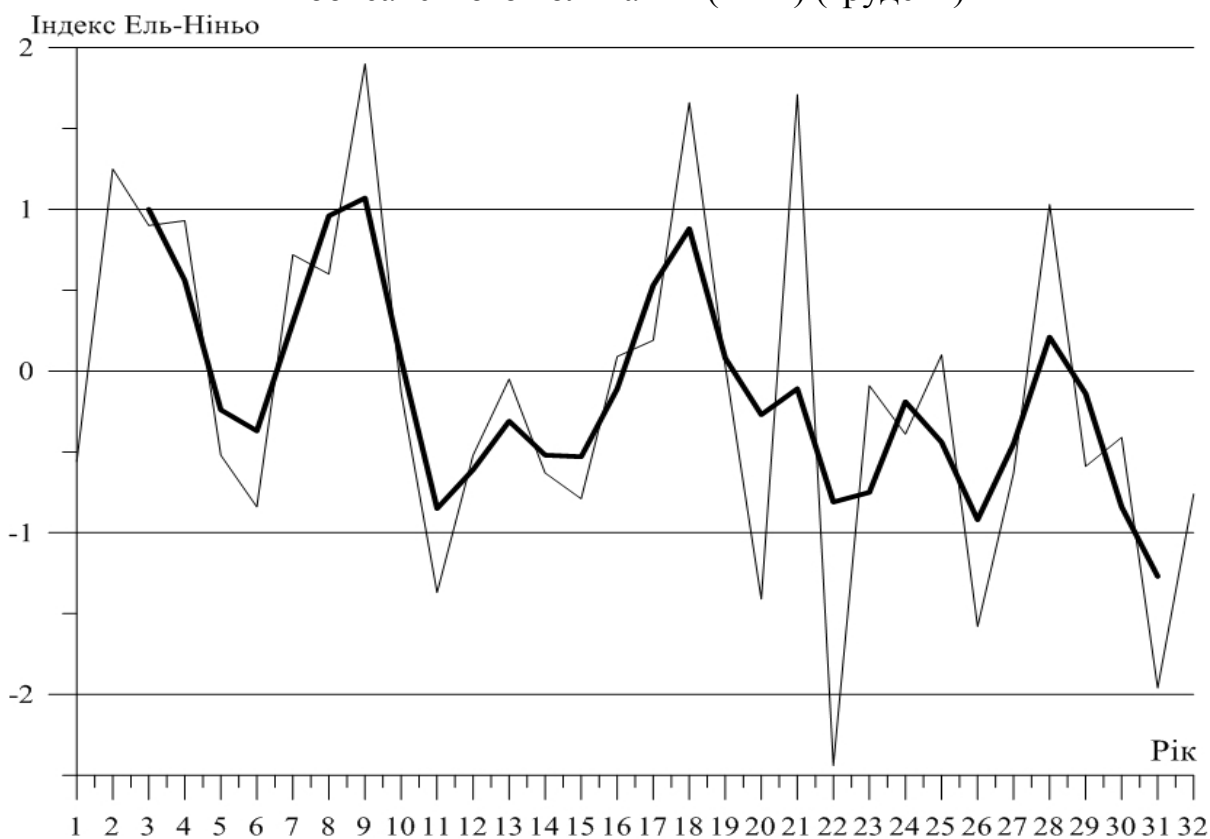


Рисунок 2.26 – Часовий та згладжений ряди індекса Ель-Ніньо-Південного коливання (ЕНПівдК) (грудень)

Однак індекс ПАК становить інтерес тим, що він характеризує процес зміни у часі (в річному масштабі) меридіонального градієнта тиску атмосфери над Північною Атлантикою, а, отже, і інтенсивність циклонічної діяльності. З рис.2.24 випливає, що його часовий ряд представляє собою різко виражений коливальний процес з періодичністю 2-3 роки. При згладжуванні вихідного часового ряду виявляються ще й періодичності більшого масштабу - 8-10 років, такі що добре узгоджуються з результатами, одержаними за допомогою перетворення Фур'є (табл.2.2). Різко коливальний характер має також індекс ПТК (рис.2.25) з 6-8 річної періодичністю, на яку накладаються добре виражені коливання з періодом в 2-3 роки. Часовий ряд індексу Ель-Ніньо - Південного коливання (рис.2.26), як і часові ряди індексів ПАК і ПТК, також містить 2-3 літні коливання, однак, на згладженому по 5-річному періоду часовому ряді виявляються і більш тривалі коливання - 5-6 і 9 років.

Розгляд просторової і часової структури часових рядів діючих факторів, які входять в математичну модель, вказує на те, що, по-перше, всі вони мають певні фізичний зміст, по-друге, відбивають процеси, які протікають в атмосфері і океані і, по-третє, мають досить добре виражену мінливість. Все це підтверджує їх фізичну обумовленість і значущість як чинників, які відбивають у середньому процеси кліматоутворення, які, у свою чергу, зумовлюють формування кліматичних особливостей території Європи і України в тому числі.

Також нижче представлено графічне зображення часового ходу першого та другого узагальнених факторів параметрів, відбиваючих процеси взаємодії атмосфери та океану у Північній Атлантиці у районі розташування кораблів погоди, у січні та лютому.

У таблицях 2.5 – 2.6 наводяться значення параметрів періодичностей, які виявлені за допомогою перетворення Фур'є в часових рядах діючих факторів у січні та лютому.

Таблиця 2.5 – Параметри періодичностей, схованих у часових рядах діючих факторів (січень)

Номер фактора (F) і корабля (K)	ω , рік ⁻¹	T , рік	A	φ , рад
1.	2.	3.	4.	5.
$F1K1$	2,01	3,13	0,39	0,27
$F2K1$	0,81	7,76	0,28	0,41
	1,71	3,68	0,29	0,85
	3,21	1,96	0,40	-1,57

Продовження табл.2.5

<i>F1K2</i>	1,17	3,68	0,51	1,00
<i>F2K2</i>	-	-	-	-
<i>F1K3</i>	1,71	3,77	0,45	0,65
<i>F2K3</i>	-	-	-	-
<i>F1K4</i>	0,51	12,33	0,55	-0,01
<i>F2K4</i>	2,01	3,13	0,48	-0,35
<i>F1K5</i>	1,71	3,68	0,22	1,17
<i>F2K5</i>	-	-	-	-
<i>F1K6</i>	0,81 2,01	7,76 3,13	0,38 0,41	0,69 0,32
<i>F2K6</i>	1,11	5,66	0,34	-1,19
<i>F1K7</i>	1,71 2,91	3,68 2,16	0,48 0,41	-0,10 0,66
<i>F2K7</i>	2,91	2,16	0,41	-0,21
<i>F1K8</i>	2,31	2,72	0,39	-1,35
<i>F2K8</i>	0,51 2,61	12,33 2,41	0,38 0,39	-1,21 -0,14
<i>F1K9</i>	1,71	3,68	0,48	0,62
<i>F2K9</i>	3,21	1,96	0,58	1,1

Таблиця 2.6 – Параметри періодичностей, схованих у часових рядах діючих факторів (лютий)

Номер фактора (<i>F</i>) і корабля (<i>K</i>)	ω , рік ⁻¹	<i>T</i> , рік	<i>A</i>	φ , рад
1.	2.	3.	4.	5.
<i>F1K1</i>	0,51	12,33	0,55	-0,18
<i>F2K1</i>	1,11	5,67	0,36	0,24
<i>F1K2</i>	1,41 2,91	4,46 2,16	0,32 0,32	-0,21 -0,18
<i>F2K2</i>	немає значущих періодичностей			
<i>F1K3</i>	1,71	3,68	0,53	0,17
<i>F2K3</i>	0,51 3,21	12,33 1,96	0,53 0,41	-0,78 -1,48
<i>F1K4</i>	1,11	5,66	0,54	0,30

Продовження табл.2.6

<i>F2K4</i>	0,51	12,33	0,43	-0,51
<i>F1K5</i>	1,11 3,21	5,66 1,96	0,35 0,4	1,48 1,56
<i>F2K5</i>	-	-	-	-
<i>F1K6</i>	0,51 2,01	12,33 3,13	0,44 0,44	0,41 -1,33
<i>F2K6</i>	3,21	1,96	0,29	-1,36
<i>F1K7</i>	0,51 2,01	12,33 3,13	0,36 0,37	0,11 -1,30
<i>F2K7</i>	-	-	-	-
<i>F1K8</i>	2,01	3,13	0,39	-0,60
<i>F2K8</i>	2,01 3,21	3,13 1,96	0,41 0,4	1,28 1,32
<i>F1K9</i>	2,91	2,16	0,48	0,16
<i>F2K9</i>	3,21	1,96	0,73	1,38

На рис.2.27-2.57 представлені вихідні часові ряди всіх розглянутих діючих факторів для січня та лютого. Позначення на цих рисунках подібні позначенням на рис. 2.2-2.26. Ковзне осереднення здійснювалось також за 4-х річним періодом.

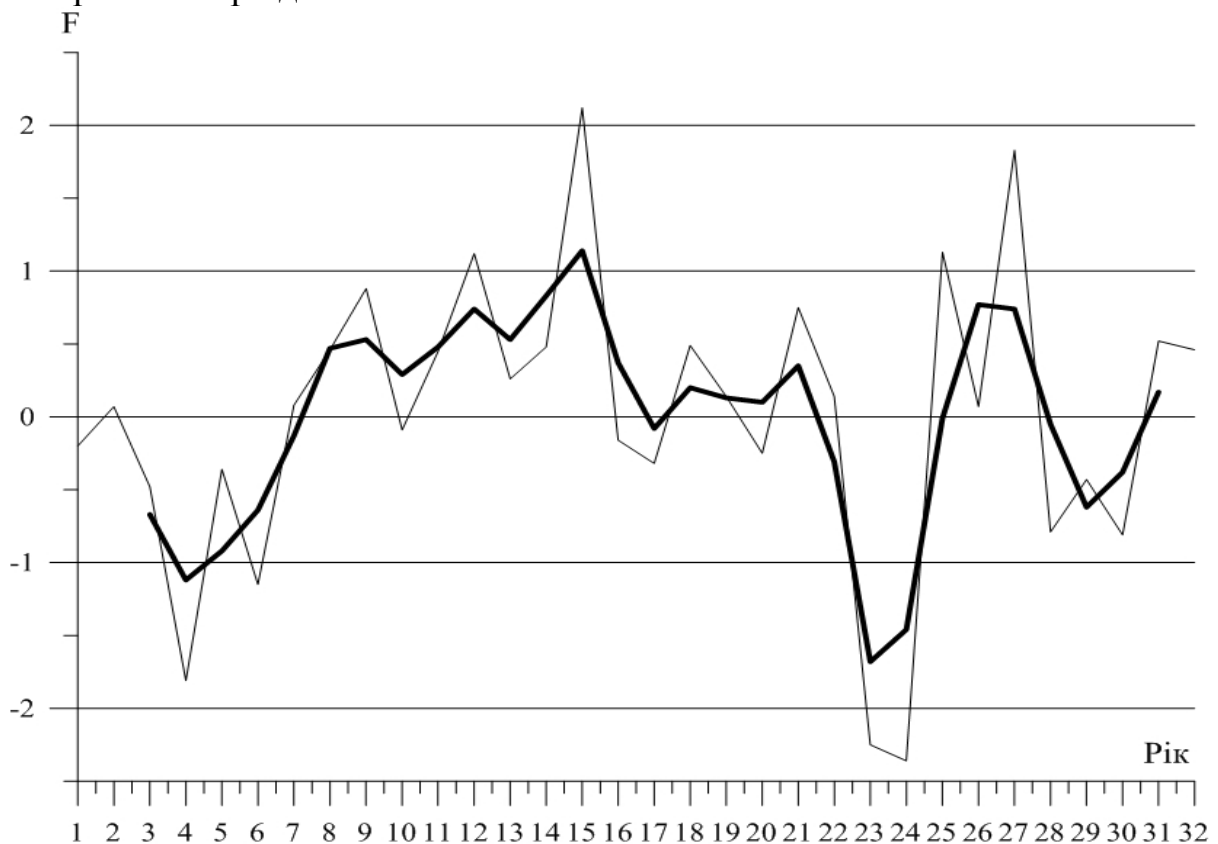
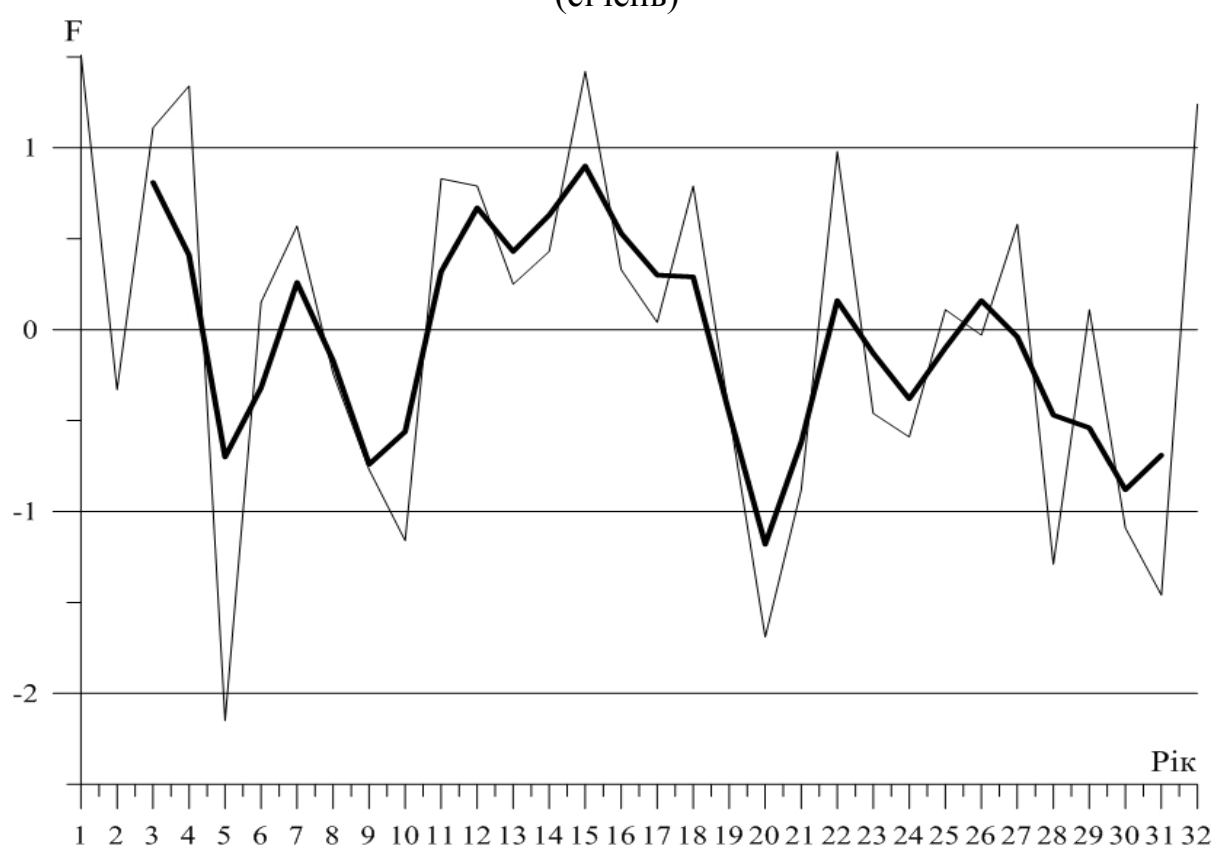
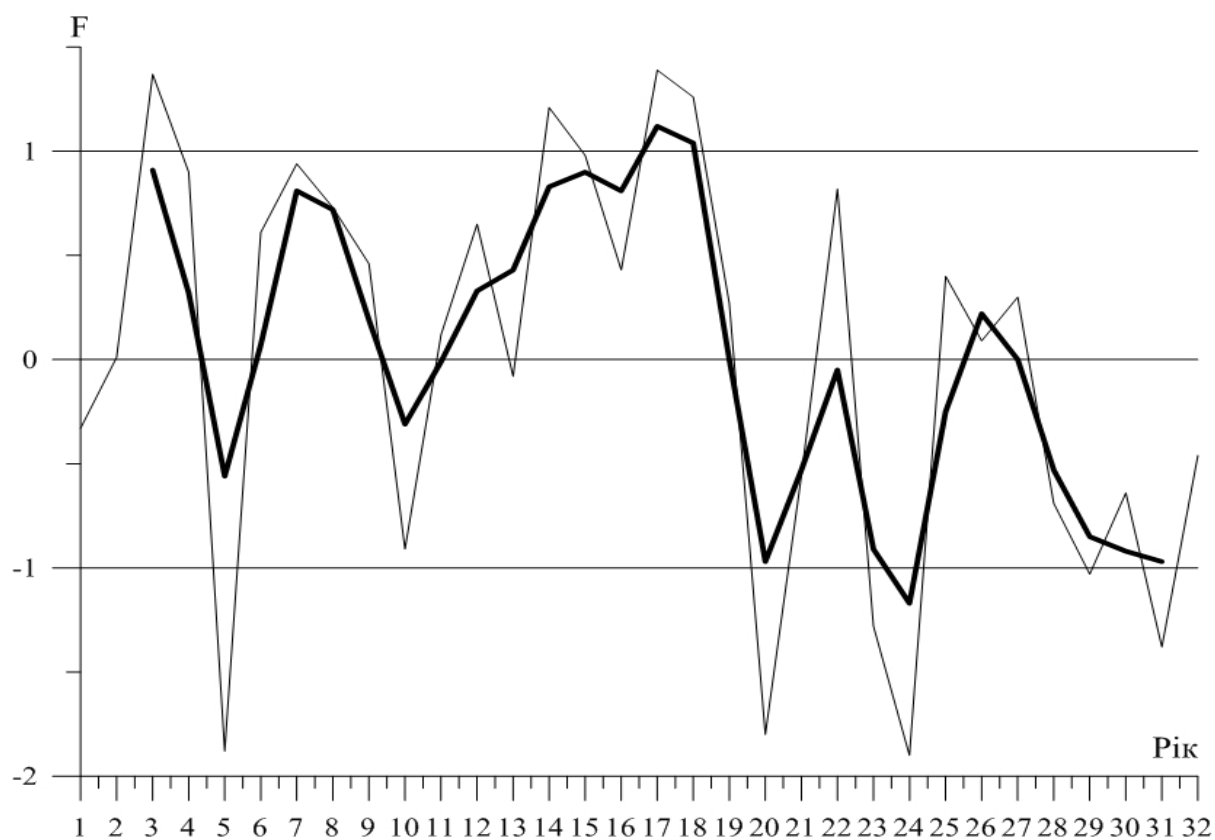


Рисунок 2.27 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора *F1K1* (січень)



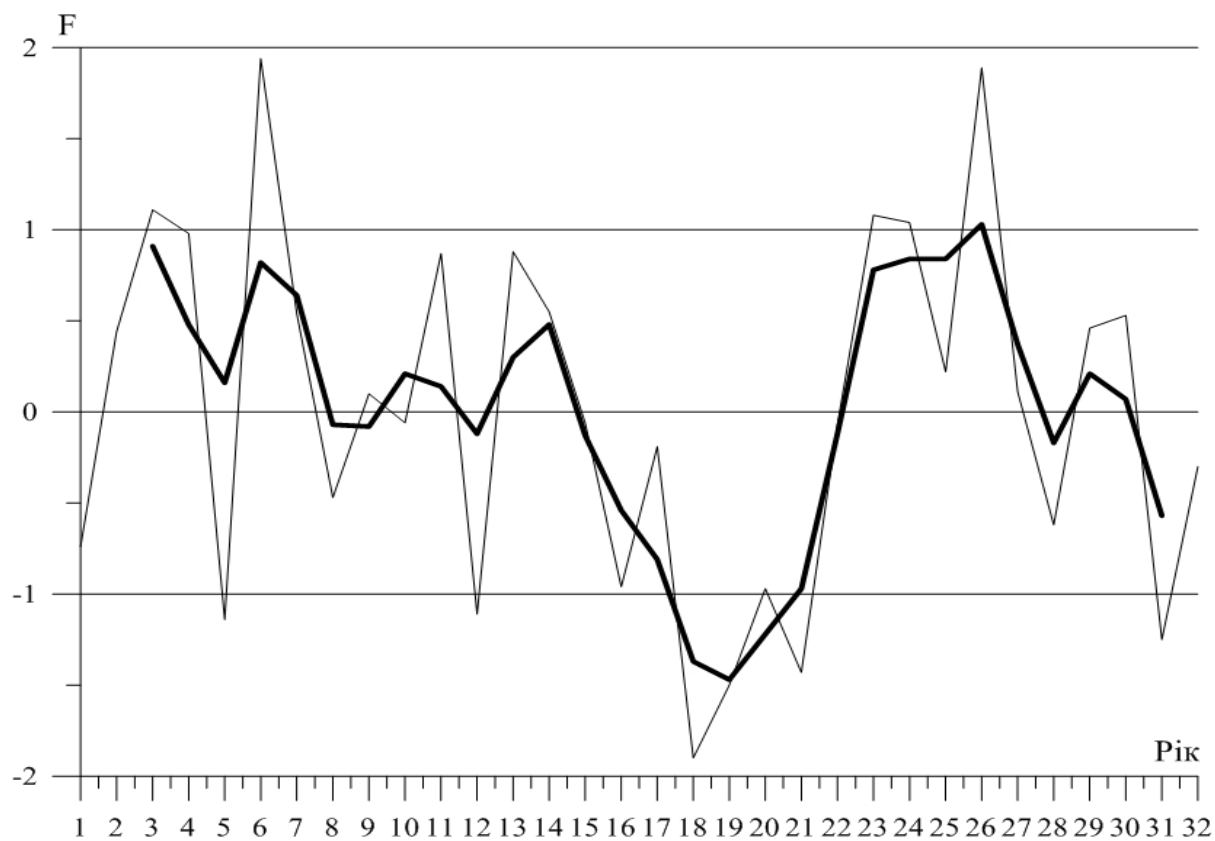


Рисунок 2.30 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K4$ (січень)

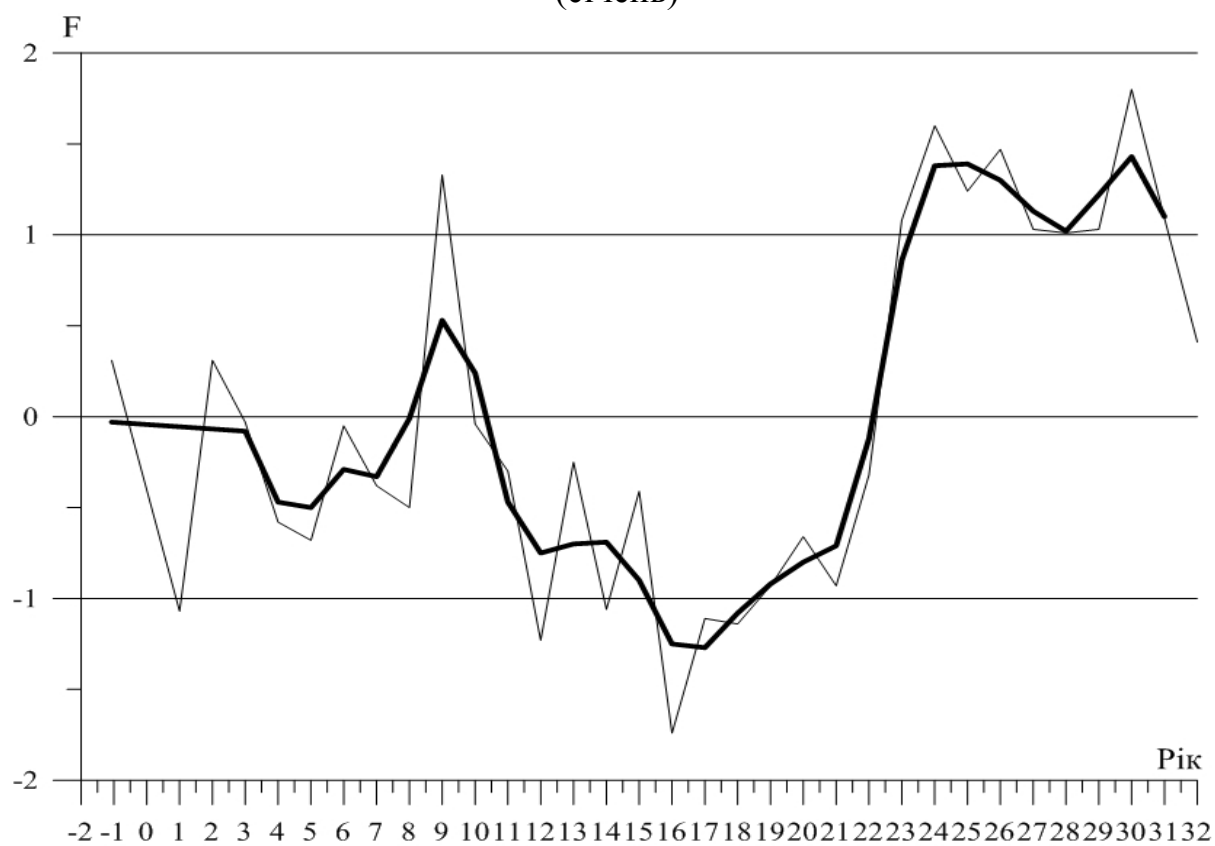


Рисунок 2.31 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K5$ (січень)

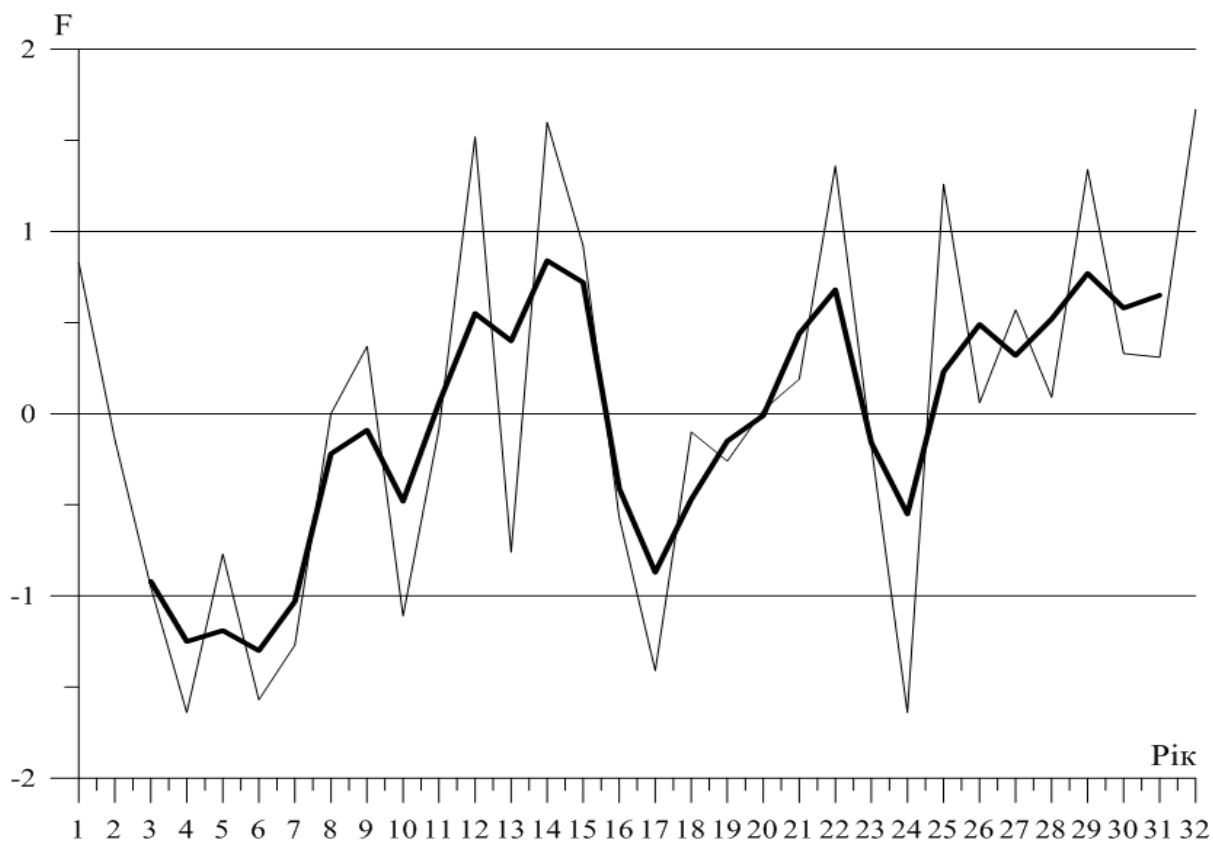


Рисунок 2.32 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K6$ (січень)

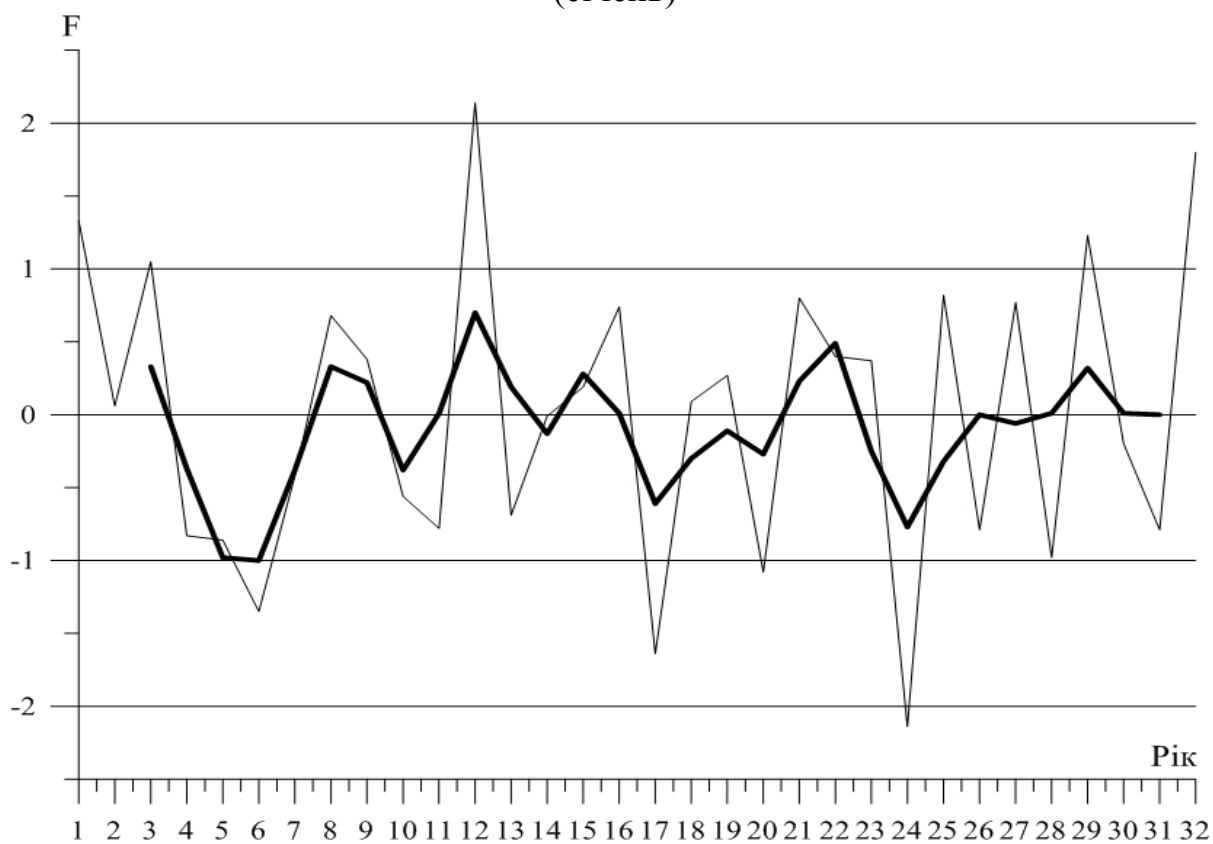
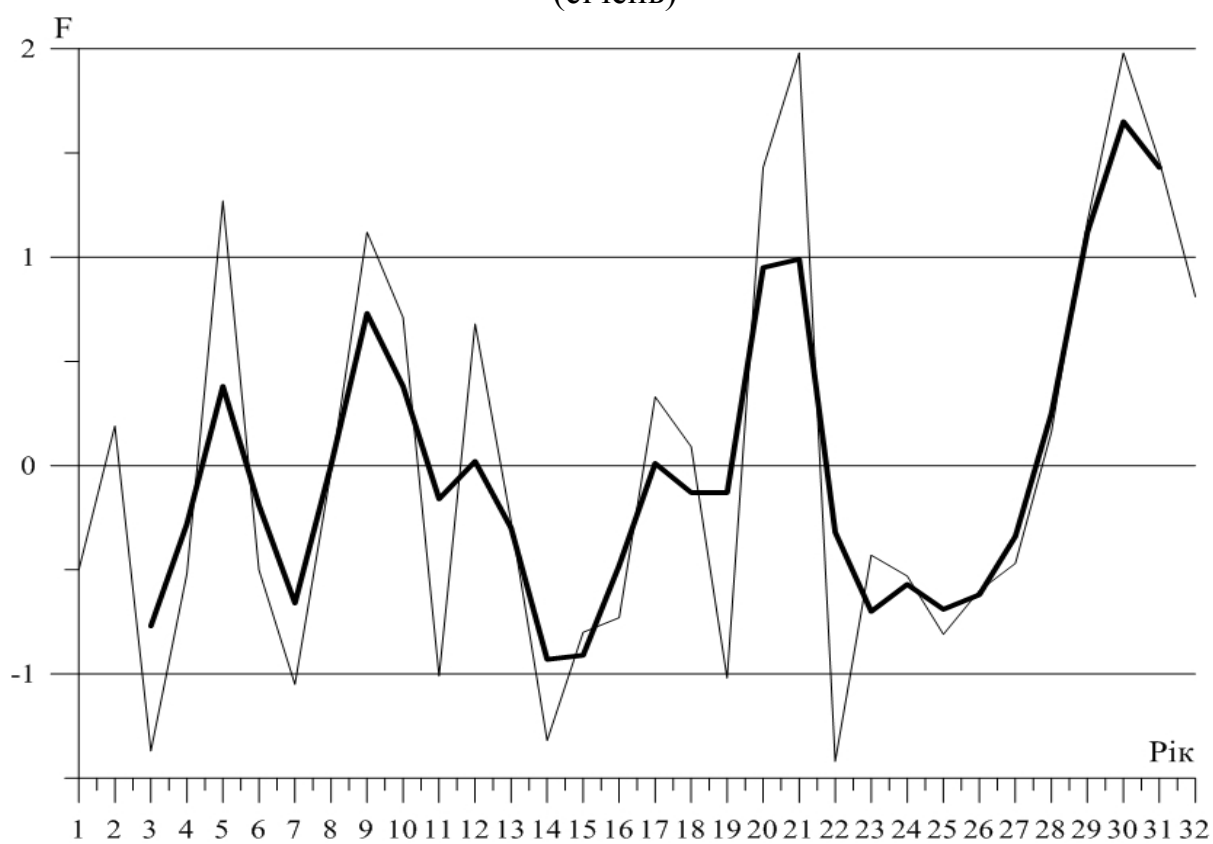
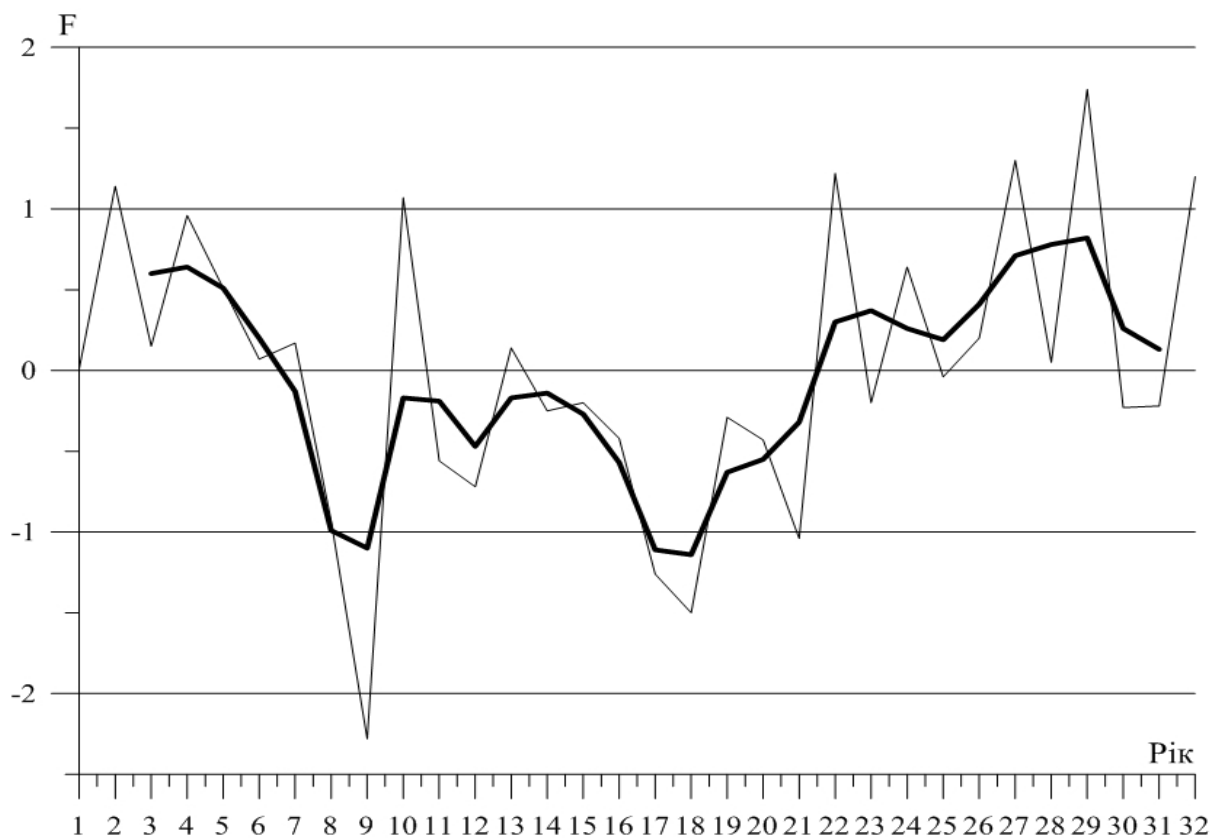
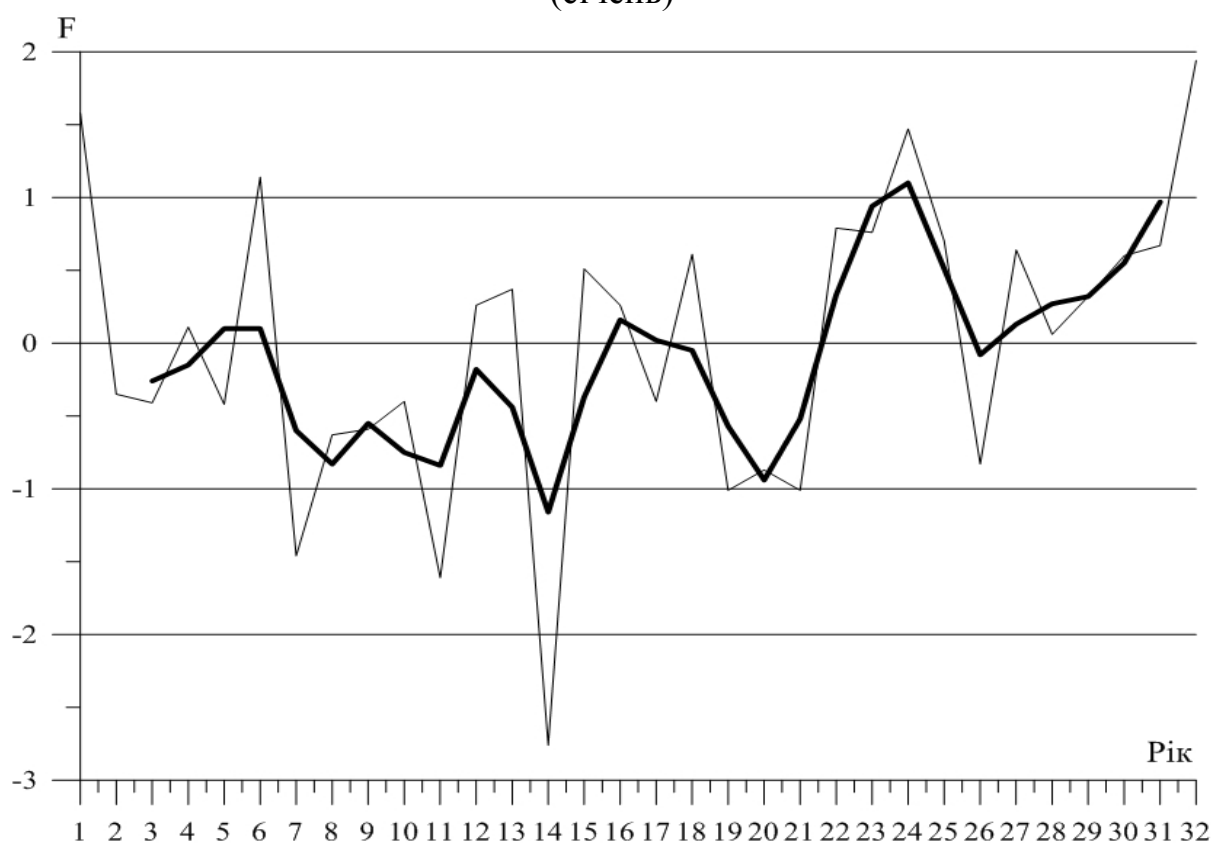
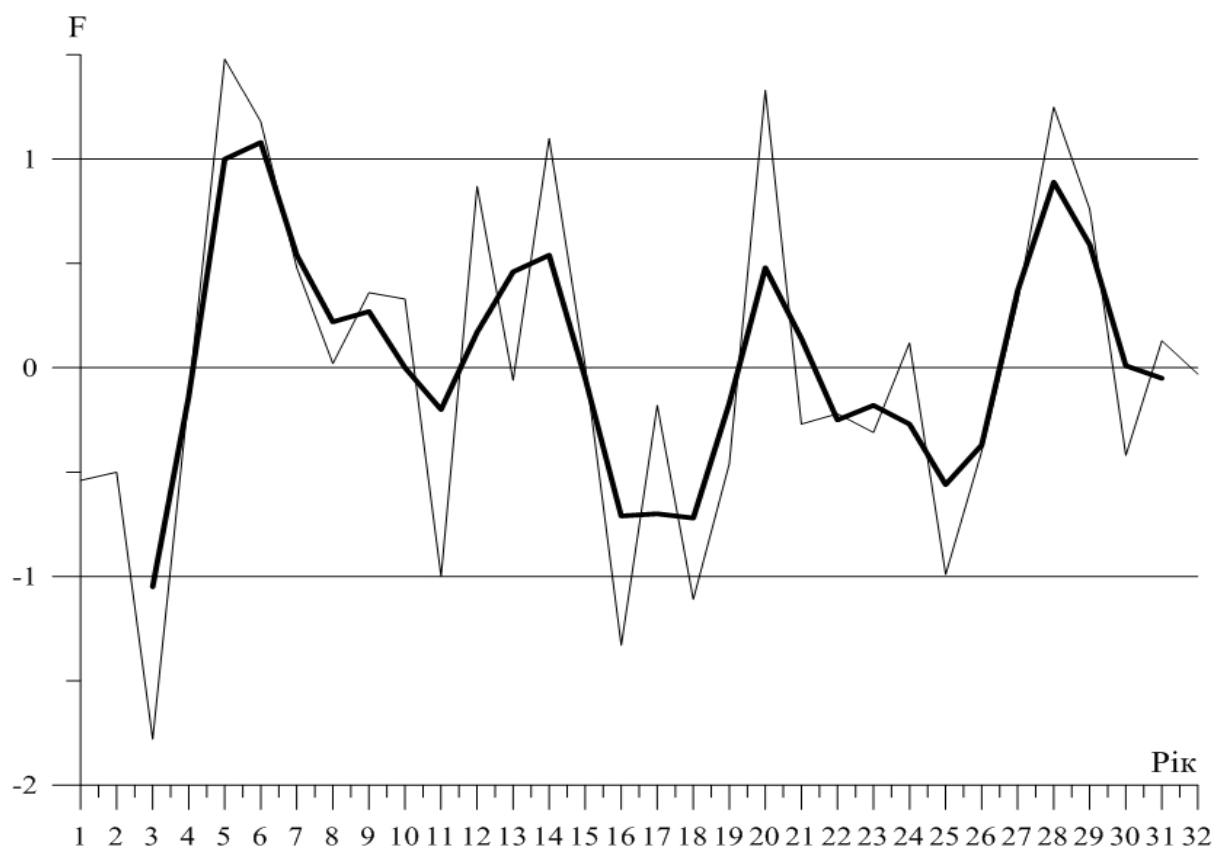


Рисунок 2.33 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K7$ (січень)





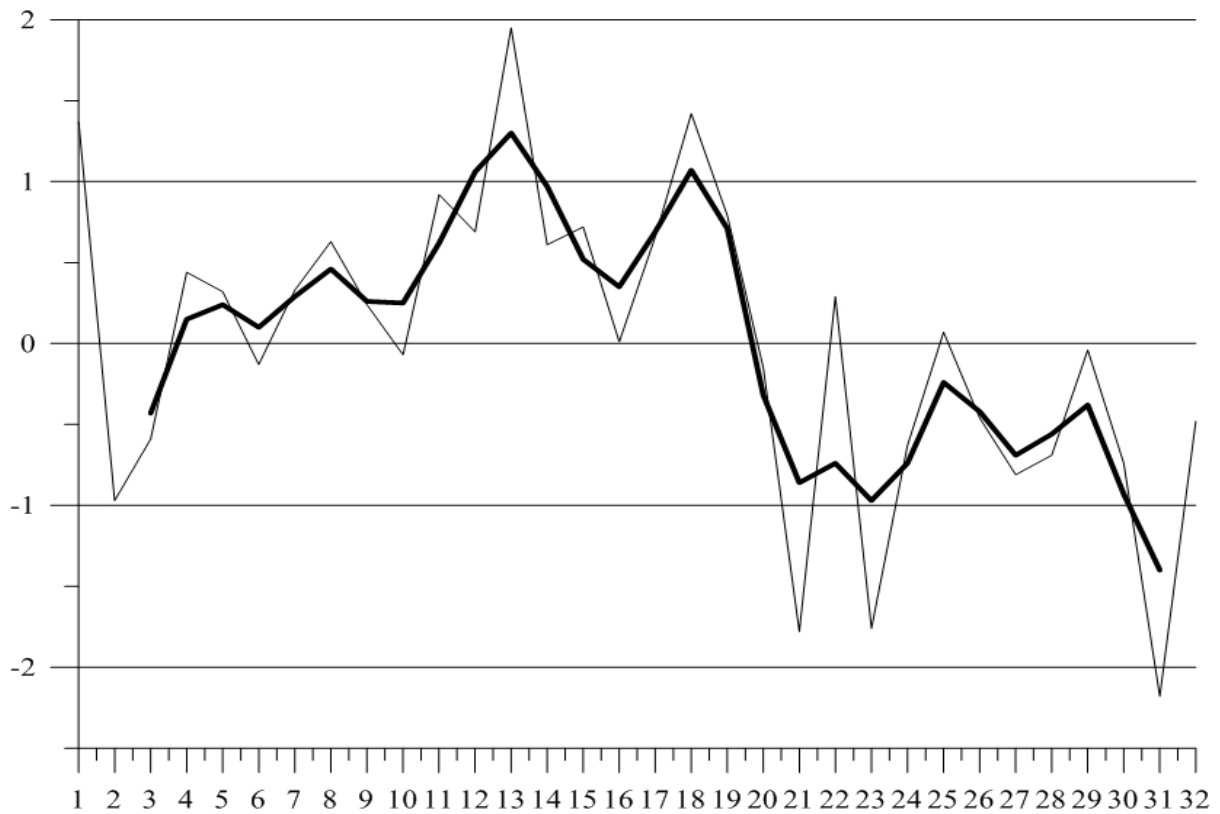


Рисунок 2.38 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K6$ (січень)

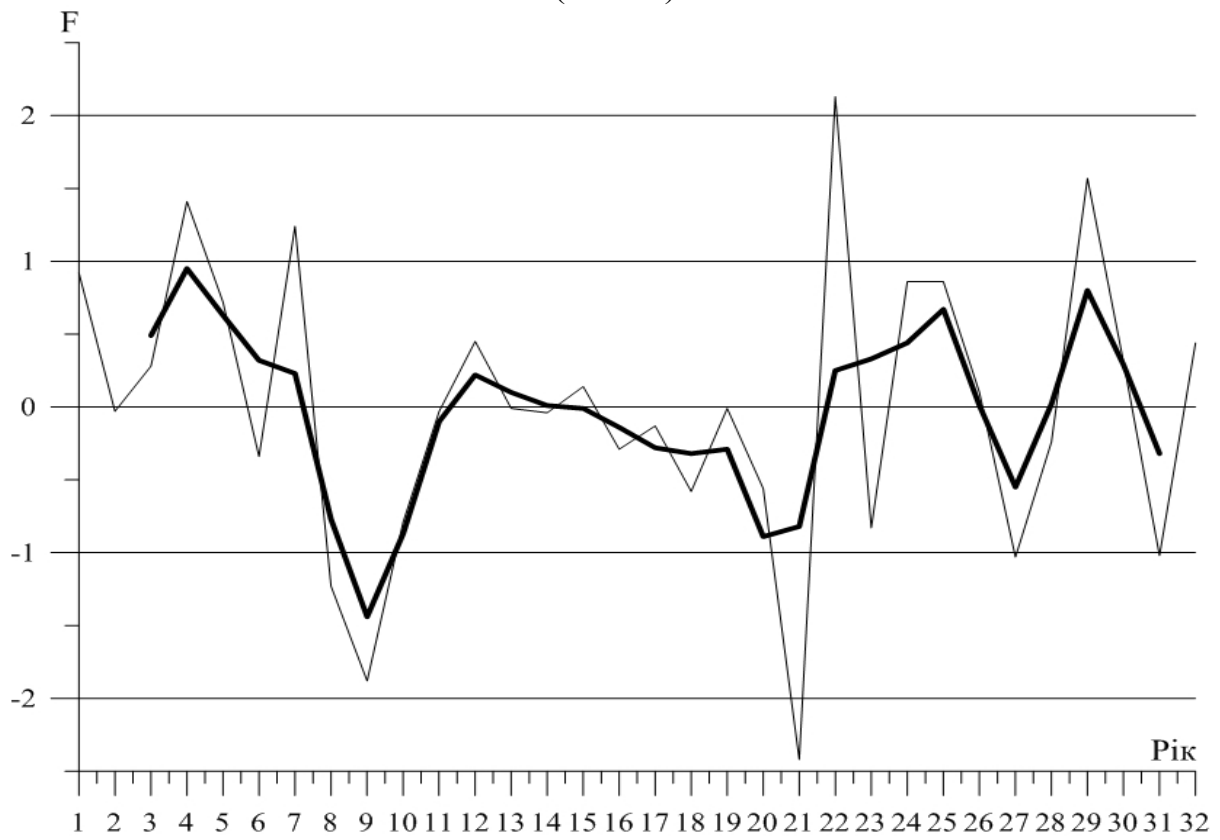


Рисунок 2.39 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K7$ (січень)

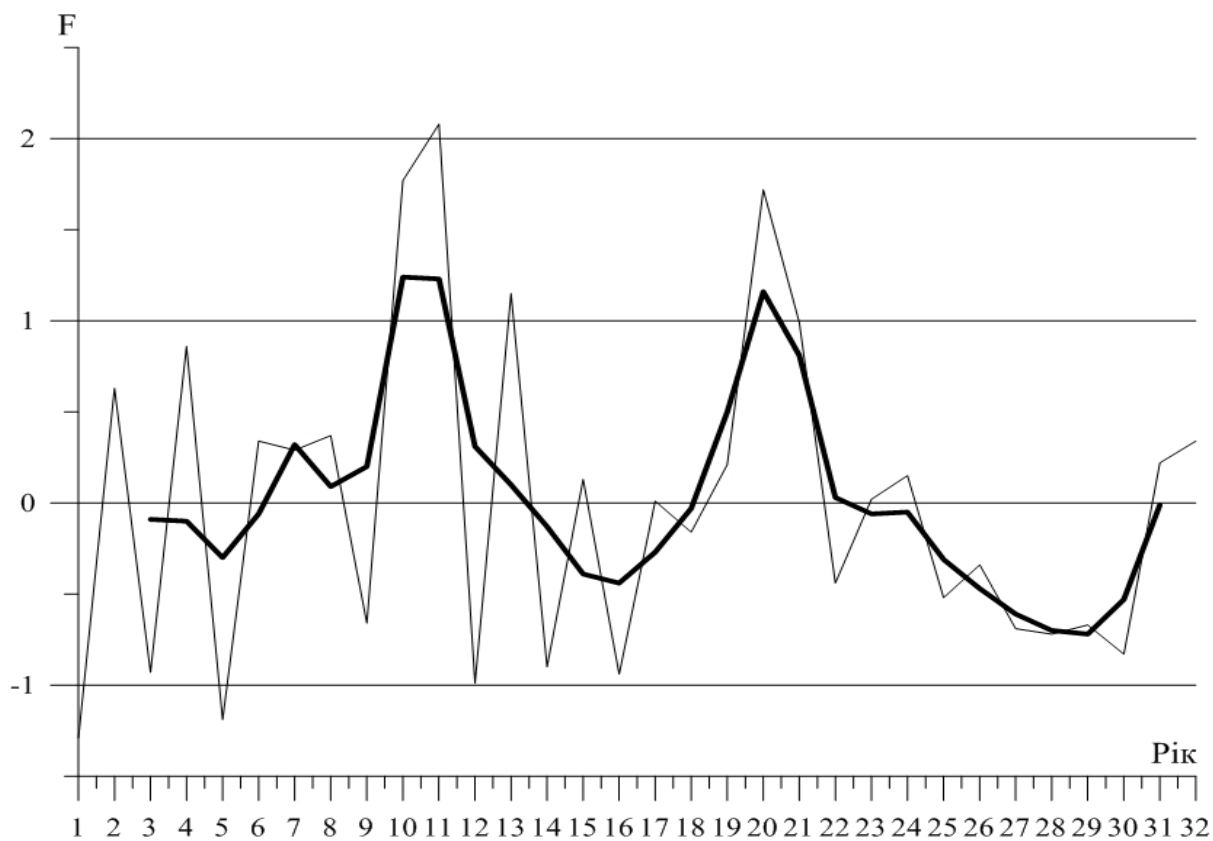


Рисунок 2.40 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K8$ (січень)

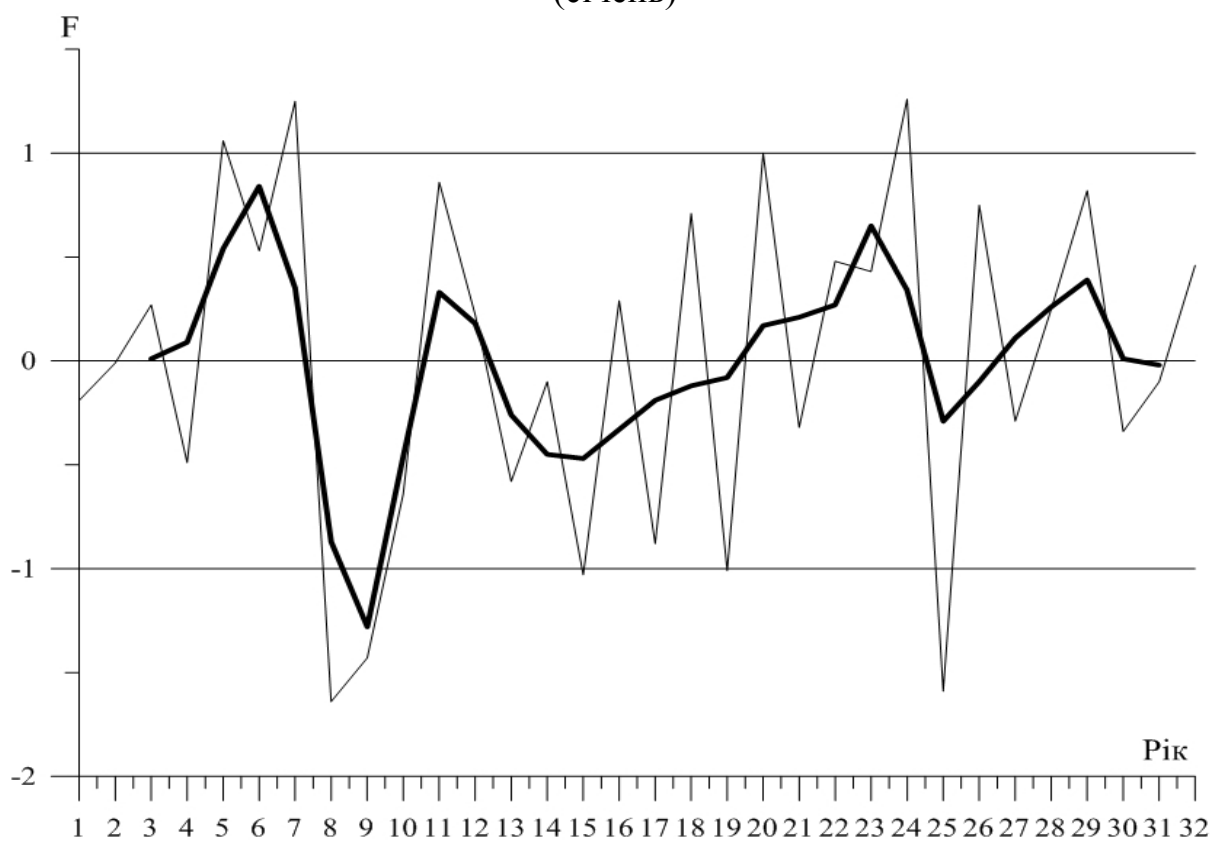
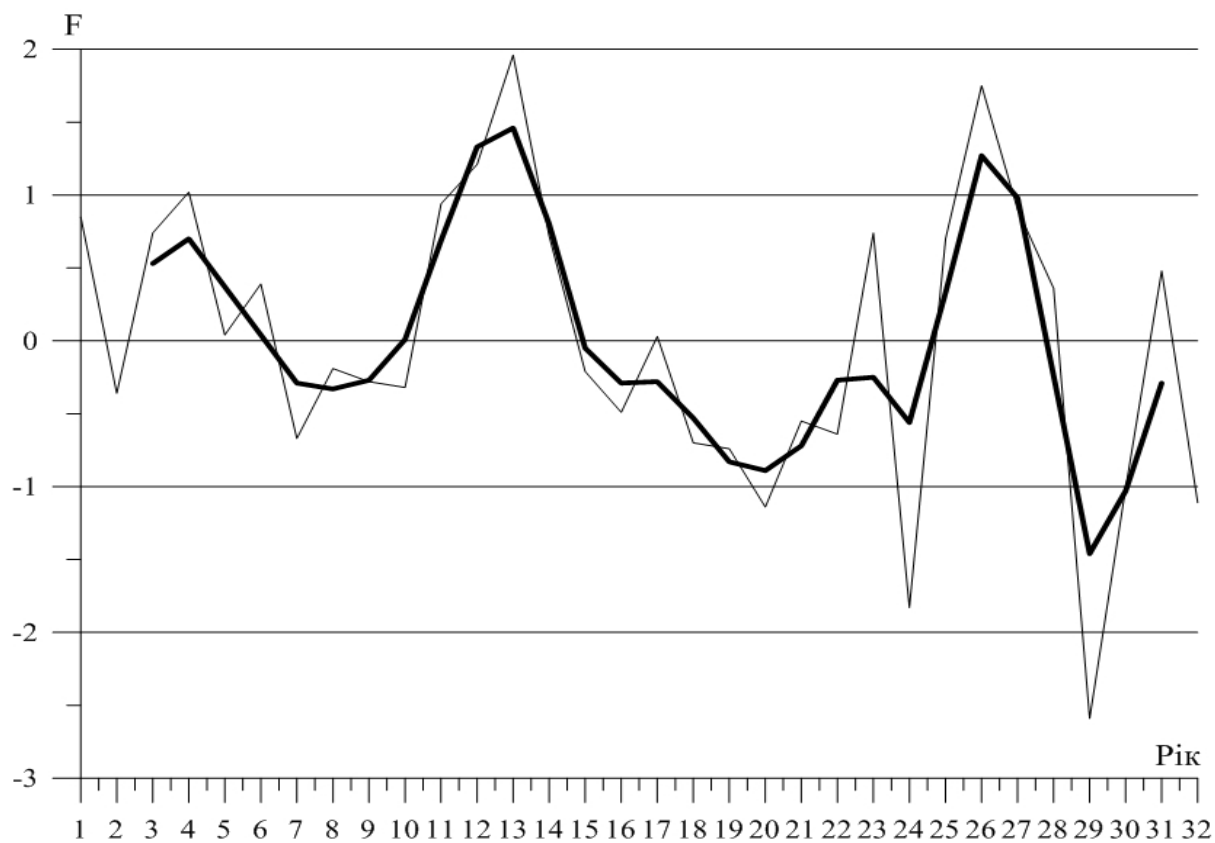


Рисунок 2.41 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K9$ (січень)



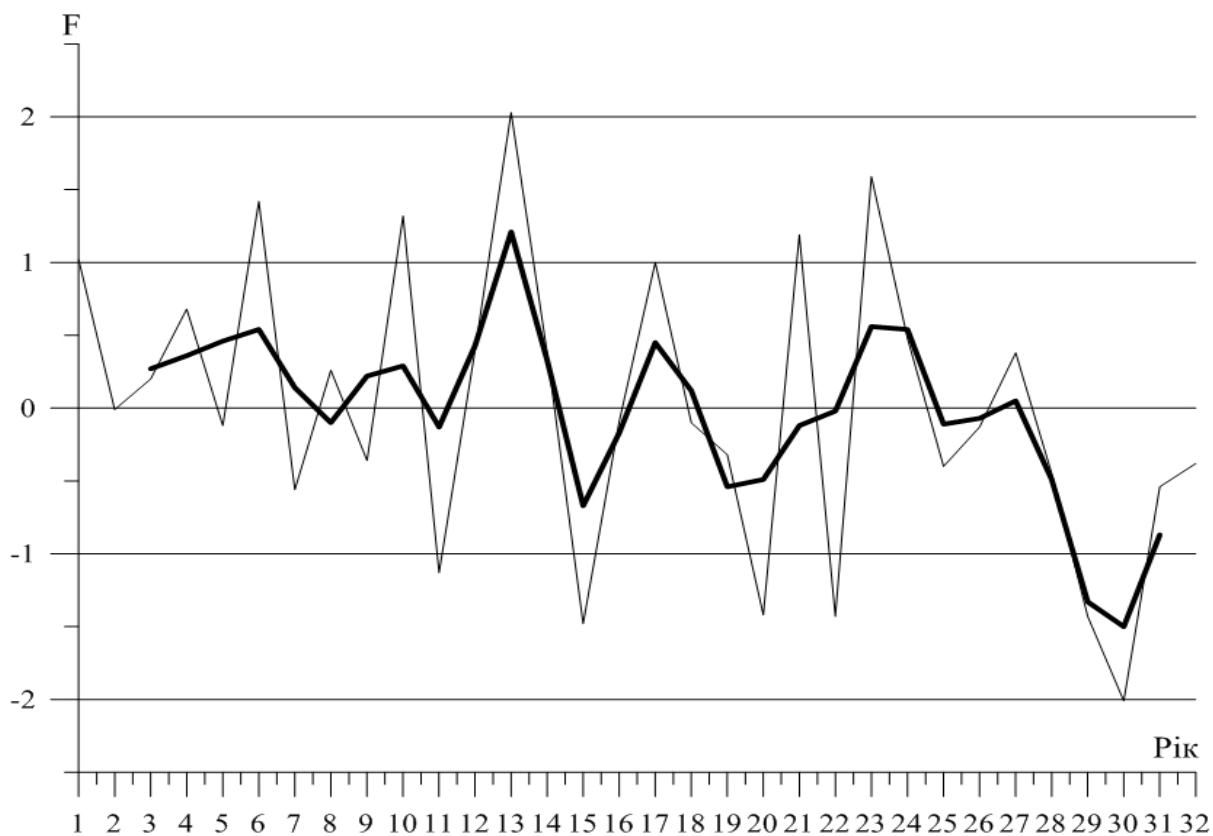


Рисунок 2.44 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $FIK3$ (лютий)

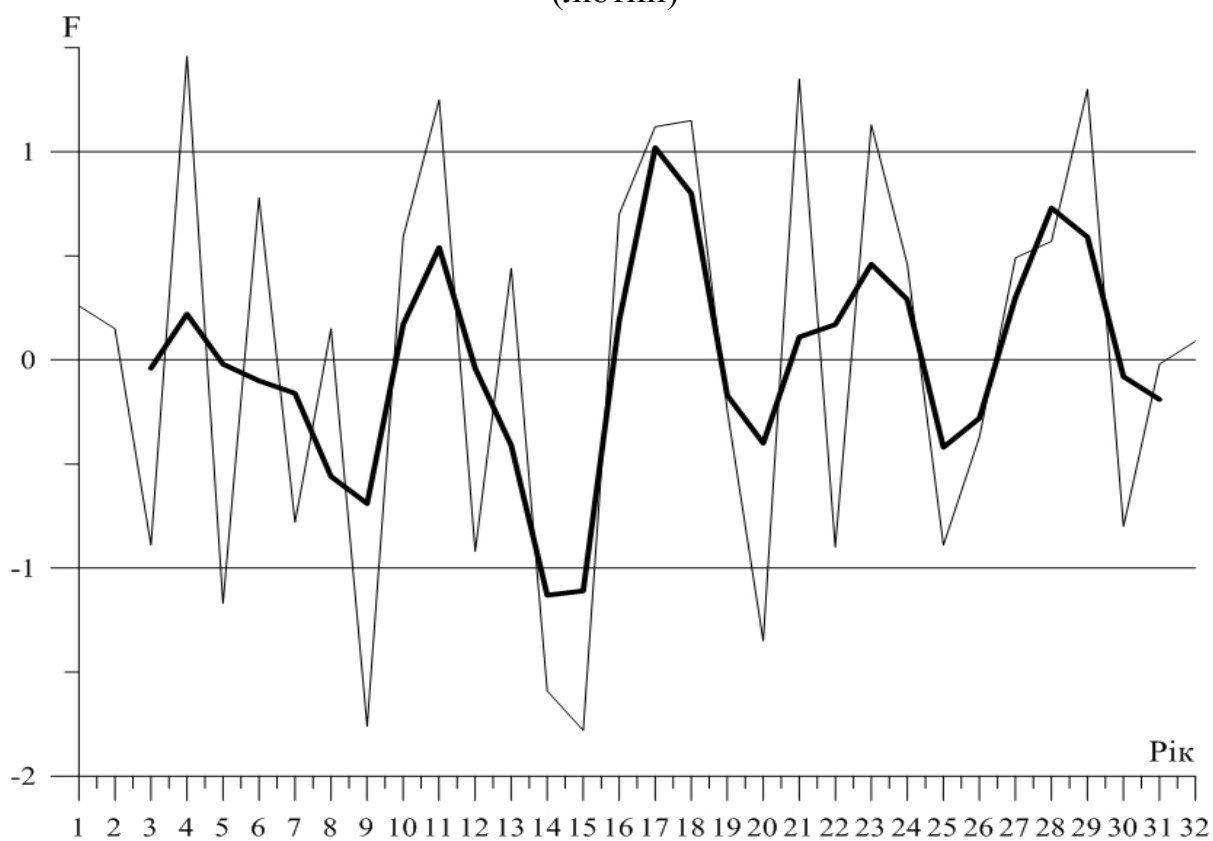
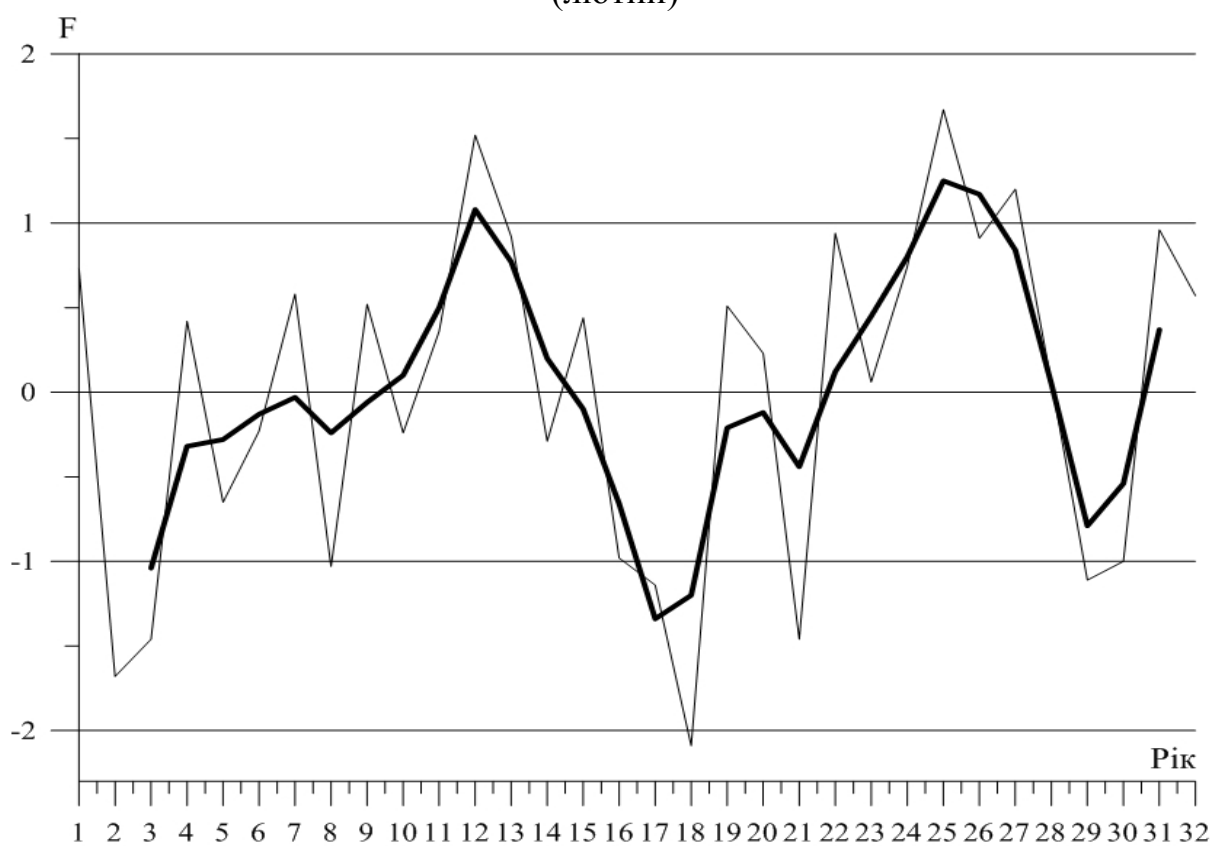
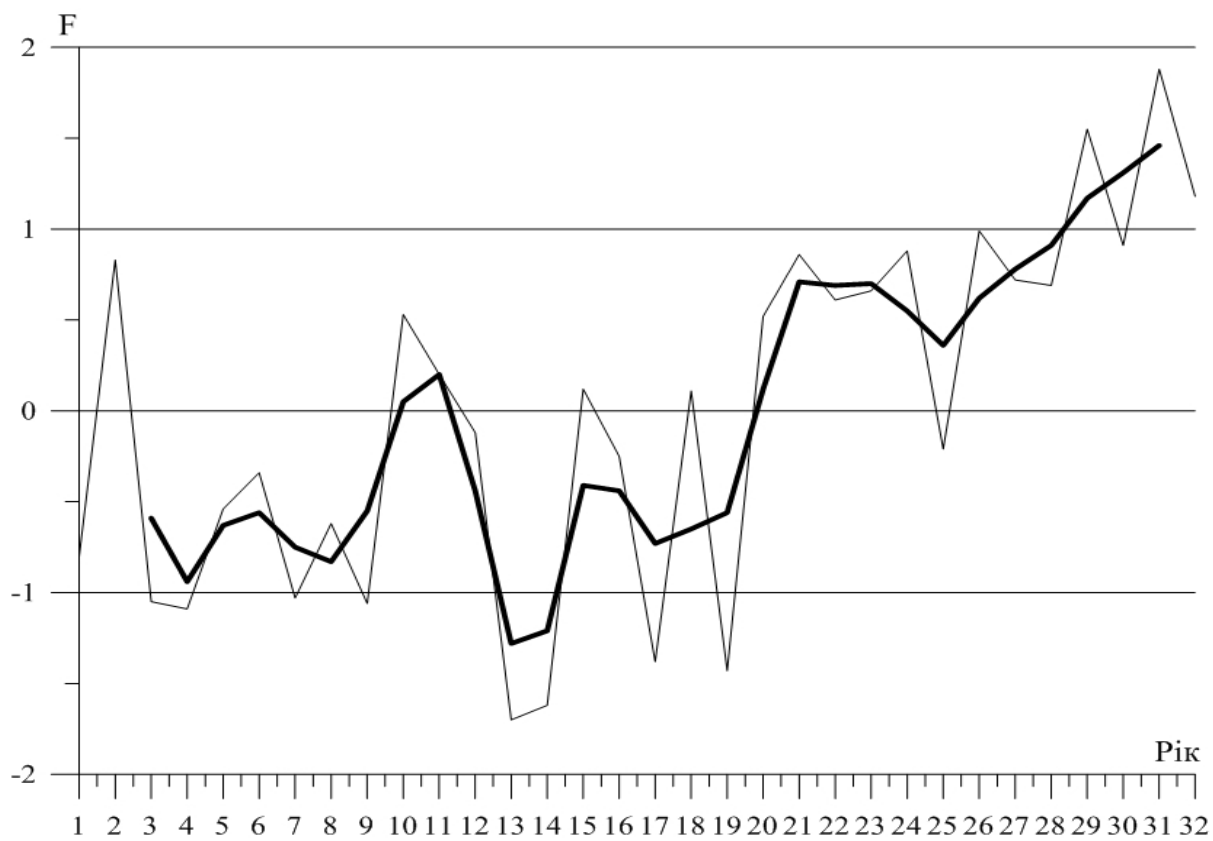


Рисунок 2.45 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $FIK4$ (лютий)



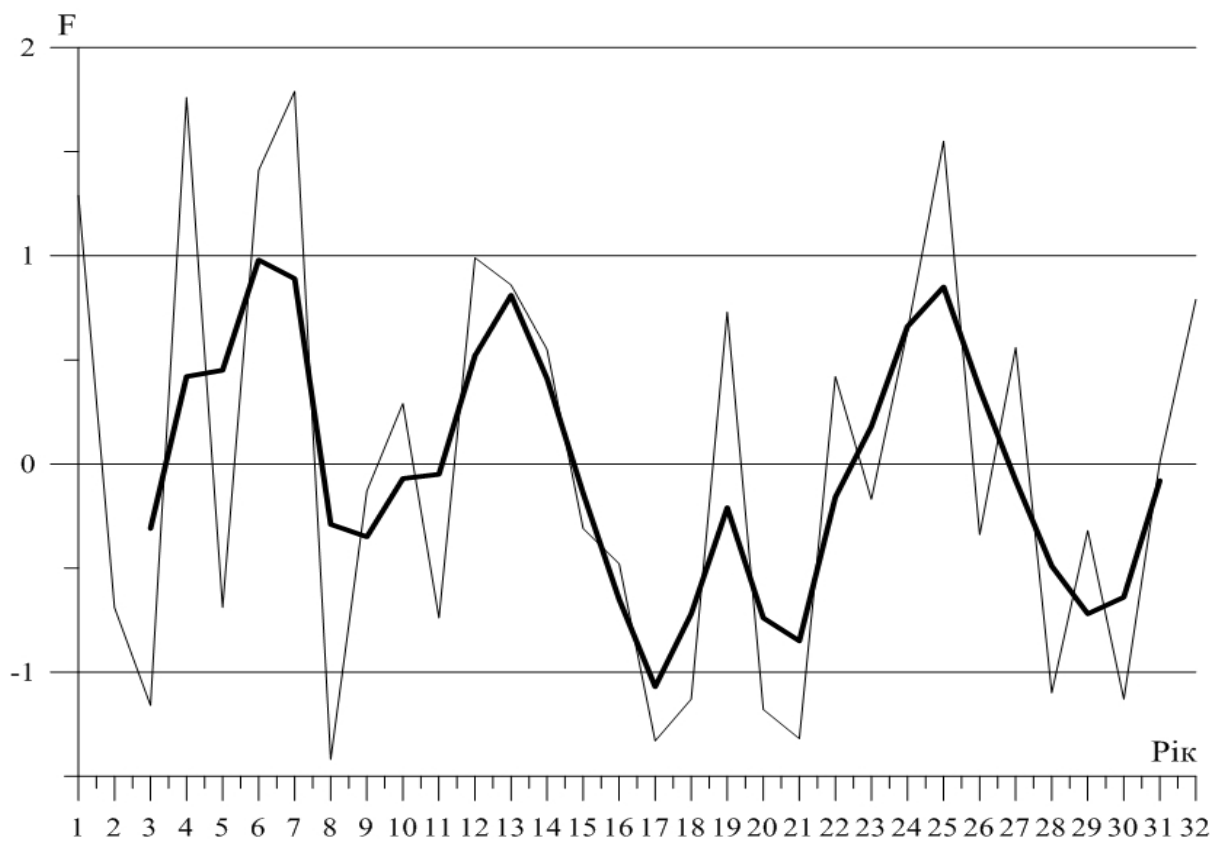


Рисунок 2.48 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K7$ (лютий)

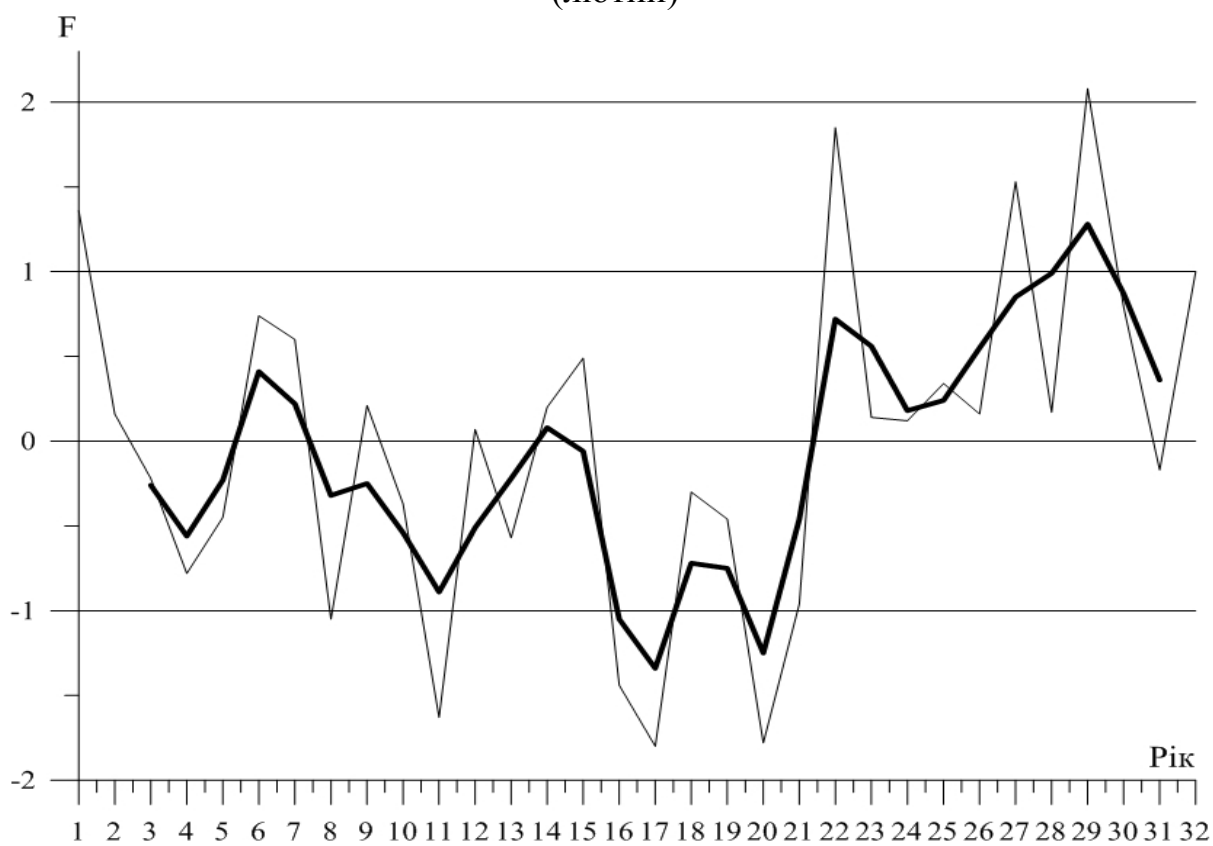
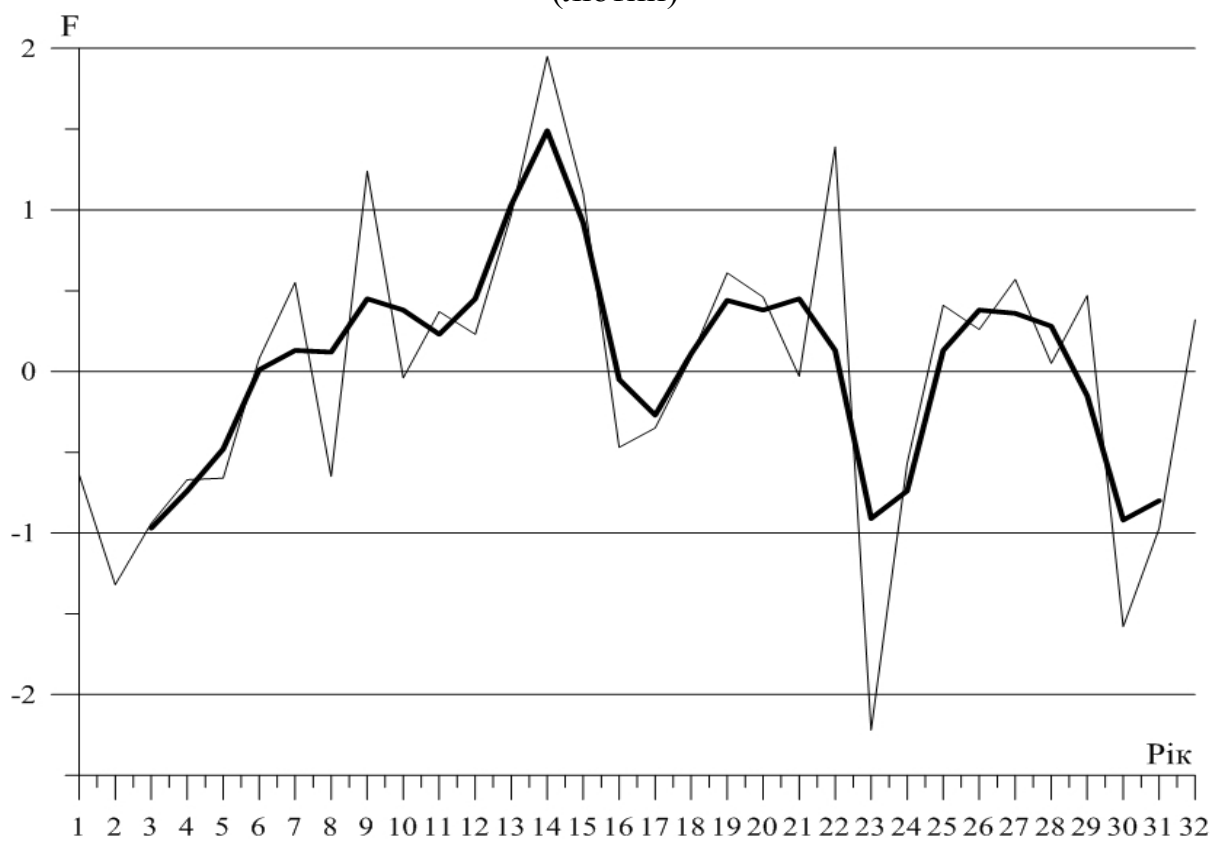
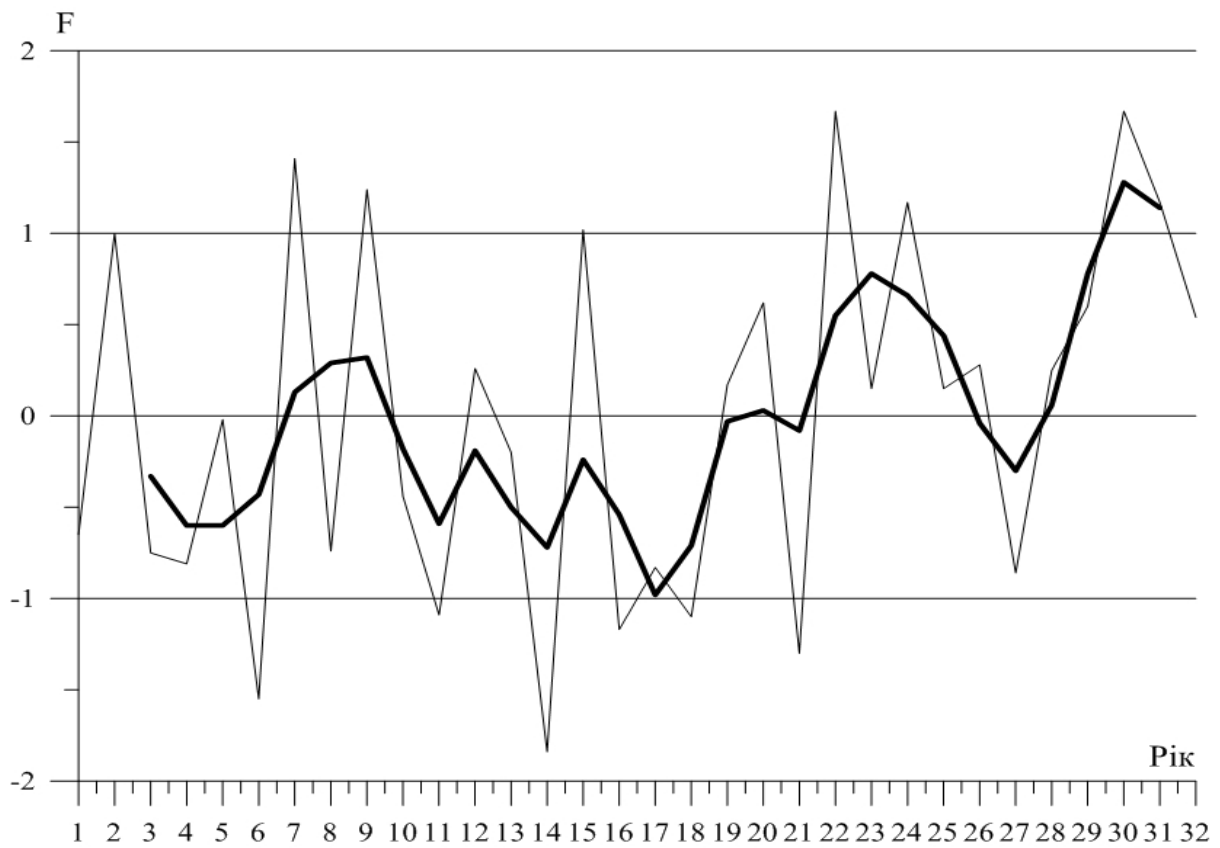


Рисунок 2.49 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F1K8$ (лютий)



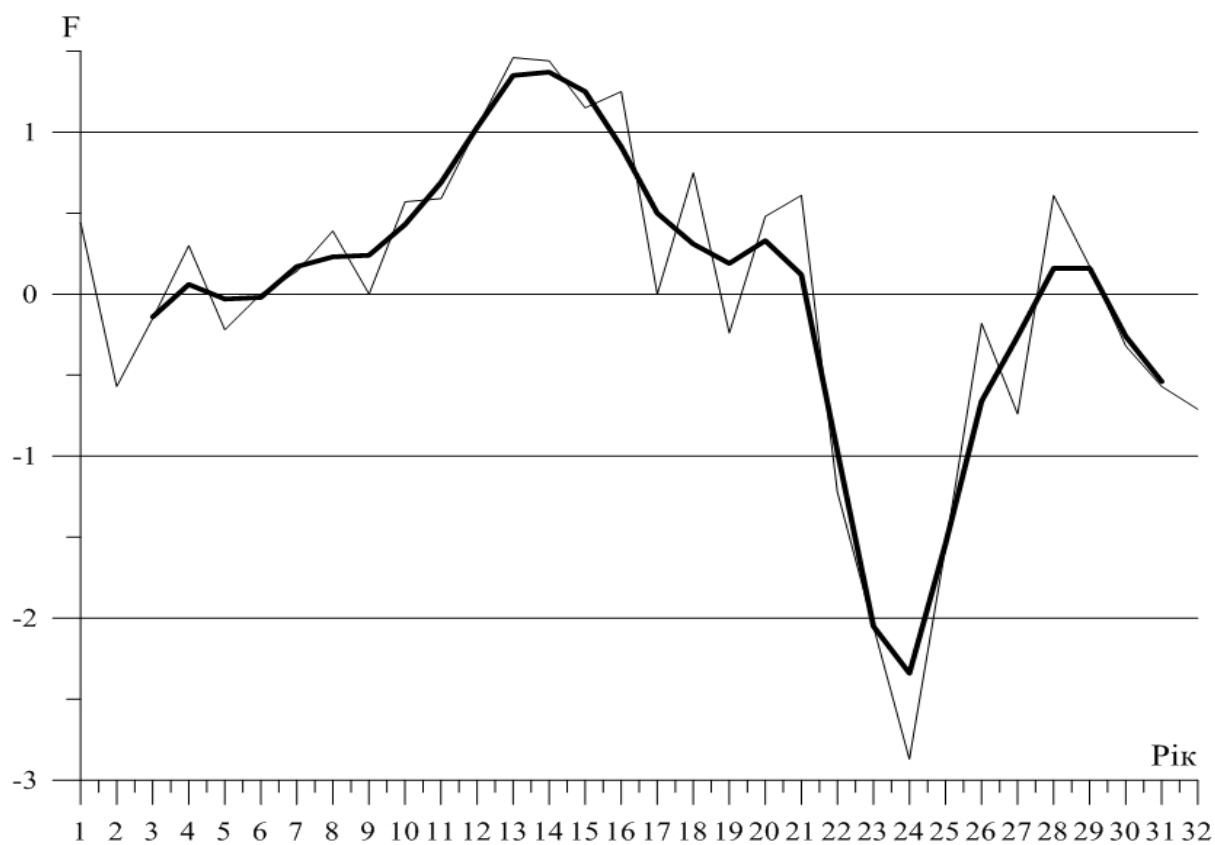


Рисунок 2.52 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K2$ (лютий)



Рисунок 2.53 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K3$ (лютий)

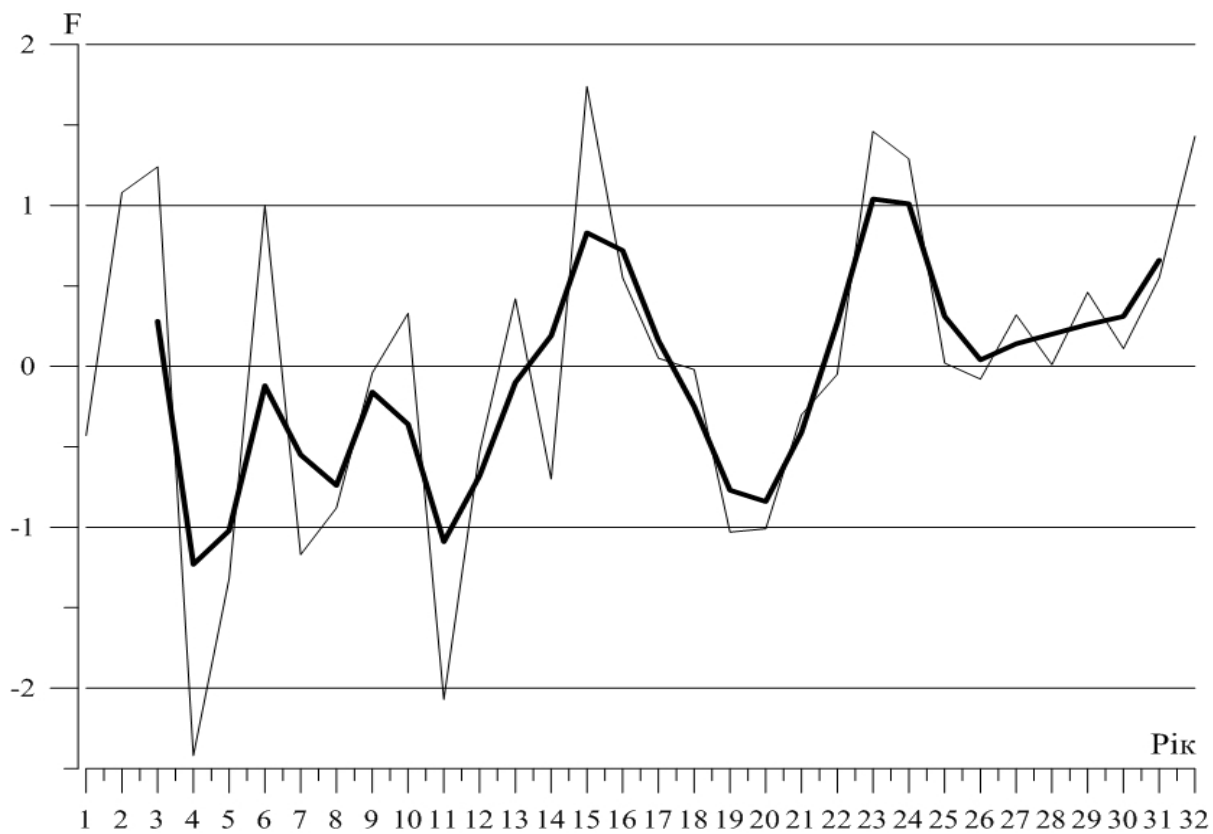


Рисунок 2.54 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K4$ (лютий)

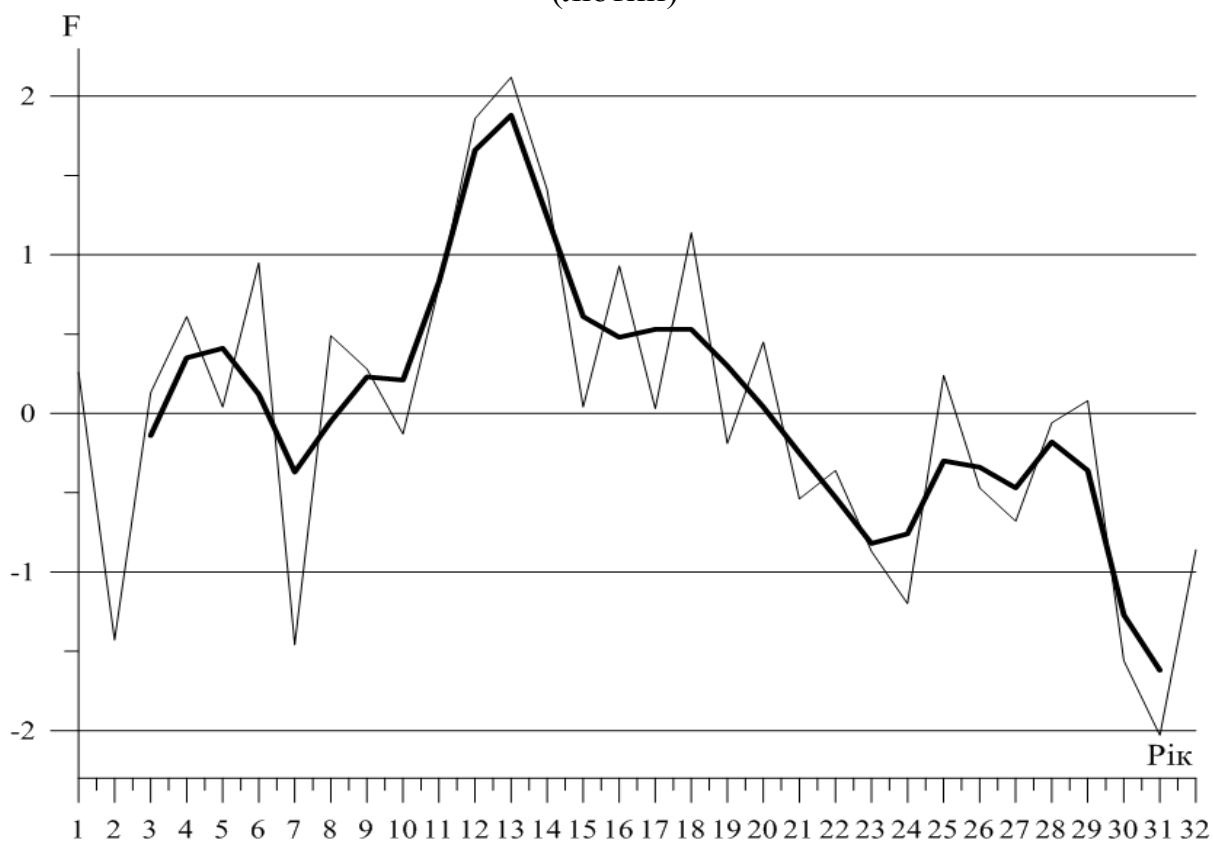
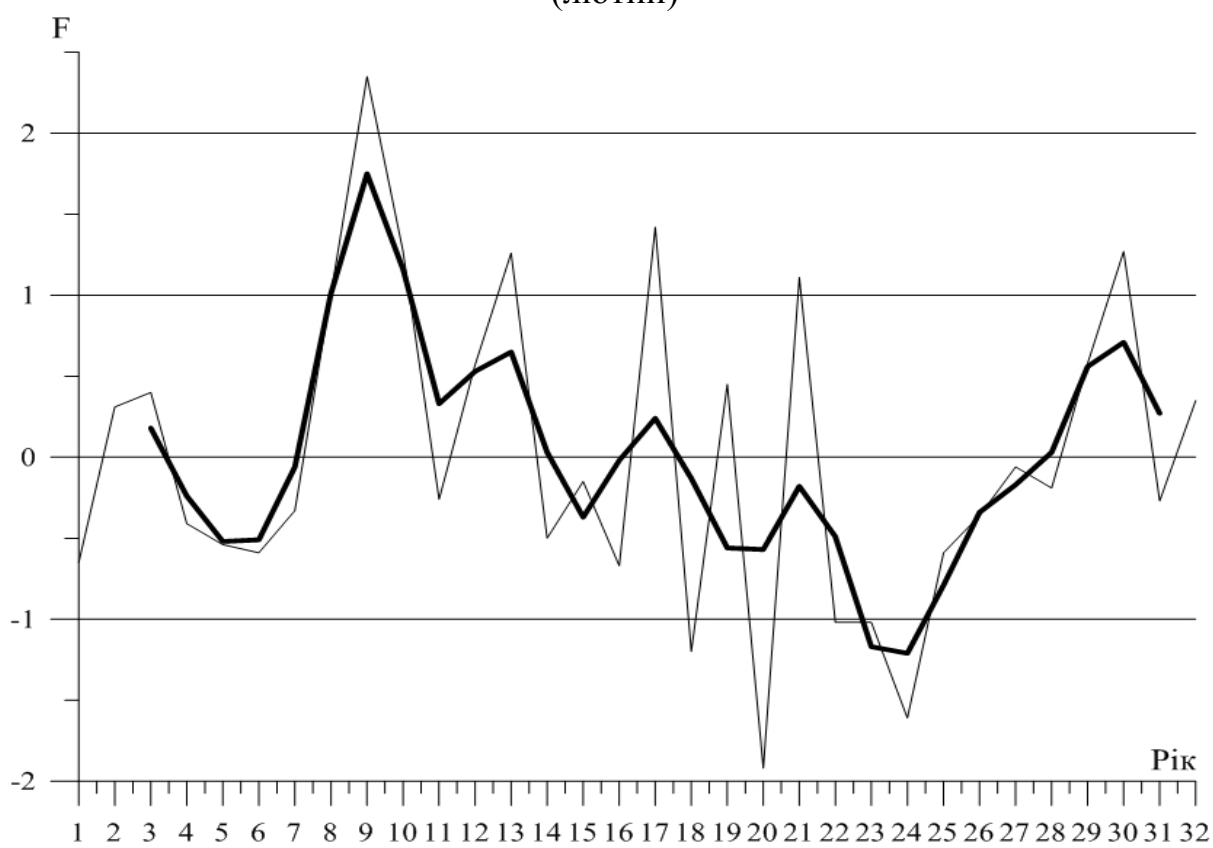
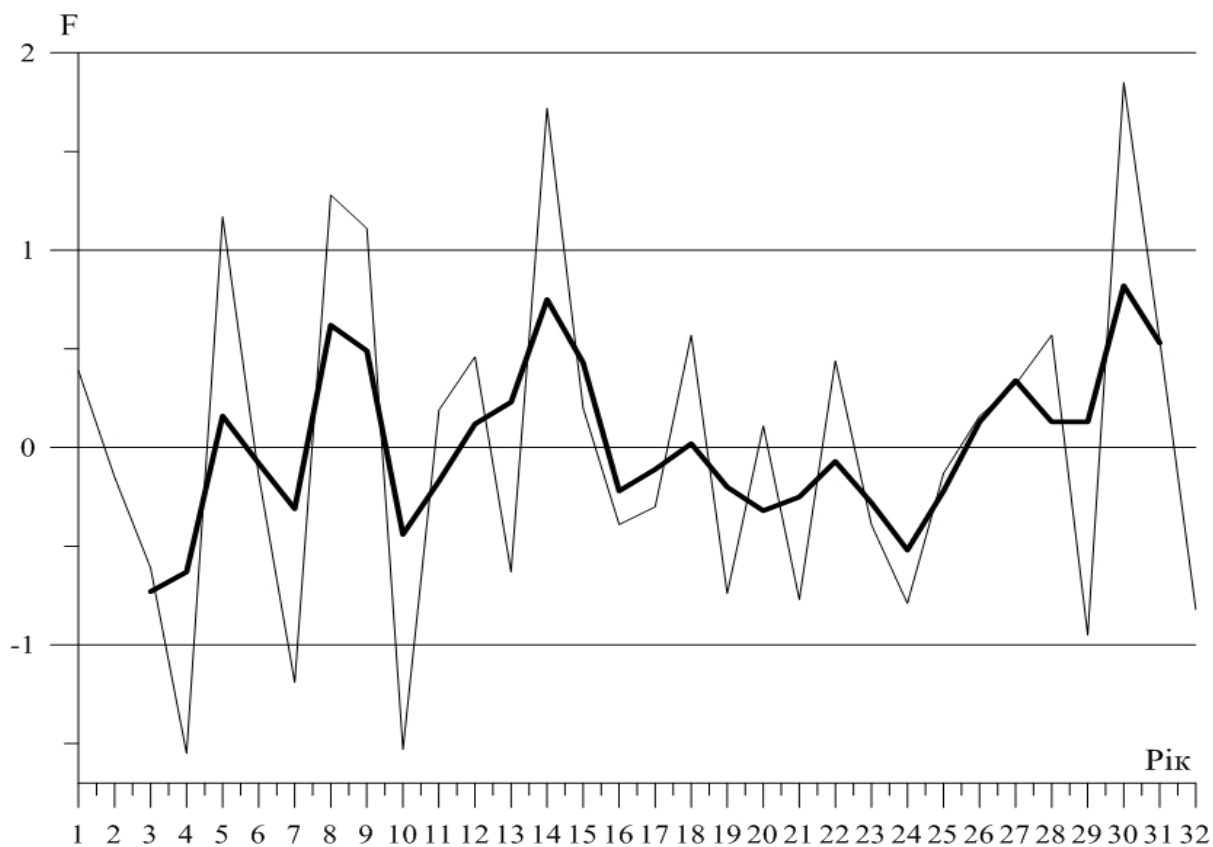


Рисунок 2.55 – Часовий та згладжений ряди узагальненого фактора $F2K6$ (лютий)



2.2 Підготовка інформації про відгуки

Як зазначалося вище, основна задача даного дослідження полягає у встановленні характеру відгуків основних кліматичних характеристик на території України на кліматоутворювальні процеси, що розвиваються в акваторії Північної Атлантики. Як відгуки розглядалися основні показники клімату - середньомісячне значення загальної хмарності в балах $\hat{y}_1$, місячні кількості опадів $\hat{y}_2$, середньомісячні значення температури повітря $\hat{y}_3$ і середньомісячні значення масової частки водяної пари $\hat{y}_4$. У розділі 1 наводилися дані про те, що післядії процесів тепло- і вологообміну в Північній Атлантиці на територію України становлять 1-3 місяці. Оскільки статистичні ряди характеристик цих процесів, тобто діючих факторів склалися за грудень 1953 по 1992 роки., то в якості інформації про відгуки були взяті дані про полях перелічених вище кліматичних характеристик за лютий цього ж періоду, заданих значеннями на 33 метеорологічних станціях, які рівномірно покривають територію країни. Крім цього, з метою розгляду зміни інтенсивності процесів взаємодії (телеконекції) аналогічні дані по території України були підготовлені і для січня.

Незважаючи на відносно невелику територію, на якій розташовується Україна, кліматичні характеристики в різних її регіонах істотно розрізняються [46]. Причиною цього є відмінності атмосферних процесів, які спостерігаються в різних регіонах України, з одного боку, і велика різноманітність підстильної поверхні, з іншого. Тому доцільно будувати математичну модель для відгуків саме регіональних кліматів на процеси тепло- і вологообміну в системі атмосфера-океан. Для цього необхідно, перш за все, виділити райони на території України, які мають подібність розглянутих характеристик клімату. Як відомо, об'єктивна класифікація векторів стану досягається шляхом застосування одного з методів кластерного аналізу. Відмінною особливістю кластерного аналізу є те, що в ньому не існує однозначної критерію, подібного помилки класифікації або середнього ризику прийняття рішення, як, наприклад, в дискримінантному аналізі [73]. У літературі описаний цілий ряд методів кластеризації [20,31,60]. Більшість з них можна віднести до трьох різновидів. Перша з них об'єднує методи, які базуються на розрахунку моди розподілу. Ідея цих методів полягає в тому, що кластери відповідають максимумам щільності розподілу джерела, що породжує дані. Застосування цих методів пов'язане з великими труднощами, якщо в якості даних, які підлягають кластеризації, виступають багатовимірні вектори. Іншим різновидом кластерного аналізу є методи, в яких в якості критерію кластеризації використовується відношення внутрішньокластерної дисперсії до міжкластерної дисперсії. Цей критерій

може доповнюватися і іншими критеріями. Прикладом методу, що відноситься до цієї групи, служить часто використовуваний метод аналізу даних, який має властивість самоорганізації - ІСОМАД [73]. В його основу покладено ідею про те, що об'єкти належать кластерам, для яких вони характеризуються найбільш близькою відстанню до середніх значень, які називають центрами кластерів. Критеріями кластеризації є характеристики, побудовані на зазначених вище дисперсіях. Основний недолік методу ІСОМАД полягає в необхідності апіорного завдання гіпотетичних центрів кластерів, а отже і числа кластерів. Як правило, апіорної інформації про кластери немає і їх доводиться ставити навмання з сукупності даних. Як показує досвід застосування цього алгоритму, результат кластеризації залежить від вибору гіпотетичних центрів кластерів і при невдалому їх завданні результат кластеризації часто не може знайти переконливого пояснення.

До третьої групи відносяться ієрархічні алгоритми кластеризації. При їх використанні вважають, що деяким чином визначений спосіб вимірювання відстані між кластерами. Прикладом може служити алгоритм максимінної відстані [76]. Цей алгоритм відрізняється простотою, але передбачуваний в ньому довільний вибір першого центру кластера і пропоновані критерії кластеризації призводять, як правило, до отримання невеликого числа кластерів зі значною внутрішньокластерною дисперсією.

Авторами був розроблений метод кластерного аналізу, який позбавлений зазначених вище недоліків. Вперше, під назвою «Універсальний адаптивний ітераційний метод кластерного аналізу (УАІМКА)», цей метод опублікований в збірнику праць [70]. У цьому методі в якості вихідної інформації виступає матриця $X = (x_{ij})_{m \times n}$, яка містить m векторів-рядків мірності n , й характеризує статистичні ряди об'ємом n в m пунктах, які і повинні бути кластеризовані. Як апіорна інформація для зручності, на відміну від інших методів, може задаватися тільки мінімальна кількість векторів, які можуть скласти кластер.

Ітераційний процес в методі УАІМКА складається з ряду кроків:

1-й крок: Розраховується квадратна матриця порядку евклідових відстаней між усіма векторами матриці X

$$D = (D_{ij})_{m \times m}, \quad D_{ij} = \sqrt{\sum_{s=1}^n (x_{js} - x_{is})^2}. \quad (2.21)$$

Матриця D є симетричної. На головній діагоналі цієї матриці розташовуються нулі.

2-й крок: У кожному рядку матриці D здійснюється ранжування її елементів, тобто її елементи розташовуються в порядку зростання. В результаті отримаємо матрицю виду D^1

$$D^1 = \begin{pmatrix} 0 & d_{12}^{(p)} & d_{13}^{(p)} & d_{14}^{(p)} & \dots & d_{1m}^{(p)} \\ 0 & d_{22}^{(p)} & d_{23}^{(p)} & d_{24}^{(p)} & \dots & d_{2m}^{(p)} \\ 0 & d_{32}^{(p)} & d_{33}^{(p)} & d_{34}^{(p)} & \dots & d_{3m}^{(p)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & d_{m2}^{(p)} & d_{m3}^{(p)} & d_{m4}^{(p)} & \dots & d_{mm}^{(p)} \end{pmatrix}. \quad (2.22)$$

У ній здійснюється перенумерація елементів кожного рядка (p -номер стовпця, в якому розташовується елемент кожного рядка матриці (2.22) в матриці D ($p = \overline{1, m}$)).

Нехай, припустимо, ми домовилися, що мінімальна кількість векторів, які можуть скласти кластер τ . Тоді аналізу піддається блок матриці (2.22), що складається з перших $\tau = 9$ стовпців (на першому етапі, наприклад, $9 = 3$).

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 центр кластера для l -го вектора (з урахуванням значення індексу p).

4-й крок: S_j 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 загальної кількості j -х векторів виділяються ті, для яких $S_j \geq \tau$ (в 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 загальної кількості m -х векторів встановлюються ті, які потрапили в s -й (V_s) і q -й (V_q) кластери одночасно ($s, q = \overline{1, r}; l \neq s, q$) і проводиться їх розведення по кластерам по вирішальному правилу: $X_l \in V_s$, якщо $D_{ls} < D_{lq}$, при цьому $S_q = S_q - 1$.

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

9-й крок: Знаходиться максимальне 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} -й.

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

11-й крок: Робиться формування низки попередніх центрів кластерів z_j ($j \leq \overline{1, m/3}$) ($m/3$ - округляється до меншого цілого числа).

12-й крок: Робиться розподіл по кластерам векторів вихідної вибірки відповідно до вирішальним правилом $X \in V_j$ якщо $D_{xz_j} < D_{xz_k}$.

13-й крок: Визначається кількість векторів S_j , що увійшли в кожен j -й кластер V_j .

14-й крок: Розраховуються коефіцієнти кореляцій $r_{z_j z_p}$ між центрами усіх кластерів.

15-й крок: Розраховується осереднене значення коефіцієнта кореляції $\bar{r}_z$ по усім виділеним кластерам.

16-й крок: Робиться порівняння коефіцієнтів кореляції між центрами кластерів $r_{z_j z_p}$ с осередненим коефіцієнтом кореляції.

17-й крок: Якщо, $r_{z_j z_p} > \bar{r}_z$ то центри z_j і z_p перебувають в тісному кореляційної зв'язку і тому є підстава для об'єднання кластерів V_j і V_p . Після їх об'єднання ліквідується той центр кластера, якому належить менша кількість векторів (ліквідується центр z_j , якщо $S_j < S_p$) і підраховується кількість кластерів N_g , що залишилися.

18-й крок: Повертаємося до кроку 2 за умови $\mathcal{G} = \mathcal{G} + 1$, і ітераційна процедура триває знову аж до 17-го кроку включно.

19-й крок: Проводиться порівняння числа кластерів, отриманих на етапі $\mathcal{G}$ і $\mathcal{G}-1$ етапі. Якщо на етапі $\mathcal{G}$ $N_{\mathcal{G}-1} \geq 2$ і $N_{\mathcal{G}} < 2$, і, якщо $N_{\mathcal{G}-1} \geq 2$ и $N_{\mathcal{G}} \geq 2$, і $N_{\mathcal{G}-1} > N_{\mathcal{G}}$, то процедура завершується і проводиться розподіл векторів вихідної вибірки по кластерам відповідно до вирішальним правилом, зазначеним в кроці 12.

У разі, коли $N_{\mathcal{G}-1} \geq 2$, $N_{\mathcal{G}} \geq 2$ і $N_{\mathcal{G}-1} \leq N_{\mathcal{G}}$, то переходимо до кроку 2 за умови $\mathcal{G} = \mathcal{G} + 1$.

20-й крок: Здійснюється уточнення центрів кластерів. Як уточнений центр кластера розглядається осереднений вектор по всіх векторах, що входять в даний кластер.

Метод УАІМКА був застосований для кластерного аналізу полів середньої кількості загальної хмарності, місячної кількості опадів,

середньомісячної температури повітря і середньомісячної масової частки водяної пари. Поля задавалися значеннями зазначених кліматичних характеристик, отриманих для 33 метеорологічних станцій території України. Всього було взято по 40 полів зазначених характеристик клімату за період з 1953 по 1992 рік для січня і лютого. Інакше кажучи, кластеризації піддавалися 33 сорокавимірних вектори для кожної характеристики клімату України кожного з місяців.

Результати кластеризації представлені на рис. 2.58-2.67.

Як впливає з рис.2.58, в січні в полях загальної кількості хмарності виділяються 4 кластери, один з них розташовується в західній частині, інший в східній частині території України (Харківська та Донецька області). Ще два, розташовуються в центральній частині території. Межі між кластерами мають меридіональну орієнтацію.

Поля місячної кількості опадів в січні (рис.2.59) також розділилися на 4 кластери, причому кластери в західній і східній частинах території країни майже збігаються з аналогічними кластерами загальної хмарності.

Кластери полів січної середньомісячної температури і масової частки водяної пари, представлені на рис.2.60-2.61. Видно, що мають місце три кластера в поле середньомісячної температури і два кластери в поле масової частки водяної пари. В поле температури виділяється найбільш холодна північно-східна частина України і найбільш тепла - південні приморські області.

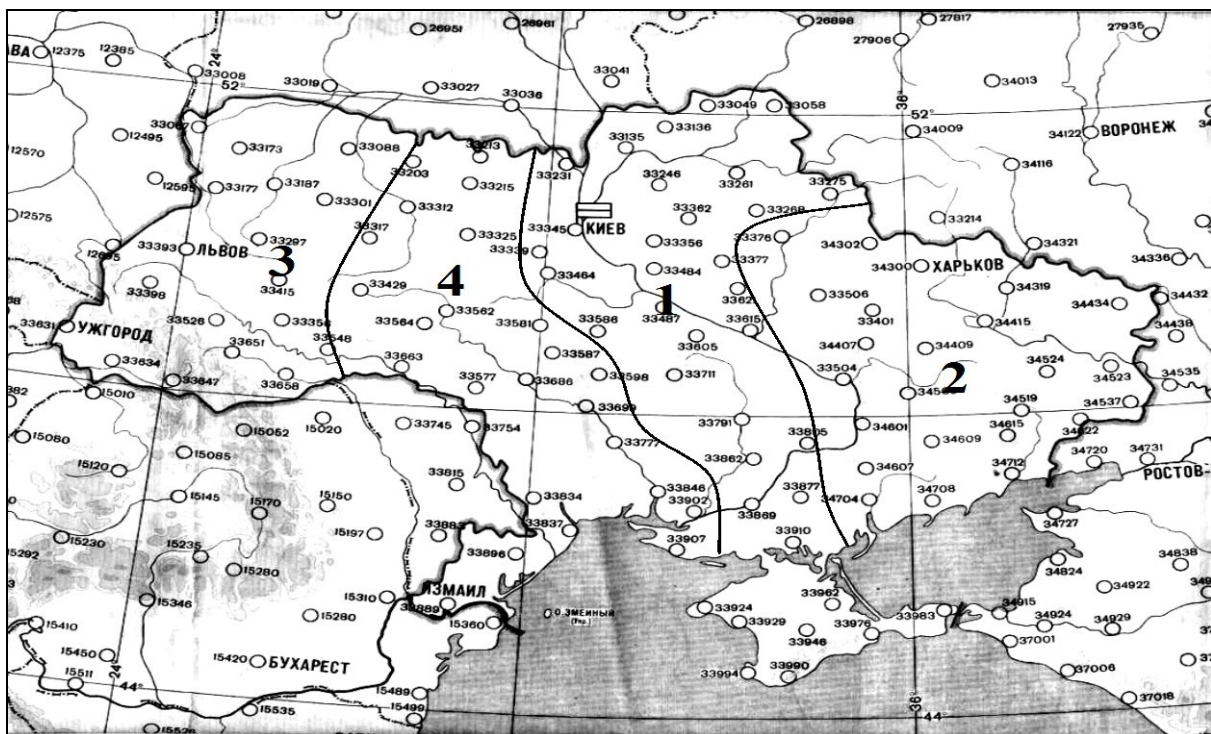


Рисунок 2.58 – Кластеризація території України за середньомісячною загальною кількістю хмарності. Січень



Рисунок 2.59 – Кластеризація території України за місячною кількістю опадів. Січень



Рисунок 2.60 – Кластеризація території України за середньомісячною температурою повітря. Січень

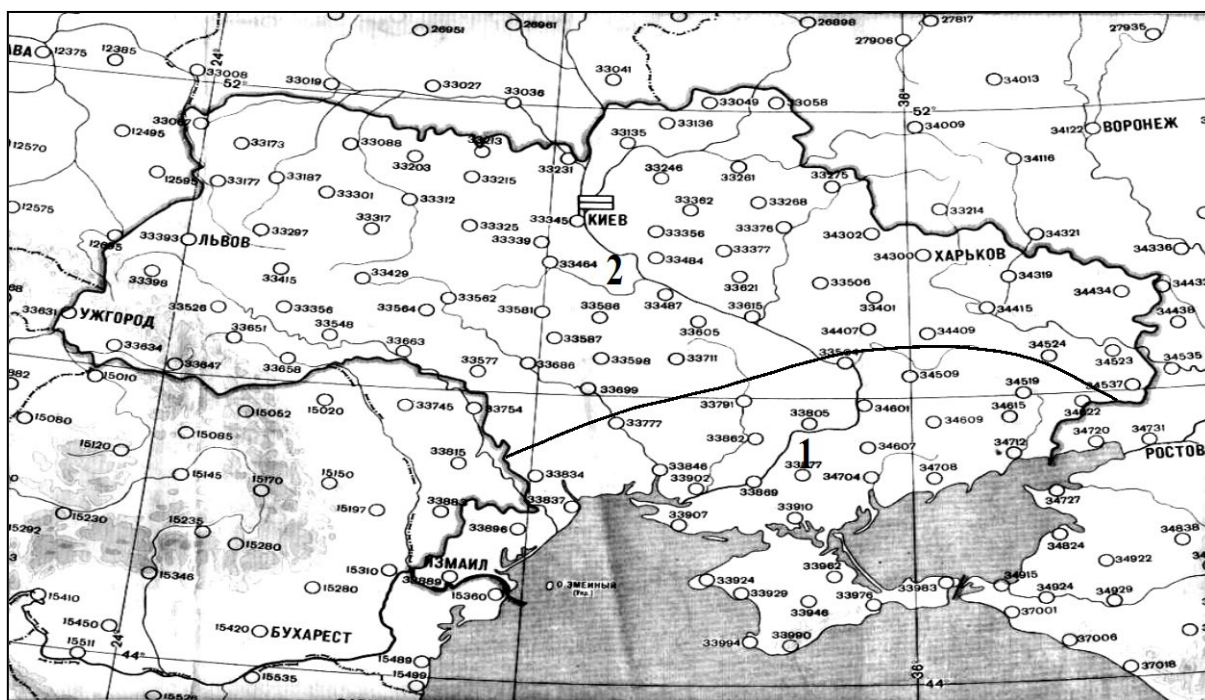


Рисунок 2.61 – Кластеризація території України за середньомісячною масовою часткою водяної пари. Січень

Третій кластер включає в себе, головним чином, західні області, а також перехідну зону між "теплим" і "холодним" кластерами в центральній і східній частинах країни. Що стосується масової частки водяної пари, то поля її середньомісячних показників в січні поділяються на два кластери, причому один з них - "вологий" кластер, практично збігається з "теплим" температурним кластером.

Слід зауважити, що межі температурних і вологісних кластерів мають зональну орієнтацію.

Кластери в кліматичних полях в лютому мають іншу структуру рис.2.62–2.65. Виняток, мабуть, становлять кластери полів загальної хмарності, які володіють схожістю з кластерами цієї характеристики в січні, якщо не брати до уваги того, що кластер, який охоплює в лютому в меридіональному напрямку центральну частину України, поділяється в січні на два кластери.

Межі кластерів в полях середньомісячних значень температури і вологості практично збігаються. В тому і в іншому випадках в один з кластерів увійшла Правобережна Україна, виключаючи її степову частину, в інший кластер - Лівобережна Україна (Полтавська, Харківська і Донецька області). Третій кластер займає південь України (Одеська, Миколаївська, Херсонська області та Кримська АР).

Що стосується кластерів в поле місячних кількостей опадів, то їх виділялося також три. Перший з них охоплює західні області України, виключаючи Українське Полісся, другий - південні області країни (більшу частину Одеської, Миколаївської, Харківської областей та Кримської АР). Найбільший за площею кластер охоплює решту території країни.

Слід підкреслити, кластери полів загальною хмарністю, місячної кількості опадів, середньомісячної температури і масової частки водяної пари, що утворилися, як в січні, так і в лютому не є випадковими. Їхнє розташування має очевидне фізичне обґрунтування, а саме їх структура обумовлена впливом переважаючих над Україною великомасштабних атмосферних процесів, і впливом особливостей підстильної поверхні.

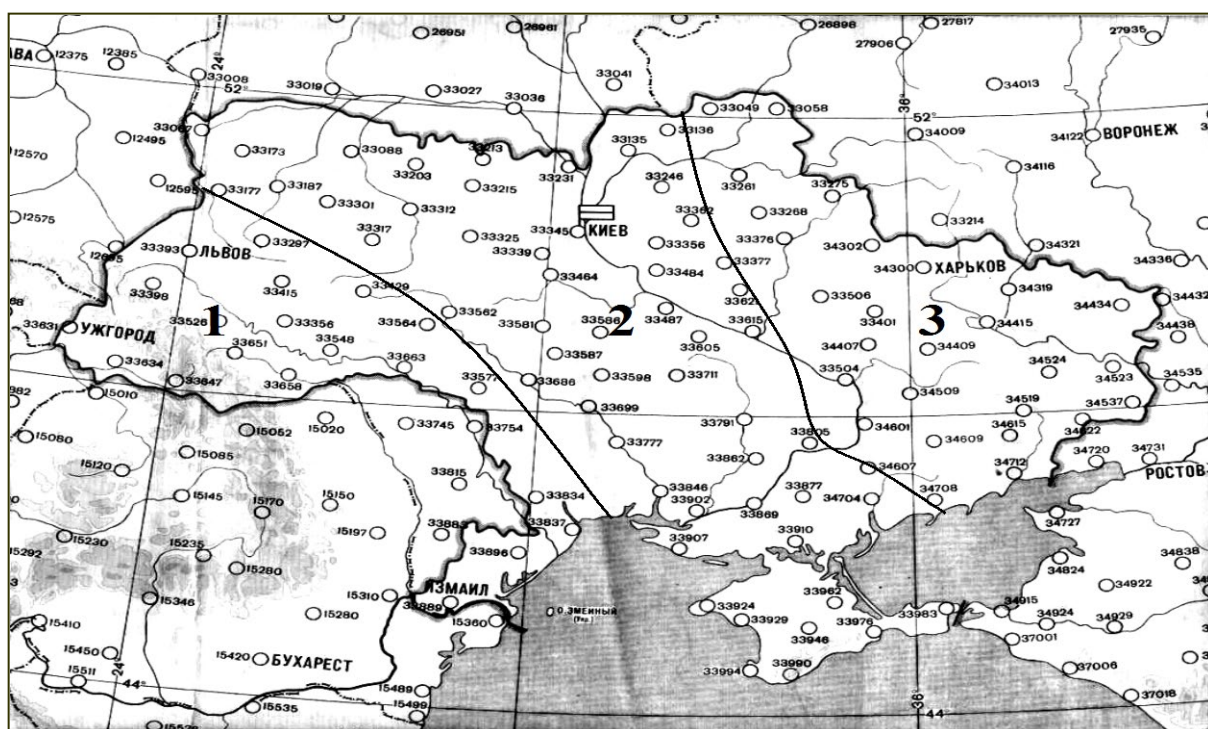


Рисунок 2.62 – Кластеризація території України за середньомісячною загальною кількістю хмарності. Лютий



Рисунок 2.63 – Кластеризація території України за місячною кількістю опадів. Лютий



Рисунок 2.64 – Кластеризація території України за середньомісячною температурою повітря. Лютий



Рисунок 2.65 – Кластеризація території України за середньомісячною масовою часткою водяної пари. Лютий

Цей факт є підтвердженням об'єктивності районування, проведеного за допомогою авторського алгоритму УАІМКА. Також важливим фактом є і експеримент, проведений авторами з алгоритмом ІСОМАД. Він полягав у тому, що в якості вихідної інформації, як вимагають умови цього методу, в ньому були задані гіпотетичне число кластерів і гіпотетичні центри кластерів поля температури, одержаних в лютому за алгоритмом УАІМКА. В результаті алгоритм ІСОМАД надав кластери подібні тим, що були отримані за запропонованим авторами алгоритмом кластеризації.

Як було показано вище, кластери, які стосуються полів різних кліматичних характеристик, мають різну структуру, особливо в січні. Однак в моделі відгуки для різних параметрів клімату ($m = \overline{1,4}$) повинні відноситися до одних і тих же регіонів території України. Тому нами були побудовані узагальнені кластери за принципом перетину множин. Ці створені кластери включають пункти - вектори станів всіх чотирьох характеристик клімату, які володіють схожістю. Таких кластерів в січні виявилося п'ять, в лютому - чотири. Положення узагальнених кластерів показані на рис.2.66-2.67. Як випливає з рис.2.66, в січні один з кластерів (1) займає західну Україну, другий (2) - північний схід України, третій кластер (3) - південну приморську її частина, четвертий (4) - центральну частину України, п'ятий (5) - розташований на сході країни. У лютому структура узагальнених кластерів перебудовується. Перший кластер (1)

охоплює приморські області країни (Одеську, Миколаївську, Херсонську та Автономну Республіку Крим), приблизно так само, як кластер (3) в січні. Другий кластер (2) – об'єднує області Прикарпаття, четвертий кластер (4) розташовується над центральною Україною і поширюється на Українське Полісся. Нарешті, третій кластер (3) охоплює східні і північно-східні області.

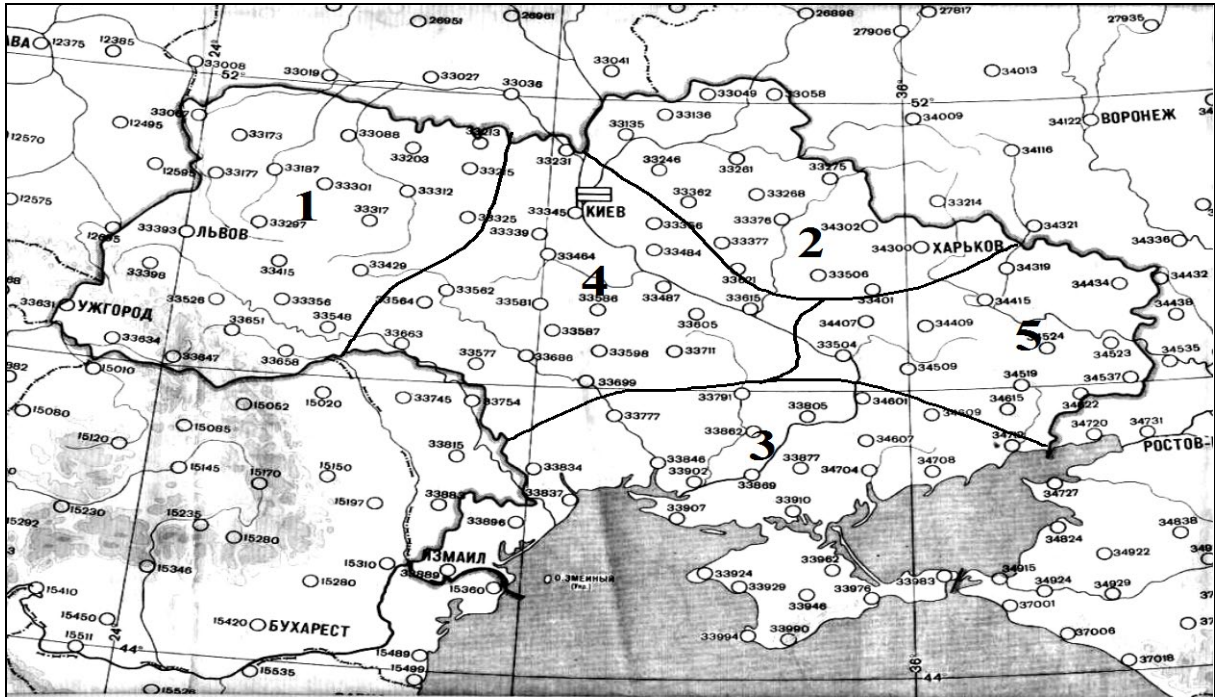


Рисунок 2.66 – Узагальнені кластери території України. Січень

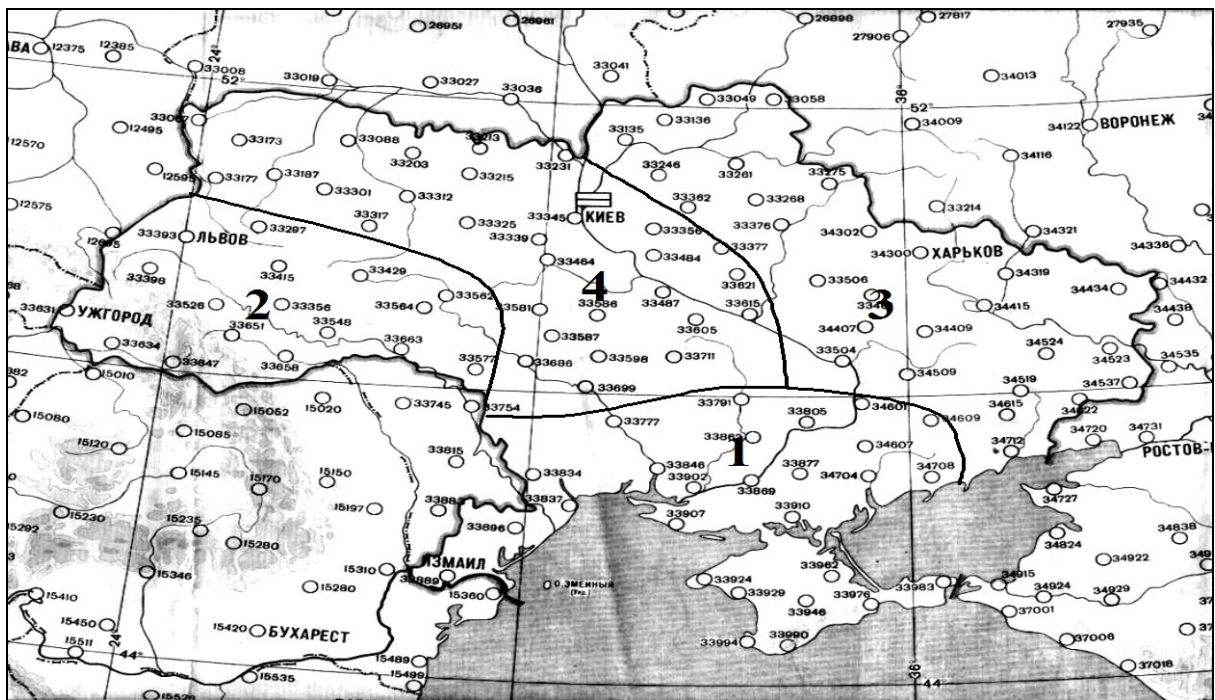


Рисунок 2.67 – Узагальнені кластери території України. Лютий

В табл. 2.7 - 2.8 наводяться центри узагальнених кластерів для лютого. У ній - бал загальної хмарності, - місячна кількість опадів (мм), - середньомісячна температура повітря (°C), - масова частка водяної пари (‰).

Таблиця 2.7 – Центри узагальнених кластерів (1,2). Лютий

Номер компо- ненти вектора	Номер кластера							
	1				2			
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_1	y_2	y_3	y_4
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1	7,60	67,40	-2,80	4,44	8,70	75,00	-4,82	3,98
2	6,32	8,00	-13,48	1,92	6,96	12,20	-12,24	2,20
3	8,08	59,20	1,30	6,30	7,34	29,80	-4,04	4,00
4	6,18	24,00	-9,14	2,74	6,76	46,40	-13,26	2,02
5	8,18	20,40	1,30	6,00	7,36	26,80	0,92	5,68
6	8,00	39,80	1,84	6,24	7,90	46,20	-0,02	5,30
7	7,12	10,60	-2,52	4,18	7,64	15,40	-3,06	4,22
8	7,34	30,40	-2,14	5,06	7,26	22,00	-4,32	4,28
9	8,08	14,40	-1,16	4,88	7,72	23,00	-1,04	4,98
10	8,82	40,80	-1,38	4,82	8,96	77,00	-3,92	4,04
11	7,38	56,80	-1,58	4,94	7,78	44,00	-7,16	3,40
12	7,62	44,80	-4,20	4,04	7,32	47,00	-6,32	3,56
13	6,50	42,20	-5,82	3,56	7,52	76,40	-7,32	3,06
14	8,08	34,00	2,70	7,08	8,68	61,40	-0,02	5,68
15	6,98	42,40	-5,22	4,02	7,50	42,60	-3,66	4,12
16	8,26	33,00	-1,84	4,84	8,70	52,20	-1,64	4,86
17	7,74	65,20	-4,82	3,82	8,42	34,40	-6,16	3,44
18	7,90	41,60	-0,58	5,12	7,68	50,00	-4,84	3,70
19	7,48	35,00	-2,02	4,48	8,76	25,40	-1,76	4,84
20	5,60	4,20	-3,54	3,76	7,32	10,00	-1,90	4,68
21	7,70	41,20	0,76	5,80	8,18	66,20	-0,02	5,30
22	8,68	27,60	0,34	5,46	7,66	10,60	0,52	5,44
23	6,86	9,40	-1,46	4,18	7,20	14,40	-2,24	4,26
24	4,24	2,40	-7,60	2,64	4,74	3,60	-8,62	2,78
25	8,40	39,00	2,88	6,74	8,36	51,60	0,60	5,66
26	8,64	62,00	-1,42	4,80	8,94	54,20	-5,12	3,92
27	6,40	46,40	-2,10	4,38	6,64	15,60	-5,60	3,42
28	7,88	15,20	-2,06	4,68	7,98	19,20	-2,88	4,48
29	6,96	45,60	0,48	5,46	7,86	39,20	-2,30	4,40
30	6,52	17,80	-3,94	3,96	6,88	33,40	-5,16	3,62

Продовження табл.2.7

31	6,90	35,40	-0,58	5,30	7,14	17,60	-2,66	4,12
32	8,02	37,80	-3,28	3,96	9,22	58,80	-4,22	4,18
33	5,72	70,60	-12	2,24	7,34	52,80	-10,74	2,42
34	6,14	45,60	-5,76	3,30	7,40	26,60	-7,98	2,94
35	7,24	14,40	-3,12	4,48	6,22	14,60	-3,66	4,26
36	7,20	18,00	-1,38	4,86	7,94	21,20	-2,46	4,56
37	6,54	20,60	2,46	5,94	6,34	11,80	2,34	5,60
38	6,94	26,40	2,68	5,96	5,54	28,60	2,76	5,68
39	6,52	21,80	-4,60	3,88	7,92	24,60	-5,00	3,78
40	7,38	24,60	-2,06	4,66	7,64	25,80	-1,66	4,58

Таблиця 2.8 – Центри узагальнених кластерів (3,4). Лютий

Номер комп- ненти вектора	Номер кластера							
	3				4			
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_1	y_2	y_3	y_4
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1	7,51	46,25	-9,04	2,88	8,15	46,50	-6,03	3,53
2	5,96	5,50	-16,38	1,61	6,15	9,75	-12,75	2,08
3	8,50	55,75	-2,11	4,99	7,75	41,75	-3,20	4,55
4	5,13	20,88	-15,56	1,65	5,90	38,25	-13,73	2,03
5	8,98	37,50	-0,55	5,46	8,13	28,75	0,77	5,75
6	8,14	58,13	-2,75	4,61	7,80	44,75	-0,90	5,15
7	8,06	22,38	-4,69	3,74	7,82	10,00	-2,85	4,28
8	7,70	31,00	-5,46	4,11	7,33	17,25	-4,82	4,15
9	7,94	26,25	-2,60	4,55	7,90	18,75	-1,30	5,00
10	8,49	24,25	-4,86	3,74	9,00	51,00	-3,92	4,18
11	7,18	37,75	-5,06	3,94	7,37	53,25	-6,77	3,55
12	7,51	43,50	-9,13	2,84	7,38	37,75	-7,45	3,30
13	7,11	37,25	-8,10	3,08	7,75	41,75	-7,43	3,18
14	8,29	53,88	-2,17	5,33	8,65	63,50	-3,00	5,53
15	6,56	30,75	-9,32	2,99	7,15	45,75	-3,70	3,87
16	8,21	54,75	-5,46	3,84	8,55	46,50	-3,20	4,40
17	5,54	18,63	-8,74	2,48	7,80	52,25	-6,72	3,10
18	7,72	55,25	-4,45	4,06	7,58	63,50	-5,35	3,63
19	7,82	32,88	-6,39	3,27	8,43	30,25	-3,00	4,40
20	4,83	6,13	-7,18	3,06	5,65	5,50	-3,83	4,10
21	9,11	45,75	-0,42	5,50	8,43	72,50	-0,20	5,43
22	7,89	16,88	-1,58	4,70	7,75	15,75	0,33	5,43

Продовження табл.2.8

23	6,91	14,50	-4,60	3,71	7,45	8,00	-2,03	4,38
24	4,10	4,25	-11,79	2,10	4,52	3,00	-9,17	2,57
25	8,80	69,00	-1,88	5,06	8,90	78,25	-0,45	5,38
26	7,93	45,38	-5,59	3,62	8,38	45,50	-5,65	3,68
27	6,16	42,38	-6,79	3,29	5,95	19,00	-6,55	3,18
28	7,17	27,75	-6,54	3,46	7,57	18,00	-4,05	4,05
29	7,56	60,50	-2,49	4,50	7,38	33,50	-2,28	4,47
30	7,44	24,25	-6,99	3,10	7,10	19,00	-4,63	3,77
31	7,97	47,63	-2,79	4,49	7,57	34,25	-3,17	4,25
32	6,50	19,38	-7,61	2,44	8,55	29,50	-4,93	3,57
33	7,06	47,88	-13,59	2,09	6,60	26,50	-12,95	2,13
34	4,51	29,00	-9,94	2,24	6,45	26,50	-9,45	2,47
35	7,58	22,25	-5,81	3,68	7,03	9,75	-3,67	4,28
36	7,51	35,50	-5,25	3,78	7,88	19,00	-2,55	4,60
37	7,65	22,88	0,80	5,58	6,95	28,25	2,32	5,97
38	7,88	40,38	0,97	5,61	6,75	39,00	2,65	5,95
39	7,04	31,50	-6,96	3,31	7,60	32,50	-5,70	3,65
40	7,85	31,38	-4,00	4,15	7,43	23,25	-2,05	4,70

Номери компонент відповідають рокам, до яких відносяться ці значення, починаючи з 1953 р. (номер 1) і закінчуючи 1992 р. (номер 40). З метою аналізу результатів кластеризації векторів-відгуків, на основі даних табл. 2.7 - 2.8, були розраховані внутрішньокластерні середні значення компонент цих векторів і їх дисперсії. Вони наводяться в табл. 2.10 в такий же розмірності, що і відповідні їм компоненти векторів-відгуків. Така ж таблиця була складена і для січня (табл.2.9).

Таблиця 2.9 – Внутрішньокластерні середні значення компонент векторів-відгуків в узагальнених кластерах та їх дисперсії. Січень.

№ кластера	Середнє значення, $\bar{y}$				Середнєквадратичне відхилення, σ_y^2			
	y_1	y_2	y_3	y_4	$\sigma_{y_1}^2$	$\sigma_{y_2}^2$	$\sigma_{y_3}^2$	$\sigma_{y_4}^2$
1	7,6	32,6	-4,9	3,9	0,61	330	11,6	0,71
2	7,4	41,8	-6,9	3,6	1,20	521	14,4	0,88
3	7,3	39,8	-3,0	4,6	0,87	619	10,0	0,94
4	7,6	38,4	-5,4	3,9	1,03	611	13,0	0,85
5	7,4	41,6	-5,6	3,9	1,48	601	12,7	0,91

Таблиця 2.10 – Внутрішньокластерні середні значення компонент векторів-відгуків в узагальнених кластерах та їх дисперсії. Лютий

№ кластера	Середнє значення, $\bar{y}$				Середнєквадратичне відхилення, σ_y^2			
	y_1	y_2	y_3	y_4	$\sigma_{y_1}^2$	$\sigma_{y_2}^2$	$\sigma_{y_3}^2$	$\sigma_{y_4}^2$
1	7,3	33,4	-2,4	4,6	0,9	319	13,5	1,35
2	7,6	35,2	-3,8	4,2	0,84	404	13,2	0,94
3	7,3	34,4	-5,8	3,7	1,39	251	16,3	1,20
4	7,5	33,2	-4,3	4,1	0,88	341	14,1	1,09

Як випливає з табл. 2.9 - 2.10, середні значення загального бала хмарності практично однакові у всіх кластерах і в січні, і в лютому, однак різними є його дисперсії. У січні найбільші дисперсії мають місце в кластерах 2 і 5, до яких відноситься північно-східна частина України. У лютому цю частину території займає кластер 3, дисперсія бала загальної хмарності якого також максимальна. Це пояснюється тим, що на цю частину України взимку періодично поширюється відріг сибірського максимуму, в області якого спостерігається невелика кількість хмарності. Він відступає на схід при посиленні циклонічної діяльності. Над рештою території поле тиску виявляється більш стабільним.

У січні значно різняться кластери за середнім значенням місячних кількостей опадів і по їх дисперсії. Як випливає з табл. 2.5, найбільшими середніми значеннями характеризуються кластери 2, 5 і 2. Саме через ці регіони України проходять траєкторії середземноморських і чорноморських циклонів. Як відомо, в їх області спостерігаються рясні опади і хуртовини. У порівнянні з іншими кластерами, кластеру 1 (західні області країни) притаманні найменші, а кластеру 3 (південні області) - найбільші значення дисперсії місячної кількості опадів.

У лютому середні значення місячних кількостей опадів у всіх чотирьох кластерах мало розрізняються, зате кластери суттєво різняться по дисперсіях цієї кліматичної характеристики. Як випливає з табл. 2.10, найбільшою мінливістю місячної кількості опадів характеризується кластер 2 (Прикарпаття), а найменшою - кластер 3 (східна частина України).

Значні відмінності між кластерами мають місце і по температурі. У січні в цьому відношенні найбільш "холодним" є кластер 2 (північно-східна частина України), а найбільш "теплим" - кластер 3 (південь країни). Найбільш "холодному" другому кластеру відповідає і найбільша дисперсія температури. Як і слід було очікувати, найбільш "холодний" кластер є і найменш "вологим", і навпаки. У лютому найнижча середня

внутрішньокластерна температура повітря властива кластеру 3, тобто найбільш холодною є та сама територія України, що і в січні. Найбільш теплими, як і в січні, виявляються південні області (кластер 1). Цим кластерам також відповідають найбільші (кластер 1) і найменші (кластер 3) значення масової частки водяної пари.

Аналіз внутрішньокластерних середніх значень відгуків і їх дисперсій показує, що виділені кластери, як в січні, так і в лютому, добре відбивають особливості великомасштабних атмосферних процесів, які розвиваються на території України, а також характер відмінностей умов підстильної поверхні. Все це є ще одним підтвердженням достовірності приведенного кластерного аналізу векторів-відгуків, здійснюваного на основі розробленого нами алгоритму УАІМКА.

3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЧИСЕЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1 Аналіз статистичної значущості параметрів моделі й її адекватності

3.1.1 Статистична значущість параметрів моделі

У всіх співвідношеннях, які стосуються методики побудови математичної моделі у вигляді системи нелінійних регресійних рівнянь із оберненими зв'язками, приймалася умова про те, що кількість векторів діючих факторів X в k рівняннях системи є однаковою. Насправді, кожен з відгуків y_l , який описується l -м рівнянням регресії, може обумовлюватися різним складом діючих факторів. Ця обставина не накладає жодних обмежень на спільність отриманих рівнянь для параметрів моделі, оскільки всі коефіцієнти рівнянь системи залежать тільки від оцінок моментів, які можна розрахувати на основі статистичних сукупностей факторів і відгуків. Таким чином, результати, які отримані для одного з рівнянь системи (1.1), не впливають на коефіцієнти інших рівнянь. Більш того, зовсім не обов'язково, щоб рівняння системи (1.1) мали однаковий вигляд. Навпаки, завдання полягає в тому, щоб за допомогою статистичного аналізу рівнянь здійснити вибір її найбільш прийнятною структури [76,77].

Першим етапом аналізу структури рівнянь є оцінка значущості діючих факторів з точки зору вкладу їх в дисперсію відгуку, яка обумовлюється впливом повною сукупністю факторів. Як показано в роботах [76,77], дисперсія відгуків $D(y_l)$ складається з двох частин - дисперсії, яка обумовлена дією факторів $D_x(y_l)$ і дисперсії, яка визначається впливом зворотних зв'язків $D_y(y_l)$.

$$D(y_l) = D_x(y_l) + D_y(y_l). \quad (3.1)$$

У свою чергу, кожна з цих дисперсій в зв'язку з умовами, які раніше були накладені на фактори, є лінійною комбінацією дисперсій, що визначаються дією кожного p -го фактора:

$$D_x[y_l] = \sum_{p=1}^m \chi_p(y_l), \quad (3.2)$$

$$D_y[y_l] = \sum_{s=1}^k \Theta_s(y_l), \quad (3.3)$$

де

$$\Theta_s(\hat{y}_l) = \alpha_s^{(l)} \sum_{\substack{\mu=1 \\ (\mu \neq l)}}^k \alpha_\mu^{(l)} r_{s\mu}, \quad (l = \overline{1, k}), \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \chi_p(\hat{y}_l) = & 2(z_p^{(l)} a_p^{(l)} + z_{pp}^{(l)} a_{pp}^{(l)} + z_{ppp}^{(l)} a_{ppp}^{(l)}) - \\ & - \left[a_p^{(l)2} + 6a_p^{(l)} a_{ppp}^{(l)} + (2a_p^{(l)} + 6a_{ppp}^{(l)}) \left(\sum_{j=1}^{p-1} a_{jjp}^{(l)} + \sum_{j=p+1}^m a_{pjj}^{(l)} \right) + 2a_{pp}^{(l)2} + 15a_{ppp}^{(l)2} \right] + \\ & + \sum_{j=p+1}^m \{ 2(z_{pj}^{(l)} a_{pj}^{(l)} + z_{pjj}^{(l)} a_{pjj}^{(l)} + z_{ppj}^{(l)} a_{ppj}^{(l)}) - [a_{pj}^{(l)2} + 2a_{pjj}^{(l)2} + 2a_{ppj}^{(l)2} + a_{ppj}^{(l)} \times \\ & \times \left(\sum_{\eta=1}^{j-1} a_{\eta\eta j}^{(l)} + \sum_{\eta=j+1}^m a_{j\eta\eta}^{(l)} \right) + a_{pjj}^{(l)} \left(\sum_{\eta=1}^{p-1} a_{\eta\eta p}^{(l)} + \sum_{\eta=p+1}^m a_{p\eta\eta}^{(l)} \right) + \sum_{s=j+1}^m 2z_{pjs}^{(l)} a_{pjs}^{(l)} - a_{pjs}^{(l)2} \} \}, \\ & (p = \overline{1, m}; l = \overline{1, k}). \end{aligned} \quad (3.5)$$

Після розрахунку складових повної дисперсії факторів $\chi_p^{(l)}$, ($p = \overline{1, m}$) здійснюється перевірка гіпотези H_0 про їх значущість. Для цього $\chi_p^{(l)}$, розташовуються в порядку їх збільшення (ранжуються), і перевірка гіпотези про незначущість на рівні α вкладу перших t факторів, здійснюється за допомогою критерію Фішера:

$$F = \frac{D_x[\hat{y}_l]}{\sum_{i=1}^{m-t} \chi_i^{(l)}(\hat{y}_l)} \times \frac{n - (m - t)}{n - m}. \quad (3.6)$$

Гіпотеза не відхиляється, якщо $F < F_{\alpha; N - m; N - (m - t)}$. Таким же чином перевіряється гіпотеза про значущість внеску кожної оберненого зв'язку.

Слід мати на увазі, що виключати з рівнянь регресії статистично незначущі фактори слід дуже обережно. Може трапитися, що виключення їх призведе до зниження інформативності моделі. Щоб уникнути цієї ситуації, необхідно в модель ввести і ті параметри регресії, для яких параметр Фішера незначно відрізняється від критичного. Критичні значення критерію Фішера вибиралися для членів системи рівнянь (1.1) першого та другого ступеня при довірчій ймовірності 0,8. Для третього ступеня приймався більш жорсткий критерій, а саме при ймовірності 0,9. Це зроблено для того, щоби звести до мінімуму розбалансування моделі.

В таблицях 3.1 - 3.9 наводяться результати перевірки гіпотези про значущість діючих факторів для кожного з рівнянь моделі і кожного узагальненого кластера двох місяців - січень і лютий.

Таблиця 3.1 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 1. Січень

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
2	<i>F2K1</i>	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	<i>F2K2</i>	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+
5	<i>F1K3</i>	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
6	<i>F2K3</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
7	<i>F1K4</i>	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
8	<i>F1K5</i>	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+
9	<i>F2K5</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	<i>F1K6</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>F2K9</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	φ_H	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	φ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	ЕНПівдК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	ПАК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-

Таблиця 3.2 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 2. Січень

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
2	<i>F2K1</i>	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
4	<i>F2K2</i>	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
6	<i>F2K3</i>	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+
7	<i>F1K4</i>	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-
8	<i>F1K5</i>	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
9	<i>F2K5</i>	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
10	<i>F1K6</i>	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>F2K9</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	φ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	φ_L	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	ПАК	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
25	ПТК	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-

Таблиця 3.3 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 3. Січень

№ п/п	Факто р	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
2	<i>F2K1</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+
4	<i>F2K2</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-
6	<i>F2K3</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
7	<i>F1K4</i>	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-
8	<i>F1K5</i>	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
9	<i>F2K5</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
10	<i>F1K6</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
11	<i>F2K6</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>F2K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
21	φ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	φ_L	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	ПАК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-

Таблиця 3.4 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 4. Січень

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
2	<i>F2K1</i>	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+
4	<i>F2K2</i>	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-
6	<i>F2K3</i>	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	
7	<i>F1K4</i>	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
8	<i>F1K5</i>	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
9	<i>F2K5</i>	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
10	<i>F1K6</i>	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
12	<i>F1K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>F2K9</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
21	φ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	φ_L	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	ПАК	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-

Таблиця 3.5 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 5. Січень

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
2	<i>F2K1</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+
4	<i>F2K2</i>	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
6	<i>F2K3</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
7	<i>F1K4</i>	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-
8	<i>F1K5</i>	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+
9	<i>F2K5</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	<i>F1K6</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
17	<i>F2K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
21	φ_H	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	φ_L	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	ПАК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-

Таблиця 3.6 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 1. Лютий

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
2	<i>F2K1</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-
4	<i>F2K2</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
6	<i>F2K3</i>	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-
7	<i>F1K4</i>	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
8	<i>F1K5</i>	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-
9	<i>F2K5</i>	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-
10	<i>F1K6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>F2K9</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	φ_H	-	+	-	+	-		-	-	+	-	-	-
22	φ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-
24	ПАК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 3.7 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 2. Лютий

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-
2	<i>F2K1</i>	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+
4	<i>F2K2</i>	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
6	<i>F2K3</i>	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
7	<i>F1K4</i>	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-
8	<i>F1K5</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
9	<i>F2K5</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
10	<i>F1K6</i>	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
14	<i>F1K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
17	<i>F2K9</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	φ_H	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
22	φ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	ПАК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-

Таблиця 3.8 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 3. Лютий

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
2	<i>F2K1</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
4	<i>F2K2</i>	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-
6	<i>F2K3</i>	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-
7	<i>F1K4</i>	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-
8	<i>F1K5</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
9	<i>F2K5</i>	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+
10	<i>F1K6</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>F2K9</i>	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	φ_H	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
22	φ_L	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
24	ПАК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 3.9 – Значущі фактори (+) при першій, другій и третій степені поліномів для загальної хмарності ($\hat{y}_1$), місячної кількості опадів ($\hat{y}_2$), середньомісячної температури ($\hat{y}_3$) та середньомісячної масової частки водяної пари ($\hat{y}_4$). Кластер 4. Лютий

№ п/п	Фактор	1 степінь				2 степінь				3 степінь			
		$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
1	<i>F1K1</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
2	<i>F2K1</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-
3	<i>F1K2</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
4	<i>F2K2</i>	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
5	<i>F1K3</i>	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+
6	<i>F2K3</i>	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-
7	<i>F1K4</i>	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-
8	<i>F1K5</i>	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-
9	<i>F2K5</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
10	<i>F1K6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	<i>F2K6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>F1K7</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
13	<i>F2K7</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>F1K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>F2K8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>F1K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>F2K9</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	ΔP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	λ_H	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	λ_L	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
21	φ_H	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
22	φ_L	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
23	ЕН ПівдК	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
24	ПАК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ПТК	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-

Результати дослідження статистичної значущості діючих факторів, представлені в табл. 3.1 - 3.9, показують, що структура рівнянь моделі відрізняється, по-перше, для різних параметрів клімату, по-друге, для різних територіальних кластерів, по-третє, для січня і лютого. Однак існують і подібні особливості структури моделі. Вони полягають в тому, що в усі моделі для всіх виділених кластерів входять чинники, які відображають процеси енергетичної взаємодії між атмосферою і океаном в областях енергоактивних зон Північної Атлантики.

Вплив коливальних циркуляційних механізмів в атмосфері, проявляється по-різному: або через індекс Північноатлантичного колювання (ПАК), або через координати центрів азорського максимуму і ісландського мінімуму, причому в січні більшу вагу має широта ісландського циклону, а в лютому - азорського антициклону. У ряді випадків статистично значущим фактором виявляється індекс Північнотихоокеанського колювання (ПТК), причому зі значною вагою. Це є підтвердженням того, що циркуляційні процеси, які переважають над різними регіонами Північної півкулі, пов'язані між собою. Як вказувалося раніше, ПТК впливає на процеси, що розвиваються над Північно американським континентом, а останні, в свою чергу, на структуру бароклічних зон океану і атмосфери над Північною Атлантикою, а, отже і на інтенсивність циклонічної діяльності.

Цікавим є той факт, що в лютому в число діючих факторів з досить великою вагою увійшов індекс Ель-Ніньо - Південне колювання (ЕНПівдК). Як уже зазначалося, в ряді робіт підкреслюється, що це явище впливає на розвиток атмосферних процесів не тільки в приєкваторіальній зоні Тихого океану, а й в різних регіонах середніх і високих широт Північної півкулі. Поява індексу ЕНПівдК серед статистично значущих в наших моделях є підтвердженням цього.

3.1.2 Оцінка адекватності моделі

Наступним етапом формування математичної моделі відгуків кліматичних характеристик в різних регіонах України на процеси енергетичної взаємодії атмосфери і океану є оцінка її адекватності. З цією метою були розраховані коефіцієнти множинної кореляції. Для січня вони представлені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Коефіцієнти множинної кореляції між відгуками і діючими факторами. Січень

Відгук	Кластер				
	1	2	3	4	5
$\hat{y}_1$	0,91	0,55	0,57	0,56	0,56
$\hat{y}_2$	0,71	0,70	0,82	0,72	0,80
$\hat{y}_3$	0,37	0,50	0,48	0,72	0,49
$\hat{y}_4$	0,67	0,71	0,36	0,64	0,82

Статистична значимість коефіцієнтів множинної кореляції R перевірялася за допомогою критерію Стьюдента:

$$t = \frac{z}{\sigma_z}, \quad (3.7)$$

де

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+R}{1-R}, \quad (3.8)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}. \quad (3.9)$$

У табл. 3.11 наводяться значення цих характеристик для кожного з коефіцієнтів множинної кореляції, що містяться в табл. 3.10. Значення σ_z однаково для всіх варіантів і дорівнює 0,16.

Таблиця 3.11 – Перевірка гіпотези про статистичної значущості коефіцієнтів регресії. Січень

Відгук	Кластер									
	1		2		3		4		5	
	z	t	z	t	z	t	z	t	z	t
$\hat{y}_1$	0,71	4,44	0,62	3,88	0,65	4,06	0,63	3,94	0,63	3,94
$\hat{y}_2$	0,89	5,56	0,87	5,44	1,16	7,25	0,91	5,69	1,10	6,88
$\hat{y}_3$	0,39	2,43	0,55	3,44	0,52	3,25	0,91	5,69	0,54	3,38
$\hat{y}_4$	0,81	5,06	0,89	5,56	0,38	2,37	0,76	4,75	1,16	7,25

Для числа ступенів свободи $\nu = 40$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ (ймовірність $p = 0,95$) критичне значення критерію Стьюдента

$t_{кр}(\alpha, \nu) = 2,02$. З табл. 3.11 видно, що для всіх випадків $t > t_{кр}(\alpha, \nu)$. Це означає, що гіпотеза про статистичної значущості коефіцієнтів множинної кореляції не відкидається. У табл. 3.12 наводяться коефіцієнти множинної кореляції для лютого.

Таблиця 3.12 – Коефіцієнти множинної кореляції між відгуками і діючими факторами. Лютий

Відгук	Кластер			
	1	2	3	4
$\hat{y}_1$	0,74	0,82	0,55	0,73
$\hat{y}_2$	0,74	0,67	0,66	0,76
$\hat{y}_3$	0,60	0,70	0,52	0,54
$\hat{y}_4$	0,76	0,74	0,80	0,53

Всі наведені в табл. 3.12 коефіцієнти множинної кореляції також є статистично значущими, оскільки найменший коефіцієнт множинної кореляції для січня $R = 0,36$ (модель для масової частки водяної пари, 3-й кластер (табл.3.10)), як випливає з табл. 3.11, статистично значимий, а все множинні коефіцієнти кореляції в лютому перевищують його значення (табл.3.12).

Порівняння коефіцієнтів множинної кореляції для січня і лютого показують, що процеси тепло- і вологообміну між океаном і атмосферою, які протікають в грудні, мають відгуки в характеристиках регіональних кліматів України як в січні, так і в лютому. Однак математична модель, побудована для лютого, в загальному, має більшу адекватність, ніж з одномісячною завчасністю. Це підтверджує наведені в розділі 2, результати досліджень, які свідчать про те, що аномалії процесів, які мають місце в океані і атмосфері в Північній Атлантиці, знаходять відгук у регіональних кліматах Європи, в тому числі України, через 2-3 місяці.

Таким чином, в подальшому ми будемо ґрунтуватися на математичній моделі, побудованій для відгуків кліматичних характеристик загальної хмарності $\hat{y}_1$, місячної кількості опадів $\hat{y}_2$, середньомісячних значень температури $\hat{y}_3$ і масової частки водяної пари $\hat{y}_4$, в лютому, на характеристики процесів кліматоутворення в грудні.

3.2 Результати чисельних експериментів

На основі математичної моделі (1.1), яка була адаптована до задачі дослідження відгуків кліматичних умов в регіонах України, сплановані та проведені чисельні експерименти. Принципи адаптації моделі до

зазначеної задачі висвітлені в попередніх розділах. У кінцевій формі, модель складається з чотирьох поліномів третьої степені різної структури для різних відхилень характеристик клімату при реакції на процеси взаємодії атмосфери і океану в Північній Атлантиці, а саме для аномалій загальної хмарності, аномалій місячної кількості опадів, аномалій середньомісячної температури повітря і аномалій середньомісячної масової частки водяної пари. Як було зазначено вище, така система рівнянь створювалася для кожного кластера, на які, відповідно розглянутому вище алгоритму кластерного аналізу (УАІМКА), була розділена територія України.

У розділі 2 були наведені результати роботи [3], в якій показано, що процеси, які розвиваються над Північною Атлантикою, характеризуються для Східної Європи післядією в 1-3 місяці. Параметри моделі розраховувалися з двомісячним випередженням, тобто фактори взаємодії атмосфери і океану на вході моделі відносяться до грудня, а характеристики відгуків на її виході до лютого. Нагадаємо, що в якості діючих факторів в моделі виступали загальні фактори (результати розрахунків факторного аналізу), які з певними вагами входять в різницю температур між повітрям і поверхнею океану, температуру в приводному шарі повітря, температуру поверхні води і швидкість вітру (зональну складову), а також характеристики стану ПАК, ПТК і ЕНПівдК. Значення коефіцієнтів моделі наводяться в додатку А.

У численних експериментах ставилося завдання: визначити який вплив на зазначені вище характеристики клімату в виділених регіонах України надають зміни умов взаємодії атмосфери і океану, а також циркуляційних процесів в акваторії Північної Атлантики. Як відомо, інтенсивність потоків явного та прихованого тепла між поверхнею океану і атмосферою залежить у великій мірі від температур поверхні океану і приводного шару повітря. Крім того, інтенсивність енергообміну, а, отже, і інтенсивність атмосферних процесів, залежить і від того, як різниці температур в системі «повітря-вода» розподілені в просторі акваторії Північної Атлантики, особливо в зоні Північно-Атлантичної теплої течії і в системі холодних протитечій : Східно-Гренландського і Лабрадорського. Ці розподіли пов'язані з інтенсивністю бароклінних зон атмосфери і океану, від чого, в свою чергу, залежить інтенсивність атмосферного фронтогенеза і циклогенеза, траєкторії переміщення циклонічних вихорів і, отже, особливості формування регіональних кліматів Європи і України в тому числі. Як видно на рис.2.1, район розташування корабля погоди №1 припадає на Східно-Гренландське, корабля №2 - на Лабрадорське холодні течії. Кораблі погоди № 3,6,7,9 розташовуються в різних широтах зони дрейфової Північно-Атлантичної теплої течії. Решта кораблів перебувають в області великого океанічного антициклонічного кругообігу в субтропічній зоні Північної Атлантики.

Як вже говорилося, в процесах кліматоутворення велику роль відіграють характеристики, які відбивають умови циркуляції атмосфери.

Відповідно до цього, були розроблені плани численних експериментів. Як зазначалося вище, мають місце дві фази розвитку ПАК. У першій з них, «позитивній», центр ісландської депресії розташовується між Ісландією і південно-східним краєм Гренландії, в другій, «негативній», центр ісландської депресії розташовується між Ісландією і півостровом Лабрадор. У зв'язку з цим розглядалися відповідні «позитивній» фазі ПАК ситуації, які представлені в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Характеристики центрів дії атмосфери, які відповідають «позитивній» фазі ПАК

Номер характеристик	Характеристика центра дії				
	Δp , гПа	λ_H , ° зах.д.	λ_L , ° зах.д.	φ_H , ° півн.ш.	φ_L , ° півн.ш.
1	15	4	0	26	68
2	75	4	0	26	68
3	15	4	0	43	68
4	75	4	0	43	68
5	15	75	0	26	68
6	75	75	0	26	68
7	15	75	0	43	68
8	75	75	0	43	68
9	15	4	0	26	47
10	75	4	0	26	47
11	15	4	0	43	47
12	75	4	0	43	47
13	15	75	0	26	47
14	75	75	0	26	47
15	15	75	0	43	47
16	75	75	0	43	47

Як впливає з табл. 3.13, при крайньому східному розташуванні центру ісландського мінімуму ($\lambda_L = 0^\circ$), здійснюється варіація його широти від зазначеного найбільш південного положення ($\varphi_L = 47^\circ$ пн.ш.) до крайнього північного положення ($\varphi_L = 68^\circ$ пн.ш.). При цьому координати азорського антициклону приймають крайні значення по довготі (4° зах.д. й 75° зах.д.) та по широті (26° пн.ш. й 43° пн.ш.), а різниця тиску між центрами Δp змінюється від мінімального ($\Delta p = 15$ гПа) до максимального значення ($\Delta p = 75$ гПа).

Для «позитивної» стадії, при інших рівних умовах, зазначених в табл. 3.13, змінюється лише довгота центру ісландської депресії (замість $\lambda_L = 0^0$, приймається $\lambda_L = 51^0$ зах.д.). У всіх випадках при найбільшому значенні різниці тисків Δp приймалася найбільша величина індексу ПАК, що дорівнює 14,2, а при найменшій різниці тисків - його найменша величина, рівна 1,0. Для індексів ПТК і ЕНПівдК приймалися їх середні значення.

При зазначених вище варіаціях параметрів, які визначають циркуляційні особливості в акваторії Північної Атлантики, розглядалися дві ситуації розподілу в цій частині Атлантичного океану різниць ΔT температур "повітря-вода". Вони полягали в наступному:

Ситуація 1 – визначає максимальні за модулем ΔT_i ($i = 3,6,7,8,9$) - номери кораблів (рис. 2.1) в зоні Північно-Атлантичної теплої течії, і мінімальні за модулем ΔT_i ($i = 1,2,4,5$) в зоні Східно-Гренландської і Лабрадорської течій, тобто в районі розташування кораблів №1 і №2, Ньюфаундлендської енергоактивної зони - корабель №4, і самої південної зони - корабель №5. Значення цих фізичних параметрів вибиралися з відповідних статистичних сукупностей. Вони приймалися такими:

$$\Delta T_1 = -1,3^0 C; \Delta T_2 = -0,8^0 C; \Delta T_3 = -3,8^0 C; \Delta T_4 = -1,6^0 C; \Delta T_5 = 0,4^0 C; \\ \Delta T_6 = -3,5^0 C; \Delta T_7 = -3,5^0 C; \Delta T_8 = 0,3^0 C; \text{ і } \Delta T_9 = -5,1^0 C.$$

Ситуація 2 – навпаки, полягає в тому, що в місці розташування кораблів №3,6,7,8,9 приймалися мінімальні за модулем ΔT_i , а в районі кораблів №1,2,4,5 – максимальні за модулем, а саме:

$$\Delta T_1 = -4,0^0 C; \Delta T_2 = -6,9^0 C; \Delta T_3 = -0,1^0 C; \Delta T_4 = -5,6^0 C; \Delta T_5 = -2,1^0 C; \\ \Delta T_6 = -0,3^0 C; \Delta T_7 = -0,1^0 C; \Delta T_8 = -1,6^0 C; \text{ і } \Delta T_9 = -0,9^0 C.$$

Перша ситуація можлива при адвекції холоду з полярного басейну на східну частину Північної Атлантики і тепла на західну її частину, друга – навпаки, коли на західну частину акваторії з Канадського архіпелагу вторгається холодне повітря, а на східну – тепле повітря з Африканського материка.

Для кожного корабля погоди, згідно ситуацій, з урахуванням відповідних значень T , T_6 , і швидкості вітру (зональної складової) u , на основі вагів, які представлені в табл. 3.1, розраховувалися узагальнені фактори. Система узагальнених факторів разом з певними циркуляційними параметрами піддавалася процедурі ортогоналізації за методом Грама-

Шмідта, а також процедури їх "просіювання" з метою визначення в їх числі статистично значущих (табл. 3.1-3.9). Останні, в свою чергу, увійшли до складу параметрів x_i на вході у модель.

Потім проводився розрахунок вихідних параметрів моделі $\hat{y}_i^{(0)}$ при нульових значеннях обернених зв'язків x_v . На другому кроці розрахунків за моделлю за допомогою значень $\hat{y}_i^{(0)}$ і коефіцієнтів обернених зв'язків були отримані кінцеві відхилення відгуків кліматичних характеристик від їх середніх значень. Подальшому розгляду піддавалися тільки найбільш важливі характеристики клімату: аномалії опадів, температури і вологості. Результати численних експериментів, організованих згідно з описаною методикою, для кожного кластера – району території України представлені в табл. 3.14- 3.21.

Таблиця 3.14 – Відгуки кліматичних характеристик в південній частині України (кластер 1), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану в Північній Атлантиці. «Позитивна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	$\Delta R,$ мм	$\Delta T,$ °C	$\Delta S,$ °/°°	$\Delta R,$ мм	$\Delta T,$ °C	$\Delta S,$ °/°°
1	0,10	-0,16	-0,05	1,79	0,38	0,13
2	-0,05	0,11	0,03	1,66	0,60	0,21
3	0,17	-0,27	-0,09	1,87	0,24	0,1
4	0,03	-0,03	-0,01	1,73	0,49	0,17
5	-0,01	0,02	0,00	1,72	0,49	0,17
6	-0,15	0,28	0,09	1,64	0,63	0,21
7	0,07	-0,10	-0,04	1,77	0,41	0,14
8	-0,07	0,14	0,04	1,68	0,56	0,19
9	0,10	-0,16	-0,05	1,79	0,38	0,13
10	-0,05	0,11	0,03	1,66	0,60	0,21
11	0,17	-0,27	-0,09	1,87	0,24	0,09
12	0,03	-0,03	-0,01	1,73	0,49	0,17
13	-0,00	0,02	0,00	1,73	0,49	0,17
14	-0,15	0,28	0,09	1,64	0,63	0,22
15	0,07	-0,10	-0,04	1,77	0,41	0,14
16	-0,07	0,14	0,04	1,68	0,56	0,19

Таблиця 3.15 – Відгуки кліматичних характеристик в південній частині України (кластер 1), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану в Північній Атлантиці. «Негативна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	0,01	0,00	-0,00	1,70	0,5	0,18
2	-0,11	0,21	0,06	1,56	0,8	0,26
3	0,07	-0,1	-0,04	1,81	0,3	0,12
4	-0,04	0,1	0,03	1,64	0,6	0,22
5	-0,07	0,14	0,04	1,65	0,6	0,21
6	-0,21	0,4	0,12	1,55	0,8	0,27
7	0,01	0,01	-0,00	1,71	0,5	0,18
8	-0,14	0,27	0,08	1,59	0,7	0,24
9	0,01	0,00	-0,00	1,71	0,5	0,18
10	-0,11	0,21	0,06	1,57	0,8	0,26
11	0,07	-0,1	-0,04	1,80	0,30	0,12
12	-0,04	0,1	0,03	1,64	0,6	0,22
13	-0,07	0,14	0,04	1,65	0,6	0,21
14	-0,21	0,4	0,12	1,55	0,8	0,27
15	0,01	0,01	-0,00	1,71	0,5	0,18
16	-0,14	0,26	0,08	1,59	0,7	0,24

Як впливає з табл. 3.14, при «позитивній» фазі ПАК, для ситуації №1 аномалії місячної кількості опадів, температури і масової частки водяної пари в південному регіоні України (кластер 1) абсолютно незначні і будь-якої залежності від географічного розташування центрів дії не спостерігається. Однак при ситуації №2, яка, як вказувалася вище, характеризується вторгненням з високих широт Північної Америки холоду на західну частину Північної Атлантики, що навіть при «негативній» фазі ПАК призводить до значного посилення бароклінності, мають місце хоч і незначні, але додатні аномалії обраних кліматичних характеристик. Циклони, які за цих умов мають домінуючі траєкторії переміщення, розташовані над північною частиною Європи, приносять в західно-східному перенесенні відносно тепле і вологе повітря атлантичного походження.

При «негативній» фазі ПАК в ситуації №1 (табл. 3.15), також як і при «позитивній» фазі, відгуки кліматичних характеристик в південному регіоні України – на процеси в Північній Атлантиці, практично відсутні, а

при ситуації №2 - мають місце невеликі додатні аномалії місячних кількостей опадів, температури повітря і масової частки водяної пари. Отримані значення відгуків свідчать про те, що в зимовий період кліматоутворюючі процеси в акваторії північній частині Атлантичного океану здійснюють порівняно малий вплив на клімат південного регіону країни.

Для узагальненого кластера 2 (західні області України), відгуки кліматичних параметрів при різних характеристиках центрів дії і різних розглянутих ситуаціях представлені в табл. 3.16-3.17.

Таблиця 3.16 – Відгуки кліматичних характеристик в південній частині України (кластер 2), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану в Північній Атлантиці. «Позитивна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	-5,92	-1,99	-0,54	9,49	1,46	0,42
2	-6,45	-1,86	-0,505	9,05	1,57	0,45
3	-5,70	-2,05	-0,56	9,76	1,4	0,4
4	-6,16	-1,93	-0,52	9,27	1,52	0,43
5	-6,27	-1,90	-0,52	9,26	1,52	0,43
6	-6,78	-1,78	-0,48	8,99	1,59	0,45
7	-6,03	-1,96	-0,53	9,43	1,48	0,42
8	-6,49	-1,85	-0,50	9,13	1,55	0,44
9	-5,92	-1,99	-0,54	9,49	1,46	0,42
10	-6,44	-1,86	-0,50	9,05	1,57	0,45
11	-5,70	-2,05	-0,56	9,76	1,4	0,4
12	-6,16	-1,93	-0,52	9,27	1,52	0,43
13	-6,27	-1,90	-0,52	9,26	1,52	0,43
14	-6,78	-1,78	-0,48	8,99	1,59	0,45
15	-6,03	-1,96	-0,53	9,43	1,48	0,42
16	-6,49	-1,85	-0,50	9,13	1,55	0,44

Таблиця 3.17 – Відгуки кліматичних характеристик в південній частині України (кластер 2), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану в Північній Атлантиці. «Негативна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	-6,23	-1,91	-0,52	9,2	1,5	0,44
2	-6,63	-1,81	-0,49	8,73	1,7	0,47
3	-6,03	-1,96	-0,53	9,6	1,4	0,41
4	-6,42	-1,87	-0,51	8,98	1,6	0,45
5	-6,49	-1,85	-0,5	9,01	1,6	0,45
6	-7	-1,72	-0,47	8,66	1,7	0,48
7	-6,25	-1,91	-0,52	9,2	1,5	0,44
8	-6,74	-1,79	-0,48	8,83	1,6	0,46
9	-6,23	-1,51	-0,52	9,20	1,5	0,43
10	-6,63	-1,81	-0,49	8,73	1,7	0,47
11	-6,03	-1,96	-0,53	9,56	1,4	0,41
12	-6,42	-1,87	-0,51	8,98	1,6	0,45
13	-6,49	-1,85	-0,5	9,00	1,6	0,45
14	-7	-1,72	-0,47	8,66	1,7	0,48
15	-6,25	-1,91	-0,52	9,23	1,5	0,44
16	-6,74	-1,79	-0,48	8,83	1,6	0,46

З табл. 3.16 - 3.17 випливає, що характер аномалій кліматичних характеристик в західному регіоні, головним чином, визначається умовами розподілу температур у приповерхневому повітрі і на поверхні океану. Як при «позитивній», так і при «негативній» фазах ПАК при ситуації №1 утворюються від'ємні аномалії люневих місячних кількостей опадів, середньомісячних температур повітря і масової частки водяної пари. У ситуації №2 аномалії цих кліматичних характеристик додатні при обох фазах ПАК. Слід зауважити, що при «негативній» фазі ПАК при одних і тих же номерах характеристик, в ситуації №1 аномалії опадів по абсолютній величині кілька перевищують аномалії опадів, які спостерігаються при «позитивній» фазі ПАК, а аномалії температури і вологості повітря, навпаки - мають менші абсолютні величини. У ситуації №2 спостерігається протилежна картина: аномалії опадів при «позитивній» фазі ПАК кілька більші, а температури і вологості дещо менші, ніж при «негативній» фазі ПАК. Найбільші від'ємні аномалії опадів в ситуації №1 мають місце при великих меридіональних градієнтах тиску і вкрай

західному положенні центру азорського антициклону, а найбільші від'ємні аномалії температури - при невеликих меридіональних градієнтах тиску над Північною Атлантикою і при вкрай східному положенні центру азорського антициклону. Складнішою є реакція параметрів регіонального клімату в східній і центральних частинах України (кластер 3 і 4) на варіації діючих факторів акваторії Північної Атлантики. У табл. 3.18 - 3.19 представлені відгуки параметрів клімату у східній частині країни (кластер 3).

Таблиця 3.18 – Відгуки кліматичних характеристик в східній частині України (кластер 3), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану в Північній Атлантиці. «Позитивна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	$\Delta R,$ мм	$\Delta T,$ °C	$\Delta S,$ °/°°	$\Delta R,$ мм	$\Delta T,$ °C	$\Delta S,$ °/°°
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	-3,37	-0,1	-0,06	2,28	-0,18	-0,02
2	-2,75	0,3	0,06	2,81	0,24	0,09
3	-3,62	-0,2	-0,08	1,97	-0,26	-0,05
4	-3,07	0,3	0,04	2,56	0,17	0,07
5	-3,02	-0,4	-0,14	2,47	-0,62	-0,14
6	-2,42	-0,0	-0,03	2,82	-0,25	-0,04
7	-3,29	-0,5	-0,16	2,28	-0,67	-0,15
8	-2,74	-0,1	-0,05	2,66	-0,29	-0,05
9	-3,37	-0,1	-0,06	2,28	-0,18	-0,02
10	-2,75	0,3	0,06	2,81	0,24	0,09
11	-3,62	-0,2	-0,08	1,97	-0,26	-0,05
12	-3,07	0,3	0,04	2,56	0,17	0,07
13	-3,02	-0,4	-0,14	2,47	-0,62	-0,14
14	-2,42	-0,0	-0,03	2,82	-0,25	-0,04
15	-3,29	-0,5	-0,16	2,28	-0,67	-0,15
16	-2,74	-0,1	-0,05	2,66	-0,29	-0,05

Таблиця 3.19 – Відгуки кліматичних характеристик в східній частині України (кластер 3), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану в Північній Атлантиці. «Негативна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°
1	-3,02	0,00	0,00	2,60	-0,1	0,00
2	-2,53	0,4	0,10	3,17	0,34	0,12
3	-3,24	-0,1	-0,05	2,20	-0,2	-0,03
4	-2,78	0,34	0,06	2,89	0,3	0,10
5	-2,77	-0,4	-0,12	2,75	-0,54	-0,11
6	-2,17	0,05	-0,01	3,20	-0,2	-0,01
7	-3,04	-0,4	-0,14	2,50	-0,6	-0,13
8	-2,46	-0,03	-0,03	3,00	-0,2	-0,02
9	-3,02	0,00	-0,03	2,60	-0,1	0,00
10	-2,53	0,4	0,08	3,17	0,34	0,12
11	-3,24	-0,11	-0,05	2,20	-0,2	-0,03
12	-2,78	0,34	0,06	2,89	0,3	0,10
13	-2,77	-0,3	-0,12	2,75	-0,6	-0,11
14	-2,17	0,1	-0,01	3,18	-0,20	-0,01
15	-3,04	-0,43	-0,14	2,50	-0,6	-0,13
16	-2,46	-0,03	-0,03	3,00	-0,20	-0,02

З табл. 3.18 - 3.19 випливає, що для східної частини України аномалії місячних сум опадів мало залежать від фази ПАК, а визначаються головним чином грудневими температурними характеристиками поверхневих океанічних вод і температурою повітря в приводному його шарі. І при «позитивній», і при «негативній» фазах ПАК в ситуації №1 спостерігаються від'ємні аномалії опадів, а в ситуації №2 - додатні. Аномалії середньомісячної лютневої температури повітря і масової частки водяної пари в переважній кількості випадків – від'ємні і малі. Однак, у всіх випадках виявляється добре виражена їх залежність від різниці атмосферного тиску в центрах азорського і ісландського центрів дії: при максимальних значеннях $\Delta p = 75$ гПа, тобто при інтенсивно розвиненої бароклинності, вони виявляються додатними. Це відбувається, мабуть, за рахунок більш частого надходження в східну частину України повітряних мас атлантичного походження, при настільки розвинених атмосферних процесах. Результати чисельних методів для центральної частини України (кластер 4) містяться в табл. 3.20 - 3.21.

Таблиця 3.20 – Відгуки кліматичних характеристик в центральній частині України (кластер 4), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану у Північній Атлантиці. «Позитивна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	-2,96	-0,59	-0,19	4,19	0,22	0,10
2	-2,87	-0,42	-0,15	4,09	0,28	0,12
3	-2,93	-0,63	-0,21	4,22	0,17	0,09
4	-2,83	-0,47	-0,17	4,12	0,24	0,11
5	-2,15	-0,11	-0,06	4,51	0,42	0,16
6	-2,07	0,06	-0,00	4,66	0,56	0,20
7	-2,11	-0,15	-0,06	4,53	0,4	0,15
8	-2,03	0,08	-0,02	4,68	0,53	0,19
9	-2,96	-0,59	-0,19	4,19	0,22	0,10
10	-2,87	-0,42	-0,15	4,09	0,28	0,12
11	-2,93	-0,63	-0,21	4,22	0,17	0,09
12	-2,83	-0,47	-0,16	4,12	0,24	0,11
13	-2,15	-0,11	-0,05	4,51	0,42	0,16
14	-2,07	0,06	-0,00	4,66	0,56	0,20
15	-2,11	-0,15	-0,06	4,53	0,4	0,15
16	-2,03	0,01	-0,02	4,68	0,53	0,19

Таблиця 3.21 – Відгуки кліматичних характеристик в центральній частині України (кластер 4), в аномаліях, на процеси взаємодії атмосфери і океану у Північній Атлантиці. «Негативна» фаза ПАК. Лютий

Номер характерис- тики	Ситуація 1			Ситуація 2		
	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°	ΔR , мм	ΔT , °C	ΔS , °/°°
1	-3,60	-0,83	-0,27	3,35	-0,1	0,00
2	-3,50	-0,7	-0,22	3,38	0,01	0,04
3	-3,57	-0,9	-0,28	3,40	-0,20	-0,01
4	-3,47	-0,72	-0,23	3,41	-0,03	0,03
5	-2,84	-0,40	-0,14	4,05	0,30	0,11
6	-2,85	-0,30	-0,10	4,21	0,40	0,16
7	-2,80	-0,40	-0,15	4,08	0,20	0,10
8	-2,82	-0,30	-0,12	4,23	0,40	0,15

Продовження табл.3.21

9	-3,60	-0,80	-0,27	3,35	-0,10	0,00
10	-3,51	-0,70	-0,22	3,37	0,00	0,04
11	-3,57	-0,90	-0,27	3,40	-0,20	-0,01
12	-3,47	-0,7	-0,23	3,42	-0,00	0,03
13	-2,84	-0,40	-0,14	4,05	0,30	0,11
14	-2,85	-0,30	-0,10	4,21	0,40	0,16
15	-2,80	-0,40	-0,15	4,10	0,20	0,10
16	-2,82	-0,30	-0,12	4,22	0,40	0,15

Видно, що при ситуації №1 плану організації численних експериментів мають місце від’ємні аномалії місячної кількості опадів, які при «негативній» фазі ПАК кілька великі за абсолютною величиною, ніж при «позитивній» фазі. Від’ємні аномалії середньомісячних температур повітря і масової частки водяної пари по абсолютній величині при «негативній» фазі ПАК також перевищують відповідні (за номером характеристики) аномалії цих кліматичних характеристик при «позитивній» фазі ПАК. Крім того, в ситуації №1 вони виявляються навіть додатними при «позитивній» фазі ПАК, коли над Північною Атлантикою встановлюється інтенсивна бароклинність ($\Delta p = 75$ гПа), а центр азорського максимуму займає вкрай західне положення ($\lambda_n = 75^\circ$ зах.д.). У ситуації №2, яка, як зазначалося вище, характеризується інтенсивним вторгненням холодного повітря на західну частину Північної Атлантики і теплої - на східну, при обох фазах ПАК утворюються додатні аномалії опадів в центральній частині України (кластер 4), причому кілька більші за величиною при «позитивній» фазі ПАК. Тут же мають місце додатні аномалії середньомісячних температури і масової частки водяної пари. При «негативній» фазі ПАК аномалії цих кліматичних характеристик мають меншу абсолютну величину, а при малих меридіональних градієнтах тиску ($\Delta p = 15$ гПа) є навіть від’ємними.

Аналізуючи спільно відгуки аномалій кліматичних характеристик в різних регіонах України (різних кластерах) на кліматоутворюючі процеси в акваторії Північної Атлантики, можна побачити, що вони в різних регіонах країни розрізняються. У південному регіоні вони є незначними в ситуації №1 і при «негативній», і при «позитивній» фазах ПАК. У ситуації №2, коли створюються умови, що призводять до загострення бароклинності атмосфери над акваторією океану, спостерігається вплив океану на підвищення температури та вологості повітря, хоча і відносно слабке. У центральних і східних районах України істотний вплив на аномалії кліматичних характеристик здійснює розташування центру азорського антициклону і значення меридіонального градієнта тиску.

Як і слід було очікувати, найбільш значними за абсолютною величиною є відгуки в західному регіоні (кластер 2). З видаленням на схід (кластер 4 - центральна частина і кластер 3 - східна частина України) вплив кліматоутворюючих процесів на відгуки характеристик клімату послаблюється.

Ситуації 1 і 2 розподілу температурних характеристик спільно з розглянутими варіантами циркуляційних умов в акваторії Північної Атлантики відповідають можливим умовам при загальному потеплінні клімату. Як видно, умови циркуляції атмосфери, які можуть виникнути, грають при цьому велику роль. Виникає питання про те, як ставитися до аномалій регіональних кліматів, які утворюються на виході моделі: розглядати їх як величини дійсних відхилень опадів, температури і вологості від середніх значень або як тенденції цих змін. Для того, щоб з'ясувати це питання було поставлено наступний експеримент. З вихідної сукупності значень місячних сум опадів, середньомісячних температур і масових часток водяної пари в першому кластері (південна Україна) розглянуті ситуації, коли ці величини були значно більше, ніж багаторічні середні їх значення в центрі кластера, значно їх менше і близькі до них. Ці ситуації припадали на лютий 1958, 1961, 1963, 1967, 1969, 1972, 1979, 1985 і 1992 роки. Для цих років розраховані фактичні аномалії місячних кількостей опадів ΔR_ϕ , середньомісячної температури ΔT_ϕ і середньомісячної масової частки водяної пари ΔS_ϕ . Потім по зазначеним вище вхідним параметрам для грудня попередніх років були отримані значення відгуків - розрахункових аномалій, відповідно, ΔR_p , ΔT_p і ΔS_p . Аналогічні величини для цих же років були розраховані і для інших трьох кластерів. Результати розрахунків представлені в табл. 3.22 - 3.25.

Таблиця 3.22 – Фактичні та розрахункові аномалії кліматичних характеристик для південного регіону території України (кластер 1)

Рік	ΔR_ϕ , мм	ΔT_ϕ , °C	ΔS_ϕ , °/‰	ΔR_p , мм	ΔT_p , °C	ΔS_p , °/‰
1958	6,40	4,20	1,12	2,50	1,10	0,33
1961	-18,0	1,20	0,26	-4,2	0,30	0,10
1963	23,4	0,80	0,32	5,20	1,10	0,35
1967	9,0	-2,8	-0,60	4,90	-0,70	-0,21
1969	34,7	-2,40	-0,80	9,10	-2,30	-0,72
1972	-28,3	-1,10	-0,86	-6,30	-0,20	-0,05
1979	13,9	0,30	-0,24	4,40	1,30	-0,42
1985	28,1	-9,60	-2,38	9,60	-1,50	-0,49
1992	-7,90	-0,40	0,04	-6,40	-0,39	-0,12

Таблиця 3.23 – Фактичні та розрахункові аномалії кліматичних характеристик для західного регіону території України (кластер 2)

Рік	$\Delta R_{\phi},$ мм	$\Delta T_{\phi},$ °C	$\Delta S_{\phi},$ °/°°	$\Delta R_p,$ мм	$\Delta T_p,$ °C	$\Delta S_p,$ °/°°
1958	11,0	3,40	1,10	0,30	0,60	0,18
1961	-12,0	2,70	0,70	-4,10	0,20	-0,07
1963	8,80	-3,0	-0,80	1,30	-1,40	-0,36
1967	7,40	0,0	-0,07	1,40	-0,0	0,0
1969	-0,80	-2,40	-0,75	2,30	-0,10	-0,01
1972	-25,2	1,80	0,49	-3,0	0,30	0,08
1979	0,40	-1,90	-0,77	1,50	-1,30	-0,35
1985	17,6	-7,0	-1,77	4,60	-2,0	-0,54
1992	-9,40	2,0	0,49	-5,80	0,0	0,0

Таблиця 3.24 – Фактичні та розрахункові аномалії кліматичних характеристик для східного регіону території України (кластер 3)

Рік	$\Delta R_{\phi},$ мм	$\Delta T_{\phi},$ °C	$\Delta S_{\phi},$ °/°°	$\Delta R_p,$ мм	$\Delta T_p,$ °C	$\Delta S_p,$ °/°°
1958	24,0	3,0	0,87	1,10	1,40	0,37
1961	-7,90	3,10	0,82	-2,7	0,0	0,03
1963	3,60	0,50	0,21	1,20	0,10	0,02
1967	-3,40	-3,60	-0,74	-1,70	-0,10	-0,02
1969	-15,6	-3,0	-1,26	-5,80	-2,90	-0,79
1972	-28,0	-1,50	-0,67	-5,90	-2,30	-0,63
1979	8,30	-1,10	-0,50	3,80	-0,10	0,01
1985	13,6	-7,90	-1,65	4,70	-1,90	-0,53
1992	-2,70	-1,70	0,42	-2,30	-0,10	-0,02

Таблиця 3.25 – Фактичні та розрахункові аномалії кліматичних характеристик для центрального регіону території України (кластер 4)

Рік	$\Delta R_{\phi},$ мм	$\Delta T_{\phi},$ °C	$\Delta S_{\phi},$ °/°°	$\Delta R_p,$ мм	$\Delta T_p,$ °C	$\Delta S_p,$ °/°°
1958	11,5	3,40	1,06	2,80	0,70	0,19
1961	-15,0	-0,50	0,06	-2,20	-0,0	-0,02

Продовження табл.3.25

1963	20,0	-2,50	-0,54	0,90	-1,30	-0,37
1967	12,3	-0,60	-0,22	2,80	-0,10	-0,03
1969	19,0	-2,40	-1,0	5,0	-0,2	-0,02
1972	-27,7	-0,50	0,0	-4,90	-1,0	-0,02
1979	-15,2	-2,20	-0,05	-4,90	-0,10	-0,03
1985	-6,70	-8,30	-1,96	-2,20	-0,70	-0,21
1992	-10,0	2,30	0,61	-4,50	0,30	0,07

З табл. 3.22 - 3.25 випливає, що в розглянуті роки, в різних регіонах України аномалії кліматичних характеристик виявляються суттєво різними не тільки за величиною, а й за знаком. При порівнянні фактичних аномалій з модельними виходить, що абсолютні значення фактичних аномалій, особливо, коли значення розглянутих кліматичних характеристик різко відхиляються від середніх, відрізняються від розрахункових. Однак знаки аномалій фактичних і розрахункових в переважних випадках збігаються. Отже, отримані в експериментах дані слід розглядати як можливі тенденції кліматичних змін при розвитку різних сценаріїв зміни температури поверхні океану, температури повітря, великомасштабних циркуляційних процесів в атмосфері над акваторією Північної Атлантики. Слід зауважити, що будь-яка статистична модель будується за неодмінної присутності операції усереднення по множині і за часом. Таким чином, вона не може претендувати на відображення різких коливань модельованих характеристик, тобто «викидів». Крім того, на формування клімату регіонів України впливає не тільки Північна Атлантика, а й процеси взаємодії атмосфери з підстильною поверхнею Північного Льодовитого океану і європейською частиною Росії. Відповідні діючі фактори, на жаль, включити в модель не було можливості. Проте, як показують наведені вище чисельні експерименти, модель адекватно відображає тенденції кліматичних змін в різних регіонах України.

Існує велика кількість сценаріїв зміни глобального клімату, а отже і регіональних кліматів. Вони описані в доповідях [42,103,106]. Як в "песимістичному", так і в "оптимістичному" сценаріях потепління клімату в ХХІ столітті найбільші зміни температури повітря відбуваються в високих широтах. Підвищення температури в полярних областях має привести до інтенсивного танення полярних льодів, що в дійсності і спостерігається в останнє десятиліття.

З цим, мабуть, пов'язана ще одна гіпотеза про можливі майбутні зміни глобального клімату, що з'явилася відносно недавно. Основні її положення полягають в такому. Посилення з плином часу підвищення температури в високих широтах буде призводити до підвищення швидкості танення полярних льодів. Це призведе до того, що все більші простори високих широт Північної Атлантики будуть охоплюватися

холодними опріснені талими водами. При цьому буде слабшати транспортування теплих солоних вод з тропічних широт океану за допомогою Північно-Атлантичного течії, оскільки більш солоні води будуть йти з поверхні океану на більш глибокі горизонти. Як показують експедиційні дослідження, зазначена тенденція вже має місце. В останнє десятиліття відбувається зниження температури поверхневих вод і зростання температури глибинних вод у високих широтах Північної Атлантики [121]. Зазначений процес повинен привести через деякий час (воно визначається в кілька десятків років) до прискореного замерзання опріснених вод у Північній Атлантиці, в результаті чого відбудеться різке похолодання планетарного клімату. Таким чином, в цій гіпотезі передбачається, що потепління глобального клімату є свого роду "спусковим гачком" для різкого його похолодання.

Цікавим є питання про те, якою буде реакція регіональних кліматів України, якщо зазначена гіпотеза перетвориться в реальність. З метою його прояснення проведено чисельний експеримент, який полягав у такому. Якщо високі широти Північної Атлантики будуть охоплені поверхневими талими водами, то це призведе до того, що в області Східно-Гренландської протитечії (корабель №1), Лабрадорської протитечії (корабель №2), а також в Гренландському морі (корабель №6 і №9) температура поверхневих вод буде близька до нуля. Тому в експерименті в зазначених точках приймалася $T_e = 0^{\circ}\text{C}$. В області Ньюфаундлендської енергоактивної зони (корабель №4) і в інших точках середніх широт океану (корабель №3, №7, №8) приймалися значення температури води $(T_{e,\text{мин}} - 3)^{\circ}\text{C}$. Значення $T_{e,\text{мин}}$ - мінімальні значення температури поверхні води в точках розташування зазначених кораблів взяті з вихідної сукупності. У точці розташування корабля №5 $T_{e,\text{мин}}$ знижувалася на 2°C . При цьому в районах розташування всіх кораблів приймалися $\Delta T_{\text{макс}}$ (також взяті з вихідної вибірки) і відповідні їм і температурам поверхневих вод значення температури повітря. За швидкість вітру приймалися середні її значення. При цьому передбачалося, що центр ісландської депресії у розглянутий період буде займати крайнє західне положення ($\lambda_L = 51^{\circ}$ зах.д.) з тих, що спостерігалися фактично, а азорський максимум - вкрай східне ($\lambda_H = 4^{\circ}$ зах.д.). Для широт цих центрів дії приймалося їх середнє значення ($\varphi_L = 59^{\circ}$ півн.ш., $\varphi_H = 35^{\circ}$ півн.ш., відповідно). Вважалося, що в такій ситуації центри дії будуть перебувати в стадії інтенсивного розвитку і тому різниця тиску між центрами, розглядалася також максимальної ($\Delta p = 75$ гПа). Відповідно до цього для індексу ПАК приймалося максимальне значення, а для індексів ПТК і ЕНПівдК - середні значення. В результаті, на основі математичної моделі були отримані

відгуки основних кліматичних характеристик в регіонах України на зазначені процеси в Північній Атлантиці, які представлені в табл. 3.26.

Таблиця 3.26 – Відгуки в аномаліях кліматичних характеристик, на розглянуті процеси в Північній Атлантиці (гіпотеза похолодання глобального клімату)

Аномалія	Регіон України			
	Південний	Західний	Центральний	Східний
$\Delta R, \text{ мм}$	-4,1	-12,3	-8,4	-2,2
$\Delta T, ^\circ \text{C}$	-2,1	-2,4	-0,7	-0,4
$\Delta S, ^\circ /_{00}$	-0,70	-0,68	-0,25	-0,13
$\Delta N, \text{ б}$	0,44	-0,64	-0,44	-0,23

З табл. 3.26 випливає, що при сформульованих вище умовах, які впливають з гіпотези про майбутнє похолодіння клімату, у всіх регіонах України взимку буде відбуватися похолодіння, зменшення хмарності (крім південного регіону), зменшення опадів і вологості повітря. Найбільша реакція проявляється в західному регіоні, який, як було показано вище, найбільш чутливий до процесів, що протікають в акваторії Північної Атлантики, а найменша - в східній частині країни. Наведені в табл. 3.26 дані свідчать про те, що якщо гіпотезу про майбутнє похолодіння клімату розглядати як один з можливих сценаріїв зміни клімату, то при такому сценарії наслідки для регіональних кліматів України виявляться вкрай негативними, особливо для південного, центрального і західного регіонів країни.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження характеру відгуків в різних регіонах України на процеси тепло- і вологообміну, а також особливостей циркуляційних процесів надають можливість зробити такі висновки:

Стосовно поставленого завдання, здійснена адаптація статистичної моделі у вигляді системи поліномів третьої ступені з оберненими зв'язками. Вихідними параметрами моделі обрані чотири основних характеристики регіонального клімату: середньомісячна загальна кількість хмарності, місячна кількість опадів, середньомісячна температура повітря і середньомісячне значення масової частки водяної пари.

Фізичний аналіз процесів, які впливають на формування клімату Європи та України, в тому числі, показав, що в якості діючих на вході моделі доцільно використовувати такі фізичні величини: середньомісячні значення температури поверхневих шарів води, температури повітря, різниці температур повітря-вода, швидкість вітру, географічну широту і довготу центрів азорського максимуму і ісландського мінімуму, різниці тиску в центрах дії, індекси Північноатлантичного, Північнотіхоокеанського коливань і Ель-Ніньо - Південного коливання. Для опису в моделі особливостей тепло- і вологообміну в різних широтах Північної Атлантики використані температурні характеристики і швидкості вітру в точках розташування дев'яти кораблів погоди. Ряди цих характеристик доповнювалися даними NASA, заданими в тих вузлах, які відповідали місцю розташування кораблів погоди. Обсяг вибірок склав 40 років. Вивчення раніше виконаних робіт дало можливість зробити висновок, що післядія кліматоутворювальних процесів, які розвиваються в акваторії Північної Атлантики, на кліматичні характеристики Західної Європи та України становить 1-3 місяці. Тому для визначення параметрів моделі на вході її формувалися вибірки для грудня, а на виході - для січня і лютого. Зимові місяці обрані тому, що, як показують дослідження, кліматичні зміни проявляються найбільш яскраво саме в цей сезон.

З метою стиснення інформації про температурно-вітрові характеристики в кожному з розглянутих районів акваторії Північної Атлантики був застосований факторний аналіз, який дозволило отримати узагальнені фактори і їх ваги в розглянутій змінній. Аналіз часових рядів узагальнених факторів показав, що в період з 1953 по 1992 рр. в високих широтах Північної Атлантики виявляється тренд зниження температури поверхневих вод і тренд збільшення температури повітря і, відповідно, різниці температур повітря-вода. На тренди накладаються добре виразні 2-3 літні періодичності, а також коливання з періодом від 5 до 15 років. Коливання з такими ж періодами виявлені і в часових рядах географічних координат центрів азорського максимуму і ісландського мінімуму, різниці тиску в цих центрах, часових рядах індексів ПАК, ПТК і ЕНПівдК.

Клімат України в різних регіонах має великі відмінності, зумовлені відмінностями циркуляційних процесів і різноманітністю особливостей підстильної поверхні. Тому була поставлена завдання виділення регіонів, які володіють схожістю основних показників клімату. Для об'єктивного кліматичного районування був застосований розроблений одним з авторів «Універсальний адаптивний ітераційний метод кластерного аналізу (УАІМКА)». Він має ту перевагу, що не вимагає, як в інших відомих алгоритмах, наприклад ІСОМАД, завдання гіпотетичних кластерів і їх гіпотетичних центрів.

За допомогою методу кластерного аналізу УАІМКА, на основі даних 33-х метеорологічних станцій, рівномірно розподілених по території, були виділені регіони з подібними характеристиками: середньомісячної загальної кількості хмарності, місячної кількості опадів, середньомісячної температури повітря і середньомісячного значення масової частки водяної пари. У січні для загальної кількості хмарності та опадів було отримано чотири, для температури повітря - три, а масової частки водяної пари - два кластери. У лютому по всіх розглянутих кліматичних характеристиках були виділені три кластери. Отримані кластери мають добру фізичну інтерпретацію. Для математичної моделі, в якій на вході міститися чотири характеристики клімату, а межі кластерів для різних характеристик не співпадають, на підставі перетину загальних зон були побудовані узагальнені кластери, яких у січні виявилось п'ять, а в лютому - чотири. Для цих узагальнених кластерів були розраховані центри, які представляють собою систему з чотирьох сорокавимірних векторів для кожного з кластерів. Вони і склали, поряд з аналогічними векторами діючих факторів, основу для розрахунку параметрів моделі.

Відповідно до алгоритму, представленим в монографії, були розраховані коефіцієнти системи регресійних рівнянь моделі для січня і лютого. З урахуванням вкладу кожного фактора в загальну дисперсію відгуку за критерієм Фішера була проведена оцінка статистичної значущості при заданій довірчій ймовірності 0,8 - для коефіцієнтів при лінійних і квадратичних членах і довірчою ймовірністю 0,9 для коефіцієнтів при третіх степенях. Це дозволило здійснити відбір статистично значущих діючих факторів для кожного з чотирьох відгуків. Виявилось, що рівняння для кожного відгуку і для кожного кластера мають різну структуру.

Для кожного з відгуків з метою дослідження рівня адекватності моделі були розраховані множинні коефіцієнти кореляції. Перевірка статистичної гіпотези про статистичну значущість множинних коефіцієнтів кореляції здійснювалася за критерієм Стюдента для довірчої ймовірності 0,95. Множинні коефіцієнти кореляції для всіх модельних відгуків виявилися статистично значущими. Цей факт і високі значення коефіцієнтів кореляції підтверджує, що побудовані математичні моделі

мають необхідний ступень адекватності. Так як в більшості випадків множинні коефіцієнти кореляції для лютого мали більші значення, ніж для січня, тому подальші чисельні експерименти на моделях проводилися безпосередньо для лютого.

Чисельні експерименти проводилися для кількох планів. У першому з них розглядалися дві можливі ситуації розподілу температурного режиму поверхневих вод, температури повітря в приводному шарі і швидкості вітру в грудні в акваторії Північної Атлантики при різних циркуляційних умовах, які визначаються розташуванням і інтенсивністю центрів дії. Ці ситуації відповідають сучасним умовам потепління клімату. Чисельні експерименти показали, що відгуки на ці ситуації в різних регіонах України суттєво відрізняються. Найбільш чутливі до процесів, що розвиваються в Північній Атлантиці, з двомісячною післядією, є кліматичні характеристики в західному регіоні країни і найменш - у південному регіоні.

У чисельному експерименті проаналізовано сценарій можливого похолодання глобального клімату, в якому сучасне потепління клімату розглядається як «спусковий гачок» до похолодання. Показано, що післядії для регіональних кліматів України виявляються вкрай негативними, особливо для південного, західного і центрального регіонів країни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев Г.В., Иванов В.В., Кораблёв А.А. Климатические изменения в Норвежско-Гренландской энергоактивной зоне и Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана // Труды международной конференции, посвященной 75-летию академика Г.И. Марчука и 20-летию Института вычислительной математики. Том II, Москва, 19-22 июня 2000г. С.17-39.
2. Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. Москва : Изд. МГУ, 1974. 311с.
3. Андрианова О.Р. О связи тепловых аномалий в Северной Атлантике и на Европейской территории СССР // Метеорология и гидрология. 1986. №7. С. 114-116.
4. Барабанов В.С., Ефимов В.В., Шокуров М.В. Об использовании мезомасштабной модели для расчёта полей приводного ветра и осадков над Чёрным морем // Глобальная система наблюдений Чёрного моря. Севастополь: МГИ НАН Украины.2003. С.7-15.
5. Барышевская Г.И. Перенос теплых вод системой Гольфстрим – Северо – Атлантическое течение// Метеорология и гидрология. 1987. №4. С.86-92.
6. Бойченко С.Г. Вероятностная пуассоновская модель повторяемости катастрофических стихийных явлений на территории Украины за последние 1000 лет (по материалам исторических записей) //Вісник науково-технічних розробок, "Знання". 1999. №3. С. 45-48.
7. Бойченко С.Г. Вплив кліматичних коливань температури приземного повітря на повторюваність катастрофічних явищ природи на території України. //Наук. праці УкрНДГМІ. 1999. Вип. 247. С. 76-90.
8. Бойченко С.Г. Вплив вікових коливань глобального температурного режиму на повторюваність катастрофічних гідрометеорологічних явищ на території України // Зб. праць "Україна та глобальні процеси: географічний вимір", Київ-Луцьк. 2000. Т.2. С. 228-233.
9. Бойченко С.Г. Основні закономірності вікового ходу повторюваності катастрофічних явищ природи на території України (за останнє тисячоліття) // Вісник Київського університету імені Тараса Шевченка, сер. Географія. 2000. Вип. 46. С. 28-34.
10. Бойченко С.Г. Реакція кліматичних умов України та повторюваності природних катастрофічних явищ на глобальне потепління : Дис...канд. географ.наук: 11.00.09. Київ, 2001. 142 с.
11. Бойченко С.Г. Статистичний аналіз повторюваності катастрофічних гідрометеорологічних явищ на території України минулого тисячоліття // Зб. праць "Ерозія Берегів Чорного і Азовського морів". Київ. 1999. С.89-92.

12. Бойченко С.Г., Волощук В.М. Ефект немонотонної залежності повторюваності катастрофічних явищ природи на території України від кліматичних аномалій приземної температури Європи // Вісник Київського університету імені Тараса Шевченка, сер. Географія. 2000. Вип. 47. С. 14-25.
13. Бойченко С.Г., Волощук В.М. Ефект різкого підвищення повторюваності катастрофічних процесів та явищ природи на території України при глобальному потеплінні або похолоданні клімату // Доповіді НАН України. 2001. №5. С. 4-15.
14. Бойченко С.Г., Волощук В.М., Дорошенко І.А. Глобальне потепління та його наслідки на території України // Український географічний журнал. 2000. №3. С. 59-68.
15. Бойченко С.Г., Волощук В.М., Дорошенко І.А. Закономірності формування мікрокліматичних умов відкритих ландшафтів України // Зб. праць "Проблеми ландшафтного різноманіття України". Київ, 2000. С. 243-247.
16. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 351 с.
17. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Ленинград: Гидрометеиздат, 1956. 344 с.
18. Бучинский И.Е. Климат Украины в прошлом, настоящем, будущем. Киев: Госсельхозиздат, 1963. 308 с.
19. Бучинский И.Е. Климат Украины. Ленинград: Гидрометиздат, 1960. 130 с.
20. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. Москва: Наука, 1974. 257с.
21. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Полуэмпирические модели глобального климата // Метеорология и гидрология. 1992. №8. С. 5-17.
22. Волощук В.М. Вікова трансформація кліматичних полів приземної температури та інтенсивності атмосферних опадів на території України (за результатами інструментальних спостережень) // Зб. праць "Ерозія берегів Чорного і Азовського морів". Київ. 1999. С. 35-39.
23. Волощук В.М. Основні закономірності сучасного потепління клімату на території України та його екологічні наслідки // Зб. праць "Україна та глобальні процеси: географічний вимір". Київ-Луцьк. 2000. Т. 3. С. 202-208.
24. Волощук В.М. Про можливі зміни середньорічного температурного режиму України в першій половині ХХІ століття // Доповіді НАНУ. 1993. №12. С. 105-111.

25. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Реакція сезонного ходу приземної температури України на глобальне потепління клімату // Доповіді НАНУ. 1997. № 9. С.113-118.
26. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Вплив загального глобального потепління клімату на середньорічну інтенсивність атмосферних опадів в Україні // Доповіді НАНУ. 1998. № 6. С. 125-130.
27. Волощук В.М., Гродзинський М.Д., Шищенко П.Г. Географічні проблеми сталого розвитку України //Український географічний журнал. 1998. №1. С. 13-18.
28. Волощук В.М., Скрипник М.П. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України // Вісник АН України. 1993. №3. С.31-44.
29. Геодонов А.Д. Изменения температуры воздуха на северном полушарии за 90 лет. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 146 с.
30. Глобальне потепління і клімат України: Регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти / Волощук В.М., Бойченко С.Г., Степаненко С.М. та ін. Київ: Київський нац. ун. ім. Т.Г. Шевченка, 2002. 116 с.
31. Горелик А.Л., Скрипник В.А. Методы распознавания. Москва: Высшая школа, 1984. 273 с.
32. Гулцев С.К., Колинко А.В., Лаппо С.С. Взаимодействие океана и атмосферы в Ньюфаундлендской энергоактивной области в условиях аномальных атмосферных ситуаций // Метеорология и гидрология 1987. №8. С. 63-70.
33. Гулцев С.К., Лаппо С.С., Тихонов В.А. Межгодовая динамика интегральных характеристик теплового взаимодействия Северной Атлантики с атмосферой // Изв. АН СССР. ФАО. 1988. Т. 24, №8. С. 861-872.
34. Дианский Н.А., Глазунов А.В. Моделирование взаимодействия атмосферы и верхнего слоя океана в средних широтах // Труды международной конференции, посвященной 75-летию академика Г.И. Марчука и 20-летию Института вычислительной математики. Том II, Москва, 19-22 июня 2000 г. С.69-88.
35. Динамика климата / под ред. С. Манабе. Пер. с англ. Сб.статей. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 138 с.
36. Домрачёв А.Е. Метеорологические условия формирования микроструктуры тёплых туманов Одессы : дис...канд.географ.наук: 11.00.09. Одесса, 1989. 177 с.
37. Дроздов О.А. Циклические колебания осадков и температуры, используемые в сверхдолгосрочных прогнозах, в формировании которых возможно участие солнечной активности // Труды ГГО им. А.И. Воейкова, 1975. Вып.354. С.3-14.

38. Дроздов О.А., Арапов П.П., Лугіна К.М., Мосолова Г.І. Деякі аспекти взаємодії природних та антропогенних змін клімату // Український географічний журнал. 2000. №2. С. 54-59.
39. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Характеристика цикличности осадков на территории СССР и связь с цикличностью общей циркуляции атмосферы // Проблемы общей циркуляции атмосферы. Ленинград: Гидрометиздат, 1972. С.87-96.
40. Ефимов В.А., Ивус Г.П. О физике антициклогенеза современной климатической эпохи // Наукові праці УкрНДГМІ. 2002. Вип.250. С.78-91.
41. Ефимов В.В., Шокуров М.В. Исследование искусственной нейтронной сети для статистического оценивания температуры поверхности Чёрного моря. // Труды международной конференции, посвященной 75-летию академика Г.И. Марчука и 20-летию Института вычислительной математики. Том II, Москва, 19-22 июня 2000 г. С.267-274.
42. Изменение климата, 2001: Обобщенный доклад. Женева: ВМО, 2003. 520 с.
43. Исследование взаимодействия пограничных слоев атмосферы и океана. Анализ современного состояния и оценка перспективных направлений работ в рамках программы “Разрезы” / под редакцией Ю.А. Волкова, В.Н. Лыковского. Москва, 1987. 63 с.
44. Климат Украины / под редакцией Прихотько Г.Ф., Ткаченко А.Р., Бабиченко В.Н. Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. 913 с.
45. Климатология / Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева М.В., и др. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. 567 с.
46. Клімат України / за ред. Ліпінського В.М., Дячка В.А., Бабіченко В.М. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
47. Кондратьев К.Я., Козодеров В.В. Аномалии радиационного баланса Земли и теплосодержания деятельного слоя океана как проявление энергоактивных зон // Итоги науки и техники. Атмосфера, океана, космос-программа “Разрезы”. Москва: ВИНТИ, 1984. 280 с.
48. Крученицкий Г.М. , Галкина И.Л., Белявский А.В., Скоробогатый Т.В. О принципиальных ограничениях в моделировании атмосферных процессов // Труды УкрНИГМИ. 2002. Вып.250. С.149-161.
49. Кузин В.И., Моисеев В.М. Моделирование реакции океана на атмосферные воздействия в период Эль-Ниньо // Труды международной конференции, посвященной 75-летию академика Г.И. Марчука и 20-летию Института вычислительной математики. Том II. Москва, 19-22 июня 2000 г. С.113-120.
50. Энергоактивные области Мирового океана / Лаппо С.С. и др // ДАН СССР. 1984. Т. 275. №4. С.125-129.

51. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 335 с.
52. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы : пер. с англ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. 294 с.
53. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. Москва: Мир, 1967. 211 с.
54. Мартазинова В.Ф., Свердлик Т.А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, её изменения и современное состояние // Труды УкрНИГМИ. 1998. Вып.246. С.21-27.
55. Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А. Определение квазипериодичности атмосферных процессов на Северном полушарии с помощью метода «плавающий аналог» // Труды УкрНИГМИ. 1986. Вып.219. С.42-46.
56. Мартазінова В.Ф., Іванова О.К., Сологуб Т.А. Сучасний стан вітроенергетичних зон на території України у 1990-х роках // Наукові праці УкрНДГМІ. 2002. Вип.250. С.19-33.
57. Марчук Г.И. Моделирование изменений климата и проблема долгосрочного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. 1979. №7. С.25-36.
58. Марчук Г.И., Дымников В.П., Курбаткин Г.П., Саркисян А.С. Программа «Разрезы» и мониторинг Мирового океана // Метеорология и гидрология. 1984. №8. С.9-17.
59. Математическая энциклопедия : в 4т. Москва : Изд. «Советская энциклопедия», 1984. Т.3: Монте-Карло метод. С.815, Т.4: Ортогонализация. С.80.
60. Райзин Дж. Вэн. Классификация и кластер. Москва: Мир, 1980. 244 с.
61. Рождественский А.Е., Тихонов В.А. Векторная параметризация климатических крупномасштабных потоков тепла над океаном и ее адаптация для акватории Северной Атлантики // Гидрометеорологические закономерности формирования среднеширотных энергоактивных областей Мирового океана. Ч.1. Москва: Гидрометеиздат, 1986. С. 202-206.
62. Рубинштейн Е.С. Структура колебаний температуры воздуха на Северном полушарии. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 36 с.
63. Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современное изменение климата. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 268 с.
64. Свердлик Т.А. Влияние крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на изменение регионального климата Украины // Тр. конференции молодых учёных национальных гидрометслужб стран СНГ. Москва, 1999. С. 6-7.
65. Свердлик Т.О. Мінливість у масштабах десятиріч атмосферної циркуляції повітря північної півкулі : зб. наук. праць “Україна та

- глобальні процеси: географічний вимір”. Київ-Луцьк: Вежа, 2000. Т.2. С.308-311.
66. Свердлик Т.О. Сучасні зміни великомасштабної атмосферної циркуляції в Атлантико Європейському регіоні в холодний період року та виявлення особливостей синоптичних процесів останнього десятиріччя // Вісник Київського університету ім. Тараса Шевченка, Сер. географія. Вип. 44. С. 78-80.
 67. Свердлик Т.А. Эволюция крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха Северного полушария во второй период современного потепления климата // Наукові праці УкрНДГМІ. 1999. Вип.247. С.63-75.
 68. Свердлик Т.О. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом XX століття і перетворення погодних умов на території України : дис...канд. географ.наук: 11.00.09. К., 2000. 131 с.
 69. Серга Е.М. Результаты чисельных экспериментов по статистической модели динамики климата Украины // Міжвідомчий науковий зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2004. Вип.48. С.23-32.
 70. Серга Э.Н. Универсальный адаптивный итерационный метод кластерного анализа // Міжвідомчий науковий зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2003. Вип.47. С.83-89.
 71. Средние месячные, декадные и пентадные температуры воды, воздуха, разности температур «воздух-вода» и скорости ветра в отдельных районах Северной Атлантики (1953-1974гг.). Ч. 1. Обнинск, 1976.
 72. Статистичне моделювання клімату України : Звіт з НДР (закл.) / ОДЕКУ. - № держреєстрації 0202U000264. О., 2003. 168 с.
 73. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. Москва: Мир, 1978. 248 с.
 74. Хохлов В.Н. Влияние Северо-Атлантического колебания на энергетику внетропических широт // Міжвідомчий наук. зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2002. Вип. 46. С.30-34.
 75. Шапаев В.М. Взаимодействие Мирового океана с атмосферой и формирование климата. Ленинград: ЛГМИ, 1974. 168 с.
 76. Школьный Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник. Київ: Вища школа, 1999. С.455-513.
 77. Школьный Е.П. Многофакторная регрессионная модель физико-статистического метода прогноза погоды // Труды УкрНИГМИ, 1976. Вып. 134. С.3-24.
 78. Школьный Е.П., Серга Э.Н. Факторный анализ характеристик определяющих взаимодействие атмосферы и океана в акватории

- Северной Атлантики // Міжвідомчий науковий зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2002. Вип.45. С.25-30.
79. 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.
80. Щербань М.И. Микроклиматология. Киев: Вища школа, 1985. 221 с.
81. Aeberhardt M., Blatter M. Stoecker T.F. Variability on the century time scale and regime changes in a stochastically forced zonally averaged ocean-atmosphere model // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27. P. 1303-1306.
82. Appenzeller C., Weiss A.K., Staehelin J. North Atlantic Oscillation modulates total ozone winter trends // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27. P. 1131-1134.
83. Baldwin M.P., Dunkerton T.J. Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes // Science. 2000. Vol. 294 P. 581-584.
84. Black R.X. Stratospheric forcing of surface climate in the Arctic Oscillation // J. Clim. 2002. Vol. 15. P. 268-277.
85. Bodri L., Cermak V. High frequency variability in recent climate and the north atlantic oscillation // Theor. Appl. Climatol. 2003. Vol. 74. P. 33-40.
86. Boer G.J., Yu B. Climate sensitivity and response // Clim. Dyn. 2003. Vol. 20. P. 415-429.
87. Bunker A.F. Computation of surface energy flux and annual Sea air interaction cycles of the North Atlantic Ocean // Mon. Wea. Rev. 1976. Vol. 104, №9. P. 1122-1140.
88. Burke E.J., Shuttleworth W.J., Yang Z.-L., Mullen S.L., Arain M.A. The impact of the parameterization of heterogeneous vegetation on the modeled large-scale circulation in CCM3-BATS // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27. P. 397-400.
89. Chen W.Y. Assessment of Southern oscillation Sea level pressure indices // Mon. Wea. Rev. 1982. Vol 110, №7. P. 800-807.
90. Chipperfield M.P. A three-dimensional model study of long-term mid-high latitude lower stratosphere ozone changes // Atmos. Chem. Phys. 2003. Vol. 3. P. 1253-1265.
91. Chou C., Neelin J.D. Cirrus detrainment-temperature feedback // Geophys. Res. Lett. 1999. Vol. 26. P. 1295-1298.
92. Climatology Interdisciplinary Data Collection (CIDC). Monthly means of over 70 Climate Parameters for Research and Teaching. Vol.1-4. <http://daac.gsfc.nasa.gov/>.
93. Czaja A., Marshall J. Role of Ocean Dynamics and Atmosphere-Ocean coupling in the observed North Atlantic Decadal Variability. Exchanges. 2001. Vol. 6, №1. P. 15-17.

94. Da Costa E.D., de Verdiere A.C. The 7.7 year North Atlantic Oscillation // Q, J, R. Meteorol Soc 2002 Vol. 128. P. 797-817.
95. Dai A., Wigley T.M.L. Global patterns of ENSO-induced precipitation // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27. P. 1283-1286.
96. Deser C. On the teleconnectivity of the "Arctic Oscillation" // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27. P. 779-782.
97. Eckhardt S., Stohl A., Beirle S., Spichtinger N., James P., Forster C., Junker C., Wagner T., Platt U., Jennings S.G. The North Atlantic Oscillation controls air pollution transport to the Arctic // Atmos. Chem. Phys. 2003. Vol. 3. P. 1769-1778.
98. Forster P.M. de F., Shine K.P. Stratospheric water vapour changes as a possible contributor to observed stratospheric cooling // Geophys. Res. Lett. 1999. Vol. 26. P. 3309-3312.
99. Fromm M., Bevilacqua R., Stocks B., Servranckx R. Eruptive transport to the stratosphere: add fire-convection to volcanoes // Atmos. Environ. 2004. Vol. 38. P. 163-165.
100. Haarsma R.J., Selten F.M. Mechanisms of extratropical Decadal Variability. Exchanges. 2001. - Vol. 6, №1, Part 1.- P 8-11.
101. Hilmer M., Jung T. Evidence for a recent change in the link between the North Atlantic Oscillation and Arctic sea ice export // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27. P. 989-992.
102. Holton J.R., Haynes P.H., McIntyre M.E., Douglass A.R., Rood R.B., Pfister L. Stratosphere-troposphere exchange // Rev. Geophys. 1995. Vol. 33. P. 403-439.
103. Houghton J.T. and other Climate Change 2001. The Scientific Basis. Cambridge University press. 2001. 881p.
104. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation. Regional temperatures and precipitation // Science 1995 Vol. 269 P. 676-679.
105. Hurrell J.W., Van Loon H. Decadal variation in climate associated with the North Atlantic Oscillation // Clim. Change. 1997. Vol 36. P. 301-326.
106. I PCC, 2001 Climate Change 2001: Synthesis report. A Contribution of Working I and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson R.I. and the Core Writing Team (eds)]. Cambridge Univ. Press., Cambridge, United Kingdom and New York., NY, USA. 398 p.
107. Julian P.R., Chervin R.M. A study of the Southern oscillation and Walker circulation phenomena // Mon. Wea. Rev. 1978. Vol. 106. P. 1433-1451.
108. Kok C.J., Opsteegen J.D. Possible causes of anomalies during the 1982-83 El-Nino Event // J. Atmosph. Sci. 1985. Vol. 42, №7. P. 677-694.
109. Kutiel H., Benaroch Y. North Sea-Caspian Pattern (NCP) an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition // Theor. Appl. Climatol. 2002. Vol 71, №1-2. P. 17-28.

110. Oberhuber J., Roeckner E, Christopf M., Esch M.,Latif M. Predicting the El-Nino event with a global climate model. Max-Plank Institute fur Meteorology. Report №254, Hamburg. 1998.
111. Oh H.S., Ammann C., Naveau P., Nychka D., Otto-Bliesner B. Multi-resolution time series analysis applied to solar irradiance and climate reconstructions // J. Atmos. Solar-Terrestrial Physics. 2003. Vol. 65. P. 191-201.
112. Quiros R.S. Observed response of the Northern hemisphere atmospheric circulation to the 1982-83 El-Nino Ocean Warning. // Tropical Ocean Atmosphere Newsletter. 1984. №24. P. 1-2.
113. Quiros R.S. The climate of the El-Nino winter of 1982-83, a season of extraordinary climatic anomalies // Mon. Wea. Rev. 1983. Vol. 111 P. 1685-1706.
114. Rowan Sutton. Predicate: Mechanisms and Predictability of Decadal Fluctuations in Atlantic-European Climate. Exchanges. 2001.Vol. 6., P. 11-15.
115. Ruddiman W.F. Earth's climate: past and future. New York: W.H. Freeman, 2001. 465 p.
116. Saito K., Yasunari T., Cohen J. Changes in the sub-decadal covariability between Northern Hemisphere snow cover and the general circulation of the atmosphere // Int. J. Climatol. 2004. Vol. 24. P. 33-44.
117. Stein O. The variability of Atlantic European blocking as derived from long SLP time series // Tellus. 2000. Vol 52A. P. 225-236.
118. Thompson D.W. J. and Wallace J.M. The Arctic Oscillation signature in winter geopotential heights and temperature fields. // Geophys. Res. Lett. 1998. Vol. 25. P. 1297-1300.
119. Visbeck M, Harrell J.W, Kushnir Y. The first international Conference on the North Atlantic Oscillation (NAO). Exchanges. 2001. Vol. 6, №1. P 24-25.
120. Wallace J.M., Gutzler D.S. Teleconnections in the geopotential heights field during the hotheris Hemisphere winter // Mon. Wea. Rev. 1981 Vol. 109. P. 784-812.
121. World Climate News // Geneva. 1998. №12. 12 p.
122. Wyrтки K. The Southern oscillation ocean atmosphere interaction and El-Nino // Mar. Technology Soc. Journ. 1982. Vol 16, №1.P. 3-10.

ДОДАТОК А

КОЕФІЦІЄНТИ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ РЕГРЕСІЇ З ОБЕРНЕНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

Кластер 1. Лютий.

Коефіцієнти обернених зв'язків:

$$\begin{aligned} \alpha [1,2]&=0.233183, & \alpha [1,3]&=-0.091153, & \alpha [1,4]&=0.691234, \\ \alpha [2,1]&=0.373239, & \alpha [2,3]&=-0.766757, & \alpha [2,4]&=0.625460, \\ \alpha [3,1]&=-0.013967, & \alpha [3,2]&=-0.067735, & \alpha [3,4]&=0.969268, \\ \alpha [4,1]&=0.090692, & \alpha [4,2]&=0.051666, & \alpha [4,3]&=0.910495. \end{aligned}$$

Для середньомісячної загальної кількості хмарності $\hat{y}_1$.

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[1]=0.003097.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$\begin{aligned} a[9]&=0.137435, & a[19]&=0.211579, & a[16]&=0.278994, & a[4]&=-0.045341, \\ a[2]&=0.025038, & a[1]&=-0.054662, & a[6]&=-0.238748, & a[5]&=0.310938, \\ a[3]&=-0.201941. \end{aligned}$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$\begin{aligned} a[4,4]&=-0.002289, & a[6,6]&=-0.002628, & a[3,3]&=0.001821, & a[4,6]&=0.001396, \\ a[4,3]&=-0.000545, & a[6,3]&=-0.000200. \end{aligned}$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$\begin{aligned} a[4,4,4]&=0.003488, & a[4,4,2]&=-0.001936, & a[4,4,1]&=0.004334, \\ a[4,2,2]&=0.003629, \\ a[4,2,1]&=-0.000006, & a[4,1,1]&=0.003674, & a[2,2,2]&=-0.001912, \\ a[2,2,1]&=0.003971, \\ a[2,1,1]&=-0.002046, & a[1,1,1]&=0.004354. \end{aligned}$$

Для місячної кількості опадів $\hat{y}_2$.

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[2]=0.005638.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$\begin{aligned} a[23]&=-0.231624, & a[21]&=0.295035, & a[8]&=-0.006824, & a[7]&=-0.089294, \\ a[5]&=0.045569, & a[6]&=0.130333, & a[1]&=0.003965, & a[2]&=0.066296, \\ a[9]&=-0.418089, & a[4]&=0.241558, & a[3]&=0.189231, & a[25]&=-0.291254. \end{aligned}$$

Коефіцієнти другого степеня:

$a[23,23]=-0.006241$, $a[8,8]=-0.002766$, $a[7,7]=-0.002206$, $a[5,5]=0.002305$,
 $a[6,6]=0.000109$, $a[1,1]=-0.000042$, $a[9,9]=0.001793$, $a[4,4]=0.001410$,
 $a[23,8]=-0.000962$, $a[23,7]=-0.002086$, $a[23,5]=-0.000246$,
 $a[23,6]=0.005481$, $a[23,1]=0.003701$, $a[23,9]=0.003134$, $a[23,4]=0.000696$,
 $a[8,7]=0.000180$, $a[8,5]=-0.000383$, $a[8,6]=0.002484$, $a[8,1]=-0.004438$,
 $a[8,9]=0.002309$, $a[8,4]=0.001624$, $a[7,5]=-0.003850$, $a[7,6]=0.001205$,
 $a[7,1]=-0.000751$, $a[7,9]=0.005188$, $a[7,4]=-0.005339$, $a[5,6]=-0.006239$,
 $a[5,1]=0.004696$, $a[5,9]=0.004166$, $a[5,4]=0.000446$, $a[6,1]=-0.003093$,
 $a[6,9]=0.001274$, $a[6,4]=0.005894$, $a[1,9]=-0.001900$, $a[1,4]=0.004167$,
 $a[9,4]=-0.001820$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[8,8,8]=0.000304$, $a[8,8,7]=0.005524$, $a[8,8,5]=-0.002444$,
 $a[8,8,6]=-0.008167$, $a[8,8,1]=0.000075$, $a[8,8,2]=-0.004248$,
 $a[8,7,7]=0.000658$, $a[8,7,5]=-0.000399$, $a[8,7,6]=0.000263$,
 $a[8,7,1]=0.000218$, $a[8,7,2]=0.000182$, $a[5,5,5]=0.000216$,
 $a[8,5,6]=-0.000458$, $a[8,5,1]=0.000341$, $a[8,5,2]=0.000134$,
 $a[8,6,6]=0.000798$, $a[8,6,1]=-0.000156$, $a[8,6,2]=-0.000045$,
 $a[8,1,1]=0.000776$, $a[8,1,2]=0.000298$, $a[8,2,2]=0.000800$,
 $a[7,7,7]=0.005557$, $a[7,7,5]=-0.002906$, $a[7,7,6]=-0.008220$,
 $a[7,7,1]=-0.000249$, $a[7,7,2]=-0.004174$, $a[7,5,5]=0.005453$,
 $a[7,5,6]=-0.000187$, $a[7,5,1]=-0.000125$, $a[7,5,2]=0.000358$,
 $a[7,6,6]=0.005385$, $a[7,6,1]=0.000670$, $a[7,6,2]=-0.000556$,
 $a[7,1,1]=0.005335$, $a[7,1,2]=0.000071$, $a[7,2,2]=0.005157$,
 $a[5,5,5]=-0.002442$, $a[5,5,6]=-0.007494$, $a[5,5,1]=-0.000316$,
 $a[5,5,2]=-0.004523$, $a[5,6,6]=-0.003184$, $a[5,6,1]=0.000406$,
 $a[5,6,2]=0.000777$, $a[5,1,1]=-0.002910$, $a[5,1,2]=-0.000690$,
 $a[5,2,2]=-0.002860$, $a[6,6,6]=-0.007968$, $a[6,6,1]=-0.000592$,
 $a[6,6,2]=-0.004938$, $a[6,1,1]=-0.009020$, $a[6,1,2]=0.000180$,
 $a[6,2,2]=-0.007782$, $a[1,1,1]=-0.000423$, $a[1,1,2]=-0.003937$,
 $a[1,2,2]=-0.000078$, $a[2,2,2]=-0.004152$.

Для середньомісячної температури повітря $\hat{y}_3$.

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[3]=-0.001195$.

Коефіцієнти першого степеня:

$a[4]=-0.029954$, $a[5]=-0.025125$, $a[23]=-0.059173$, $a[6]=-0.019145$,
 $a[1]=0.025800$, $a[2]=-0.048197$, $a[3]=-0.075087$, $a[8]=0.090485$,
 $a[17]=0.103581$.

Коефіцієнти другого степеня:

$a[5,5]=0.001137$, $a[23,23]=-0.001354$, $a[6,6]=0.000123$, $a[1,1]=-0.000682$,
 $a[2,2]=-0.000400$, $a[3,3]=0.002839$, $a[8,8]=-0.000863$, $a[17,17]=0.000395$,
 $a[5,23]=0.000266$, $a[5,6]=-0.000940$, $a[5,1]=0.001213$, $a[5,2]=-0.000034$,
 $a[5,3]=-0.000416$, $a[5,8]=-0.001087$, $a[5,17]=0.000405$, $a[23,6]=0.000748$,
 $a[23,1]=0.001778$, $a[23,2]=0.000358$, $a[23,3]=-0.000425$,
 $a[23,8]=-0.000009$, $a[23,17]=0.002550$, $a[6,1]=0.001199$, $a[6,2]=-0.001876$,
 $a[6,3]=-0.000614$, $a[6,8]=0.001234$, $a[6,17]=0.000289$, $a[1,2]=0.000173$,
 $a[1,3]=0.000081$, $a[1,8]=0.000091$, $a[1,17]=-0.001371$, $a[2,3]=0.000343$,
 $a[2,8]=-0.000221$, $a[2,17]=-0.001397$, $a[3,8]=-0.002799$, $a[3,17]=0.001078$,
 $a[8,17]=-0.000257$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[4,4,4]=0.002359$, $a[4,4,5]=0.001862$, $a[4,4,23]=0.004501$,
 $a[4,4,6]=0.001498$, $a[4,4,1]=-0.002097$, $a[4,5,5]=0.002528$,
 $a[4,5,23]=0.000042$, $a[4,5,6]=-0.000115$, $a[4,5,1]=-0.000016$,
 $a[4,23,23]=0.002296$, $a[4,23,6]=-0.000152$, $a[4,23,1]=0.000044$,
 $a[4,6,6]=0.002131$, $a[4,6,1]=0.000023$, $a[4,1,1]=0.002346$,
 $a[5,5,5]=0.001992$, $a[5,5,23]=0.004615$, $a[5,5,6]=0.001496$,
 $a[5,5,1]=-0.001966$, $a[5,23,23]=0.001860$, $a[5,23,6]=0.000096$,
 $a[5,23,1]=0.000044$, $a[5,6,6]=0.001846$, $a[5,6,1]=0.000151$,
 $a[5,1,1]=0.001922$, $a[23,23,23]=0.004457$, $a[23,23,6]=0.001444$,
 $a[23,23,1]=-0.001698$, $a[23,6,6]=0.004608$, $a[23,6,1]=-0.000142$,
 $a[23,1,1]=0.004410$, $a[6,6,6]=0.001367$, $a[6,6,1]=-0.001947$,
 $a[6,1,1]=0.001286$, $a[1,1,1]=-0.002049$.

Для середньомісячних значень масової частки водяної пари y_4 .

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[4]=0.003551$.

Коефіцієнти першого степеня:

$a[5]=0.009621$, $a[7]=0.007884$, $a[9]=-0.035167$, $a[4]=0.023993$,
 $a[17]=-0.076873$, $a[1]=-0.028076$, $a[12]=0.049495$, $a[2]=0.052586$,
 $a[21]=-0.099885$, $a[3]=0.089418$.

Коефіцієнти другого степеня:

$a[5,5]=-0.000990$, $a[7,7]=0.000576$, $a[9,9]=0.000027$, $a[4,4]=-0.000813$,
 $a[17,17]=-0.000342$, $a[1,1]=0.000713$, $a[2,2]=0.000209$,
 $a[21,21]=-0.000179$, $a[3,3]=-0.002752$, $a[5,7]=-0.000120$, $a[5,9]=0.000385$,
 $a[5,4]=0.000845$, $a[5,17]=-0.000496$, $a[5,1]=-0.001385$, $a[5,2]=0.000342$,
 $a[5,21]=-0.001189$, $a[5,3]=0.000283$, $a[7,9]=0.001902$, $a[7,4]=0.000054$,
 $a[7,17]=-0.000192$, $a[7,1]=-0.000219$, $a[7,2]=0.001635$, $a[7,21]=-0.000427$,
 $a[7,3]=-0.002847$, $a[9,4]=0.001183$, $a[9,17]=0.000779$, $a[9,1]=-0.000866$,

$a[9,2]=0.000602$, $a[9,21]=0.000538$, $a[9,3]=0.000107$, $a[4,17]=-0.000570$,
 $a[4,1]=-0.001180$, $a[4,2]=0.000481$, $a[4,21]=-0.000664$, $a[4,3]=-0.002356$,
 $a[17,1]=0.001284$, $a[17,2]=0.001196$, $a[17,21]=0.000710$,
 $a[17,3]=-0.000890$, $a[1,2]=-0.000477$, $a[1,21]=0.001687$, $a[1,3]=-0.000186$,
 $a[2,21]=-0.000692$, $a[2,3]=-0.000691$, $a[21,3]=0.000032$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[5,5,5]=-0.000763$, $a[5,5,7]=-0.000588$, $a[5,5,4]=-0.001922$,
 $a[5,5,1]=0.001922$, $a[5,5,2]=-0.003632$, $a[5,7,7]=-0.000676$,
 $a[5,7,4]=-0.000031$, $a[5,7,1]=0.000144$, $a[5,7,2]=0.000036$,
 $a[5,4,4]=-0.000609$, $a[5,4,1]=-0.000016$, $a[5,4,2]=-0.000031$,
 $a[5,1,1]=-0.000635$, $a[5,1,2]=0.000065$, $a[5,2,2]=-0.000722$,
 $a[7,7,7]=-0.000653$, $a[7,7,4]=-0.001497$, $a[7,7,1]=0.001856$,
 $a[7,7,2]=-0.003640$, $a[7,4,4]=-0.000390$, $a[7,4,1]=-0.000183$,
 $a[7,4,2]=0.000146$, $a[7,1,1]=-0.000698$, $a[7,1,2]=-0.000237$,
 $a[7,2,2]=-0.000495$, $a[4,4,4]=-0.001738$, $a[4,4,1]=0.002101$,
 $a[4,4,2]=-0.003610$, $a[4,1,1]=-0.001706$, $a[4,1,2]=-0.000184$,
 $a[4,2,2]=-0.001751$, $a[1,1,1]=0.002035$, $a[1,1,2]=-0.003751$,
 $a[1,2,2]=0.001951$, $a[2,2,2]=-0.003724$.

Кластер 2. Лютий.

Коефіцієнти обернених зв'язків:

$\alpha[1,2]=0.564736$, $\alpha[1,3]=-0.753544$, $\alpha[1,4]=0.985483$,
 $\alpha[2,1]=0.644038$, $\alpha[2,3]=-0.385052$, $\alpha[2,4]=0.184667$,
 $\alpha[3,1]=-0.050647$, $\alpha[3,2]=-0.022319$, $\alpha[3,4]=0.991231$,
 $\alpha[4,1]=0.063769$, $\alpha[4,2]=0.010730$, $\alpha[4,3]=0.970030$.

Для середньомісячної загальної кількості хмарності $\hat{y}_1$.

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[1]=-0.000145$.

Коефіцієнти першого степеня:

$a[7]=0.041999$, $a[4]=0.030858$, $a[19]=0.230573$, $a[2]=-0.040006$,
 $a[21]=0.245727$, $a[1]=-0.099210$, $a[5]=0.253978$, $a[6]=-0.265960$,
 $a[3]=-0.249692$.

Коефіцієнти другого степеня:

$a[2,2]=0.000249$, $a[5,5]=-0.000105$, $a[2,5]=-0.004655$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[7,7,7]=-0.003048$, $a[7,7,4]=-0.002289$, $a[7,7,2]=0.003002$,
 $a[7,7,1]=0.008181$, $a[7,4,4]=-0.003402$, $a[7,4,2]=0.000057$,
 $a[7,4,1]=0.000028$, $a[7,2,2]=-0.003057$, $a[7,2,1]=0.000055$,
 $a[7,1,1]=-0.002607$, $a[4,4,4]=-0.002336$, $a[4,4,2]=0.003107$,
 $a[4,4,1]=0.007389$, $a[4,2,2]=-0.002453$, $a[4,2,1]=0.000266$,
 $a[4,1,1]=-0.001848$, $a[2,2,2]=0.002890$, $a[2,2,1]=0.007648$,
 $a[2,1,1]=0.002771$, $a[1,1,1]=0.007430$.

Для місячної кількості опадів y_2 .

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[2]=0.009162$.

Коефіцієнти першого степеня:

$a[10]=-0.066137$, $a[4]=0.055404$, $a[5]=-0.011078$, $a[2]=0.104949$,
 $a[1]=0.058962$, $a[25]=-0.206448$, $a[3]=0.186426$, $a[6]=0.239474$.

Коефіцієнти другого степеня:

$a[10,10]=-0.001078$, $a[4,4]=-0.001053$, $a[5,5]=-0.000445$, $a[1,1]=0.000685$,
 $a[25,25]=-0.000236$, $a[3,3]=-0.007035$, $a[10,4]=0.002440$,
 $a[10,5]=0.003880$, $a[10,1]=-0.006024$, $a[10,25]=-0.000297$,
 $a[10,3]=0.001330$, $a[4,5]=-0.002201$, $a[4,1]=-0.002271$, $a[4,25]=-0.004420$,
 $a[4,3]=-0.001067$, $a[5,1]=-0.001258$, $a[5,25]=-0.001124$, $a[5,3]=-0.001842$,
 $a[1,25]=0.000154$, $a[1,3]=-0.001491$, $a[25,3]=0.001813$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[10,10,10]=0.005157$, $a[10,10,4]=-0.004910$, $a[10,10,5]=0.000739$,
 $a[10,10,2]=-0.008897$, $a[10,10,1]=-0.004707$, $a[10,4,4]=0.005552$,
 $a[10,4,5]=0.000088$, $a[10,4,2]=-0.000234$, $a[10,4,1]=-0.000044$,
 $a[10,5,5]=0.005551$, $a[10,5,2]=0.000035$, $a[10,5,1]=-0.000083$,
 $a[10,2,2]=0.005075$, $a[10,2,1]=-0.000363$, $a[10,1,1]=0.005453$,
 $a[4,4,4]=-0.004497$, $a[4,4,5]=0.000821$, $a[4,4,2]=-0.009165$,
 $a[4,4,1]=-0.004861$, $a[4,5,5]=-0.004698$, $a[4,5,2]=0.000884$,
 $a[4,5,1]=0.000420$, $a[4,2,2]=-0.004131$, $a[4,2,1]=-0.000210$,
 $a[4,1,1]=-0.004801$, $a[5,5,5]=0.000812$, $a[5,5,2]=-0.008687$,
 $a[5,5,1]=-0.005159$, $a[5,2,2]=0.000524$, $a[5,2,1]=-0.000239$,
 $a[5,1,1]=0.000847$, $a[2,2,2]=-0.008540$, $a[2,2,1]=-0.005034$,
 $a[2,1,1]=-0.008270$, $a[1,1,1]=-0.004967$.

Для середньомісячної температури повітря y_3 .

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[3]=-0.000767$.

Коефіцієнти першого степеня:

$$a[7]=0.001497, a[3]=-0.011292, a[17]=0.019596, a[5]=-0.001489, \\ a[8]=0.030755, a[16]=-0.042009, a[2]=-0.034645, a[21]=0.073158, \\ a[1]=0.039453.$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$a[7,7]=-0.000076, a[3,3]=0.000775, a[17,17]=0.000598, a[8,8]=-0.001101, \\ a[16,16]=0.000136, a[21,21]=0.000436, a[7,3]=0.001058, a[7,17]=0.000272, \\ a[7,8]=0.000507, a[7,16]=-0.000229, a[7,21]=0.000102, a[3,17]=0.000428, \\ a[3,8]=-0.002652, a[3,16]=0.000181, a[3,21]=0.000213, a[17,8]=0.000810, \\ a[17,16]=-0.000065, a[17,21]=-0.000672, a[8,16]=-0.001017, \\ a[8,21]=0.000232, a[16,21]=0.000566.$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$a[7,7,7]=-0.000092, a[7,7,3]=0.000790, a[7,7,5]=0.000116, \\ a[7,3,3]=-0.000353, a[7,3,5]=0.000040, a[7,5,5]=-0.000022, \\ a[3,3,3]=0.000659, a[3,3,5]=0.000189, a[3,5,5]=0.000819, \\ a[5,5,5]=0.000113.$$

Для середньомісячних значень масової частки водяної пари $\hat{y}_4$.

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[4]=-0.000029.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$a[5]=0.003142, a[13]=-0.016661, a[8]=-0.038802, a[12]=0.007529, \\ a[6]=-0.000418, a[3]=0.013088, a[1]=-0.052606, a[2]=0.044589, \\ a[9]=-0.022475, a[16]=0.058544, a[4]=0.045105, a[21]=-0.094437.$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$a[21,21]=-0.000242, a[5,13]=-0.000547, a[5,8]=0.000405, a[5,6]=0.000792, \\ a[5,3]=0.000297, a[5,2]=0.000396, a[5,9]=-0.000673, a[5,16]=-0.000040, \\ a[5,21]=0.000265, a[13,8]=0.000358, a[13,6]=-0.000393, a[13,3]=0.000212, \\ a[13,2]=-0.000544, a[13,9]=0.000172, a[13,16]=-0.000991, \\ a[13,21]=0.000497, a[8,6]=-0.000383, a[8,3]=0.002639, a[8,2]=-0.000193, \\ a[8,9]=-0.000665, a[8,16]=0.000839, a[8,21]=-0.000306, a[6,3]=0.000515, \\ a[6,2]=0.001613, a[6,9]=0.001206, a[6,16]=0.000350, a[6,21]=-0.000482, \\ a[3,2]=0.000214, a[3,9]=0.000691, a[3,16]=-0.000085, a[3,21]=-0.000274, \\ a[2,9]=0.000608, a[2,16]=-0.000491, a[2,21]=-0.000331, a[9,16]=-0.000020, \\ a[9,21]=0.000160, a[16,21]=-0.000687.$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$a[5,5,5]=-0.000192, a[5,5,13]=0.001115, a[5,5,12]=-0.000512,$$

$a[5,5,6]=-0.000032$, $a[5,5,3]=-0.000782$, $a[5,5,16]=-0.003644$,
 $a[5,13,13]=-0.000233$, $a[5,13,12]=0.000028$, $a[5,13,6]=-0.000000$,
 $a[5,13,3]=-0.000030$, $a[5,13,16]=-0.000002$, $a[5,12,12]=-0.000176$,
 $a[5,12,6]=-0.000055$, $a[5,12,3]=-0.000046$, $a[5,12,16]=-0.000011$,
 $a[5,6,6]=-0.000110$, $a[5,6,3]=-0.000049$, $a[5,6,16]=-0.000097$,
 $a[5,3,3]=-0.000262$, $a[5,3,16]=0.000011$, $a[5,16,16]=-0.000211$,
 $a[13,13,13]=0.001075$, $a[13,13,12]=-0.000440$, $a[13,13,6]=0.000062$,
 $a[13,13,3]=-0.000877$, $a[13,13,16]=-0.003707$, $a[13,12,12]=0.001028$,
 $a[13,12,6]=0.000109$, $a[13,12,3]=-0.000136$, $a[13,12,16]=-0.000030$,
 $a[13,6,6]=0.001087$, $a[13,6,3]=0.000016$, $a[13,6,16]=-0.000014$,
 $a[13,3,3]=0.001021$, $a[13,3,16]=-0.000012$, $a[13,16,16]=0.001032$,
 $a[12,12,12]=-0.000388$, $a[12,12,6]=-0.000011$, $a[12,12,3]=-0.000854$,
 $a[12,12,16]=-0.003648$, $a[12,6,6]=-0.000448$, $a[12,6,3]=0.000018$,
 $a[12,6,16]=-0.000046$, $a[12,3,3]=-0.000484$, $a[12,3,16]=0.000022$,
 $a[12,16,16]=-0.000429$, $a[6,6,6]=0.000073$, $a[6,6,3]=-0.000883$,
 $a[6,6,16]=-0.003692$, $a[6,3,3]=-0.000187$, $a[6,3,16]=-0.000022$,
 $a[6,16,16]=0.000091$, $a[3,3,3]=-0.000620$, $a[3,3,16]=-0.003481$,
 $a[3,16,16]=-0.000719$, $a[16,16,16]=-0.003653$.

Кластер 3. Лютий.

Коефіцієнти обернених зв'язків:

$\alpha[1,2]=0.294123$ $\alpha[1,3]=-0.116831$ $\alpha[1,4]=0.734716$
 $\alpha[2,1]=0.545872$ $\alpha[2,3]=-0.527727$ $\alpha[2,4]=0.577738$
 $\alpha[3,1]=-0.024190$ $\alpha[3,2]=-0.060548$ $\alpha[3,4]=1.004668$
 $\alpha[4,1]=0.132361$ $\alpha[4,2]=0.055779$ $\alpha[4,3]=0.847518$

Для середньомісячної загальної кількості хмарності $\hat{y}_1$.

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[1]=0.004054$.

Коефіцієнти першого степеня:

$a[10]=0.057777$, $a[12]=0.095067$, $a[19]=0.176999$, $a[4]=-0.033469$,
 $a[2]=0.001208$, $a[1]=0.045516$, $a[3]=-0.068779$, $a[6]=-0.116348$,
 $a[22]=0.175035$, $a[5]=0.260062$.

Коефіцієнти другого степеня:

$a[3,3]=-0.001183$, $a[5,5]=-0.002871$, $a[3,5]=0.001917$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[10,10,10]=-0.003984$, $a[10,10,4]=0.002409$, $a[10,10,2]=0.000008$,
 $a[10,10,1]=-0.003168$, $a[10,10,3]=0.004918$, $a[10,4,4]=-0.004218$,
 $a[10,4,2]=0.000136$, $a[10,4,1]=-0.000296$, $a[10,4,3]=0.000174$,

$a[10,2,2]=-0.004141$, $a[10,2,1]=-0.000208$, $a[10,2,3]=-0.000178$,
 $a[10,1,1]=-0.004166$, $a[10,1,3]=0.000196$, $a[10,3,3]=-0.004194$,
 $a[4,4,4]=0.002448$, $a[4,4,2]=-0.000171$, $a[4,4,1]=-0.002902$,
 $a[4,4,3]=0.005020$, $a[4,2,2]=0.002428$, $a[4,2,1]=0.000055$,
 $a[4,2,3]=0.000160$, $a[4,1,1]=0.002706$, $a[4,1,3]=0.000075$,
 $a[4,3,3]=0.001736$, $a[2,2,2]=-0.000086$, $a[2,2,1]=-0.003371$,
 $a[2,2,3]=0.004811$, $a[2,1,1]=-0.000111$, $a[2,1,3]=0.000092$,
 $a[2,3,3]=-0.000007$, $a[1,1,1]=-0.003044$, $a[1,1,3]=0.004867$,
 $a[1,3,3]=-0.003480$, $a[3,3,3]=0.004791$.

Для місячної кількості опадів $\hat{y}_2$.

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[2]=0.001096$.

Коефіцієнти першого степеня:

$a[6]=0.114269$, $a[5]=-0.036183$, $a[9]=-0.162310$, $a[7]=0.081663$,
 $a[4]=0.073699$, $a[22]=-0.214985$, $a[1]=-0.098188$, $a[23]=-0.216057$,
 $a[2]=0.141874$, $a[3]=0.173165$.

Коефіцієнти другого степеня:

$a[6,6]=0.001281$, $a[9,9]=0.001043$, $a[4,4]=0.000241$, $a[22,22]=0.003067$,
 $a[1,1]=-0.000041$, $a[2,2]=0.001590$, $a[3,3]=-0.008277$, $a[6,9]=0.001521$,
 $a[6,4]=0.004648$, $a[6,22]=-0.001263$, $a[6,1]=-0.003031$, $a[6,2]=-0.003170$,
 $a[6,3]=-0.000357$, $a[9,4]=-0.001502$, $a[9,22]=-0.001126$, $a[9,1]=0.000696$,
 $a[9,2]=0.001279$, $a[9,3]=-0.002868$, $a[4,22]=0.000714$, $a[4,1]=0.002241$,
 $a[4,2]=0.000748$, $a[4,3]=-0.001850$, $a[22,1]=0.000776$, $a[22,2]=0.002629$,
 $a[22,3]=0.002481$, $a[1,2]=-0.002636$, $a[1,3]=-0.003076$, $a[2,3]=-0.002144$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[6,6,6]=-0.007943$, $a[6,6,5]=0.002346$, $a[6,6,7]=-0.005815$,
 $a[6,6,4]=-0.005116$, $a[6,6,1]=0.006403$, $a[6,5,5]=-0.007539$,
 $a[6,5,7]=-0.000470$, $a[6,5,4]=-0.000156$, $a[6,5,1]=0.000110$,
 $a[6,7,7]=-0.008214$, $a[6,7,4]=-0.000298$, $a[6,7,1]=0.000117$,
 $a[6,4,4]=-0.008336$, $a[6,4,1]=-0.000819$, $a[6,1,1]=-0.008773$,
 $a[5,5,5]=0.002680$, $a[5,5,7]=-0.005981$, $a[5,5,4]=-0.005700$,
 $a[5,5,1]=0.006635$, $a[5,7,7]=0.002640$, $a[5,7,4]=0.000045$,
 $a[5,7,1]=0.000297$, $a[5,4,4]=0.002454$, $a[5,4,1]=-0.000203$,
 $a[5,1,1]=0.002785$, $a[7,7,7]=-0.005736$, $a[7,7,4]=-0.005000$,
 $a[7,7,1]=0.007408$, $a[7,4,4]=-0.005633$, $a[7,4,1]=-0.000041$,
 $a[7,1,1]=-0.005737$, $a[4,4,4]=-0.005236$, $a[4,4,1]=0.006554$,
 $a[4,1,1]=-0.005364$, $a[1,1,1]=0.006776$.

Для середньомісячної температури повітря $\hat{y}_3$.

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[3]=0.001288.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$\begin{aligned} a[5]&=0.017497, a[21]=0.093245, a[17]=0.061949, a[7]=0.018326, \\ a[2]&=-0.019585, a[1]=0.025353, a[8]=0.065803, a[3]=-0.064123, \\ a[23]&=-0.096951, a[6]=-0.055366. \end{aligned}$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$\begin{aligned} a[5,5]&=0.000559, a[21,21]=0.000715, a[17,17]=0.000062, a[7,7]=-0.000374, \\ a[2,2]&=-0.000178, a[1,1]=-0.000416, a[8,8]=-0.001357, a[3,3]=0.001019, \\ a[23,23]&=-0.001476, a[6,6]=0.000158, a[5,21]=-0.000045, \\ a[5,17]&=-0.000131, a[5,7]=0.000070, a[5,2]=-0.001066, a[5,1]=0.001083, \\ a[5,8]&=0.000381, a[5,3]=0.000174, a[5,23]=-0.000312, a[5,6]=-0.000790, \\ a[21,17]&=-0.000763, a[21,7]=0.001505, a[21,2]=0.000064, \\ a[21,1]&=-0.001210, a[21,8]=-0.000034, a[21,3]=-0.000812, \\ a[21,23]&=0.000942, a[21,6]=-0.000587, a[17,7]=0.000505, \\ a[17,2]&=-0.001327, a[17,1]=-0.001311, a[17,8]=0.000394, \\ a[17,3]&=0.000676, a[17,23]=0.002759, a[17,6]=-0.001438, \\ a[7,2]&=-0.001449, a[7,1]=0.000019, a[7,8]=0.001890, a[7,3]=0.001747, \\ a[7,23]&=-0.001269, a[7,6]=-0.001371, a[2,1]=0.000067, a[2,8]=-0.000620, \\ a[2,3]&=0.000464, a[2,23]=0.000910, a[2,6]=-0.000863, a[1,8]=0.000015, \\ a[1,3]&=0.000399, a[1,23]=0.002459, a[1,6]=0.001490, a[8,3]=-0.002315, \\ a[8,23]&=-0.000030, a[8,6]=0.000048, a[3,23]=0.000227, a[3,6]=-0.000310, \\ a[23,6]&=0.001141. \end{aligned}$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$\begin{aligned} a[5,5,5]&=-0.001159, a[5,5,17]=-0.004349, a[5,5,7]=-0.001267, \\ a[5,5,2]&=0.001373, a[5,5,1]=-0.001847, a[5,17,17]=-0.001265, \\ a[5,17,7]&=0.000022, a[5,17,2]=0.000055, a[5,17,1]=-0.000149, \\ a[5,7,7]&=-0.001266, a[5,7,2]=-0.000041, a[5,7,1]=-0.000057, \\ a[5,2,2]&=-0.001165, a[5,2,1]=-0.000072, a[5,1,1]=-0.001274, \\ a[17,17,17]&=-0.004442, a[17,17,7]=-0.001278, a[17,17,2]=0.001592, \\ a[17,17,1]&=-0.001758, a[17,7,7]=-0.004453, a[17,7,2]=-0.000122, \\ a[17,7,1]&=-0.000076, a[17,2,2]=-0.004467, a[17,2,1]=0.000190, \\ a[17,1,1]&=-0.004373, a[7,7,7]=-0.001204, a[7,7,2]=0.001276, \\ a[7,7,1]&=-0.001664, a[7,2,2]=-0.001338, a[7,2,1]=0.000149, \\ a[7,1,1]&=-0.001196, a[2,2,2]=0.001352, a[2,2,1]=-0.001785, \\ a[2,1,1]&=0.001403, a[1,1,1]=-0.001834. \end{aligned}$$

Для середньомісячних значень масової частки водяної пари y_4 .

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[4]=0.000850.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$\begin{aligned} a[9]&=-0.008943, a[12]=0.025013, a[2]=0.012595, a[17]=-0.035703, \\ a[1]&=-0.025314, a[19]=-0.085370, a[4]=0.026389, a[5]=-0.039685, \\ a[3]&=0.056205, a[21]=-0.088229. \end{aligned}$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$\begin{aligned} a[9,9]&=-0.000189, a[12,12]=-0.000078, a[2,2]=-0.000217, \\ a[17,17]&=0.000189, a[1,1]=0.000453, a[19,19]=-0.000554, a[4,4]=0.000220, \\ a[5,5]&=-0.000414, a[3,3]=-0.000230, a[21,21]=-0.000030, \\ a[9,12]&=-0.001292, a[9,2]=0.000397, a[9,17]=-0.000244, a[9,1]=-0.000267, \\ a[9,19]&=-0.000493, a[9,4]=0.000338, a[9,5]=-0.000333, a[9,3]=0.000748, \\ a[9,21]&=-0.000479, a[12,2]=-0.001131, a[12,17]=-0.001067, \\ a[12,1]&=0.000291, a[12,19]=0.001134, a[12,4]=-0.001038, \\ a[12,5]&=0.001001, a[12,3]=0.000889, a[12,21]=0.001657, a[2,17]=0.000890, \\ a[2,1]&=-0.000286, a[2,19]=0.001340, a[2,4]=-0.000201, a[2,5]=0.001281, \\ a[2,3]&=-0.000560, a[2,21]=-0.000673, a[17,1]=0.001418, \\ a[17,19]&=-0.001327, a[17,4]=-0.001523, a[17,5]=0.000343, \\ a[17,3]&=-0.000233, a[17,21]=0.000703, \\ a[1,19]&=0.000504, a[1,4]=-0.000153, a[1,5]=-0.001066, a[1,3]=-0.000430, \\ a[1,21]&=0.001247, a[19,4]=-0.000276, a[19,5]=-0.000214, \\ a[19,3]&=0.000195, a[19,21]=-0.001551, a[4,5]=-0.000756, a[4,3]=-0.001080, \\ a[4,21]&=-0.000665, a[5,3]=-0.000091, a[5,21]=-0.000680, a[3,21]=0.000767. \end{aligned}$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$\begin{aligned} a[9,9,9]&=0.000595, a[9,9,2]=-0.000851, a[9,9,1]=0.001816, \\ a[9,9,4]&=-0.001933, a[9,2,2]=0.000771, a[9,2,1]=-0.000114, \\ a[9,2,4]&=0.000178, a[9,1,1]=0.000580, a[9,1,4]=0.000131, \\ a[9,4,4]&=0.000702, a[2,2,2]=-0.000860, a[2,2,1]=0.001753, \\ a[2,2,4]&=-0.001873, a[2,1,1]=-0.000899, a[2,1,4]=-0.000066, \\ a[2,4,4]&=-0.000786, a[1,1,1]=0.001750, a[1,1,4]=-0.001868, \\ a[1,4,4]&=0.001821, a[4,4,4]=-0.001906. \end{aligned}$$

Кластер 4. Лютий.

Коефіцієнти обернених зв'язків:

$$\begin{aligned} \alpha[1,2]&=0.510422, \alpha[1,3]=0.333016, \alpha[1,4]=0.060389, \\ \alpha[2,1]&=0.613241, \alpha[2,3]=-0.856728, \alpha[2,4]=0.734114, \\ \alpha[3,1]&=0.038477, \alpha[3,2]=-0.085103, \alpha[3,4]=0.965783, \\ \alpha[4,1]&=0.005968, \alpha[4,2]=0.072734, \alpha[4,3]=0.955031. \end{aligned}$$

Для середньомісячної загальної кількості хмарності $\hat{y}_1$.

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[1]=0.000722.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$a[12]=0.200443, a[7]=0.054690, a[22]=0.208671, a[1]=-0.018187, \\ a[19]=0.279184, a[2]=0.085428, a[4]=-0.106127, a[5]=0.293911, \\ a[6]=-0.213070, a[3]=-0.192103.$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$a[4,4]=-0.000951, a[3,3]=0.000229, a[4,3]=0.001725$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$a[7,7,7]=-0.003752, a[7,7,1]=0.001680, a[7,7,2]=-0.006090, \\ a[7,7,4]=0.007651, a[7,1,1]=-0.003483, a[7,1,2]=-0.000056, \\ a[7,1,4]=0.000098, a[7,2,2]=-0.003598, a[7,2,4]=0.000297, \\ a[7,4,4]=-0.003909, a[1,1,1]=0.001437, a[1,1,2]=-0.006081, \\ a[1,1,4]=0.007796, a[1,2,2]=0.001219, a[1,2,4]=-0.000242, \\ a[1,4,4]=0.001083, a[2,2,2]=-0.006107, a[2,2,4]=0.007737, \\ a[2,4,4]=-0.006173, a[4,4,4]=0.007566.$$

Для місячної кількості опадів $\hat{y}_2$.

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[2]=0.000530.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$a[8]=0.017031, a[7]=-0.103821, a[5]=0.092981, a[25]=-0.171802, \\ a[2]=0.042747, a[1]=-0.079456, a[6]=0.250424, a[22]=-0.271219, \\ a[4]=0.204172, a[3]=0.234347$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$a[7,7]=0.001425, a[5,5]=0.001867, a[25,25]=-0.001063, a[2,2]=-0.000454, \\ a[1,1]=0.001494, a[6,6]=0.000194, a[22,22]=0.003731, a[3,3]=-0.007723, \\ a[7,5]=-0.003650, a[7,25]=-0.001939, a[7,2]=0.001023, a[7,1]=0.005430, \\ a[7,6]=0.001047, a[7,22]=-0.003524, a[7,3]=-0.007615, a[5,25]=0.000904, \\ a[5,2]=-0.000193, a[5,1]=-0.000816, a[5,6]=0.000317, a[5,22]=0.000626, \\ a[5,3]=-0.001118, a[25,2]=0.001071, a[25,1]=-0.000570, a[25,6]=-0.000303, \\ a[25,22]=0.000330, a[25,3]=0.001268, a[2,1]=-0.001455, a[2,6]=-0.004333, \\ a[2,22]=0.000974, a[2,3]=-0.002696, a[1,6]=-0.004546, a[1,22]=-0.004832, \\ a[1,3]=-0.004294, a[6,22]=0.001273, a[6,3]=0.002709, a[22,3]=0.002445.$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$a[8,8,8]=-0.001269, a[8,8,7]=0.007179, a[8,8,5]=-0.006524,$$

$a[8,8,2]=-0.003392$, $a[8,8,1]=0.005527$, $a[8,7,7]=-0.000177$,
 $a[8,7,5]=-0.000417$, $a[8,7,2]=0.000231$, $a[8,7,1]=0.001908$,
 $a[8,5,5]=-0.000897$, $a[8,5,2]=0.000339$, $a[8,5,1]=-0.000655$,
 $a[8,2,2]=-0.001619$, $a[8,2,1]=0.000429$, $a[8,1,1]=-0.000422$,
 $a[7,7,7]=0.007003$, $a[7,7,5]=-0.006461$, $a[7,7,2]=-0.003062$,
 $a[7,7,1]=0.004613$, $a[7,5,5]=0.007213$, $a[7,5,2]=0.000214$,
 $a[7,5,1]=0.000706$, $a[7,2,2]=0.007158$, $a[7,2,1]=-0.000328$,
 $a[7,1,1]=0.006453$, $a[5,5,5]=-0.006733$, $a[5,5,2]=-0.003125$,
 $a[5,5,1]=0.005555$, $a[5,2,2]=-0.006794$, $a[5,2,1]=-0.000119$,
 $a[5,1,1]=-0.006320$, $a[2,2,2]=-0.002995$, $a[2,2,1]=0.005881$,
 $a[2,1,1]=-0.002992$, $a[1,1,1]=0.005477$.

Для середньомісячної температури повітря y_3 .

Нульовий коефіцієнт:

$a_0[3]=0.000127$.

Коефіцієнти першого степеня:

$a[7]=-0.009636$, $a[6]=-0.004478$, $a[5]=-0.003120$, $a[3]=-0.004696$,
 $a[21]=0.079837$, $a[1]=0.019311$, $a[23]=-0.054551$, $a[2]=-0.050901$,
 $a[8]=0.092018$.

Коефіцієнти другого степеня:

$a[7,7]=-0.000541$, $a[5,5]=0.001073$, $a[3,3]=0.000826$, $a[21,21]=0.001009$,
 $a[1,1]=-0.000515$, $a[23,23]=-0.001143$, $a[2,2]=-0.000836$, $a[7,5]=-0.000152$,
 $a[7,3]=0.001291$, $a[7,21]=0.000834$, $a[7,1]=0.001143$, $a[7,23]=-0.001427$,
 $a[7,2]=-0.001734$, $a[5,3]=-0.000326$, $a[5,21]=-0.000183$, $a[5,1]=0.000592$,
 $a[5,23]=0.000031$, $a[5,2]=-0.000042$, $a[3,21]=0.000104$, $a[3,1]=-0.000559$,
 $a[3,23]=0.000105$, $a[3,2]=0.000229$, $a[21,1]=-0.000942$, $a[21,23]=0.000924$,
 $a[21,2]=0.000951$, $a[1,23]=0.001180$, $a[1,2]=0.000543$, $a[23,2]=0.000143$.

Коефіцієнти третього степеня:

$a[7,7,7]=0.000800$, $a[7,7,6]=0.000224$, $a[7,7,5]=0.000255$,
 $a[7,7,3]=0.000274$, $a[7,7,1]=-0.001459$, $a[7,6,6]=0.000597$,
 $a[7,6,5]=-0.000113$, $a[7,6,3]=0.000225$, $a[7,6,1]=0.000333$,
 $a[7,5,5]=0.000828$, $a[7,5,3]=0.000047$, $a[7,5,1]=0.000038$,
 $a[7,3,3]=0.000606$, $a[7,3,1]=-0.000025$, $a[7,1,1]=0.000759$,
 $a[6,6,6]=0.000265$, $a[6,6,5]=0.000183$, $a[6,6,3]=0.000442$,
 $a[6,6,1]=-0.001369$, $a[6,5,5]=0.000478$, $a[6,5,3]=0.000080$,
 $a[6,5,1]=0.000089$, $a[6,3,3]=0.000528$, $a[6,3,1]=-0.000079$,
 $a[6,1,1]=0.000203$, $a[5,5,5]=0.000211$, $a[5,5,3]=0.000395$,
 $a[5,5,1]=-0.001542$, $a[5,3,3]=0.000209$, $a[5,3,1]=0.000042$,
 $a[5,1,1]=0.000240$, $a[3,3,3]=0.000171$, $a[3,3,1]=-0.001529$,
 $a[3,1,1]=0.000365$, $a[1,1,1]=-0.001546$.

Для середньомісячних значень масової частки водяної пари $\hat{y}_4$.

Нульовий коефіцієнт:

$$a_0[4]=-0.001581.$$

Коефіцієнти першого степеня:

$$\begin{aligned} a[12]&=0.028660, a[3]=0.005436, a[5]=-0.005891, a[1]=-0.023656, \\ a[9]&=-0.022189, a[8]=-0.097737, a[2]=0.049633, a[4]=0.031671, \\ a[20]&=-0.081142, a[21]=-0.091629. \end{aligned}$$

Коефіцієнти другого степеня:

$$\begin{aligned} a[12,12]&=-0.000248, a[3,3]=-0.000469, a[1,1]=0.000504, a[9,9]=0.000176, \\ a[8,8]&=0.001401, a[2,2]=0.000590, a[4,4]=-0.000033, a[20,20]=0.000258, \\ a[21,21]&=-0.000597, a[12,3]=0.001281, a[12,1]=0.000586, \\ a[12,9]&=-0.000125, a[12,8]=0.000164, a[12,2]=-0.001189, \\ a[12,4]&=-0.000989, a[12,20]=0.001259, a[12,21]=0.001149, \\ a[3,1]&=0.000635, a[3,9]=0.000144, a[3,8]=0.002071, a[3,2]=-0.000289, \\ a[3,4]&=-0.002263, a[3,20]=-0.000327, a[3,21]=-0.000129, a[1,9]=-0.001846, \\ a[1,8]&=0.001224, a[1,2]=-0.000679, a[1,4]=-0.000902, a[1,20]=0.001228, \\ a[1,21]&=0.001128, a[9,8]=-0.000436, a[9,2]=0.001167, a[9,4]=0.000969, \\ a[9,20]&=-0.003624, a[9,21]=-0.000527, a[8,2]=-0.000126, a[8,4]=-0.001604, \\ a[8,20]&=0.002667, a[8,21]=0.000360, a[2,4]=0.000550, a[2,20]=-0.001496, \\ a[2,21]&=-0.001326, a[4,20]=-0.001327, a[4,21]=-0.000600, \\ a[20,21]&=0.001475. \end{aligned}$$

Коефіцієнти третього степеня:

$$\begin{aligned} a[3,3,3]&=-0.000244, a[3,3,5]=0.000442, a[3,3,1]=0.001704, \\ a[3,3,9]&=0.001528, a[3,3,4]=-0.002015, a[3,5,5]=-0.000420, \\ a[3,5,1]&=-0.000053, a[3,5,9]=-0.000031, a[3,5,4]=0.000120, \\ a[3,1,1]&=-0.000384, a[3,1,9]=-0.000056, a[3,1,4]=0.000137, \\ a[3,9,9]&=-0.000407, a[3,9,4]=-0.000127, a[3,4,4]=-0.000216, \\ a[5,5,5]&=0.000439, a[5,5,1]=0.001715, a[5,5,9]=0.001520, \\ a[5,5,4]&=-0.002402, a[5,1,1]=0.000441, a[5,1,9]=0.000086, \\ a[5,1,4]&=-0.000007, a[5,9,9]=0.000354, a[5,9,4]=-0.000005, \\ a[5,4,4]&=0.000490, a[1,1,1]=0.001744, a[1,1,9]=0.001630, \\ a[1,1,4]&=-0.002251, a[1,9,9]=0.001710, a[1,9,4]=0.000008, \\ a[1,4,4]&=0.001740, a[9,9,9]=0.001527, a[9,9,4]=-0.002327, \\ a[9,4,4]&=0.001676, a[4,4,4]=-0.002311. \end{aligned}$$

Наукове електронне видання

**СЕРГА ЕДУАРД МИКОЛАЙОВИЧ
СЕРГА ІНГА МИКОЛАЇВНА**

**ВІДГУКИ АНОМАЛІЙ ХАРАКТЕРИСТИК КЛІМАТУ УКРАЇНИ
У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД НА ПРОЦЕСИ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ
„АТМОСФЕРА - ОКЕАН” В ПІВНІЧНІЙ АТЛАНТИЦІ**

МОНОГРАФІЯ

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016