

О.В. Волошина, к.г.н.

Одеський державний екологічний університет

ХВИЛЬОВИЙ ХАРАКТЕР І ЕНЕРГЕТИКА ПРОЦЕСІВ КОЛИВАННЯ ГЕОПОТЕНЦІАЛЬНОЇ ВИСОТИ І ТЕМПЕРАТУРИ ІЗОБАРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

Методом спектрального аналізу досліджена енергетика процесів коливання температури і геопотенціальної висоти ізобаричних поверхонь за даними аерологічного зондування атмосфери на станції Одеса. Визначено основні енергонесучі періоди коливань: 20, 10-15, 3-7 діб і встановлено, що загальна енергія коливального процесу температури в тропосфері з висотою зменшується, а геопотенціальної висоти ізобаричних поверхонь – зростає.

Ключові слова: температура, геопотенціальна висота, ізобарична поверхня, спектральна функція, енергія, період коливань

Вступ. Аерологічна мережа в Україні рідка, і частота зондування недостатня, що викликає необхідність використання непрямих методів для отримання інформації і заповнення просторового і часового вакууму. До таких методів відносяться кореляційний і спектральний аналізи, які дозволяють об'єктивно оцінити часову і просторову мінливість або зв'язність метеорологічних величин на різних рівнях в атмосфері і використовувати цю інформацію для заповнення відсутніх даних. Для характеристики внутрішньої структури випадкового процесу служить змішана моментна функція другого порядку – автокореляційна функція.

Автокореляційна функція і математичне очікування повністю визначають статистичні закономірності випадкового стаціонарного процесу, якщо розподіл ординат цього процесу в принципі підкоряється нормальному закону. Якщо відома оцінка кореляційної функції, то можна визначити як стійкість в часі ординат процесу, так і інтервал кореляції, а також оцінити інтенсивність коливань і виявити приховані періодичності, обчислити оцінки спектральної щільності [2,5]. Якщо в процесі присутня періодична складова, то її період зберігається в автокореляційній функції, для прикладних розрахунків частіше користуються нормованою автокореляційною функцією. Апроксимація автокореляційної функції використовується при аналітичному визначенні функції спектральної щільності. Дисперсія оцінки автокореляційної функції може бути виражена через параметри апроксимації.

Матеріали і методи дослідження. Часова мінливість в рядах геопотенціальних висот і температур основних ізобаричних поверхонь 1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100 гПа, була досліджена за даними аерологічних спостережень з дискретністю 12 годин за даними станції Одеса за 1988–1992 роки.

Всі матеріали були перевірені і проконтрольовані, з урахуванням результатів контролю були сформовані ряди температури і геопотенціальної висоти ізобаричних поверхонь для 6-ти місяців за багаторічними даними, що складаються з 256 значень, а саме: січень, березень, травень, липень, вересень, листопад.

З урахуванням особливостей клімату неможливо обмежитися підходом, що широко використовується, – вивчати особливості центрального місяця календарного сезону року і поширювати отримані висновки на весь сезон. Перегляд вихідного матеріалу і порівняння середньомісячних величин температури і геопотенціалу основних ізобаричних поверхонь і їх середньоквадратичних відхилень (СКВ) дозволяє

нам вважати, що часова мінливість цих величин така, що необхідно розглядати наступні сезони: зима – січень і лютий, весна – березень і квітень, перша половина літа – травень і червень, друга половина літа – липень і серпень, осінь – вересень і жовтень, час перед початком зими – листопад і грудень.

Заздалегідь були розраховані основні статистики всіх досліджуваних рядів і проведена перевірка на відповідність їх розподілів нормальному закону. З огляду на те, що метеорологічні процеси і поля метеорологічних величин формуються під впливом процесів різних часових масштабів, виникає необхідність досліджувати внутрішню часову структуру випадкового процесу, що визначається домінуючими складовими.

Внаслідок великого числа і виняткової різноманітності внутрішніх чинників коливання температури і геопотенціала ізобаричних поверхонь носять, як правило, аперіодичний характер. Тільки в результаті усереднення за великий проміжок часу можна виділити коливальні процеси, тривалість яких міняється, але не виходить за певні часові межі. Умовно таку тривалість коливань називають періодом. До цих коливань відносяться:

- синоптичні коливання з періодом декілька діб (3–7 діб), які зумовлені проходженням через фіксовану область синоптичних вихорів;
- глобальні коливання з періодом від декількох тижнів до декількох місяців (коливання зональної циркуляції з періодом близько двох тижнів);
- міжрічні коливання з періодом декілька років (2-5).

Всі ці коливання, як строго періодичні, так і квазіперіодичні, мають значні амплітуди, що убувають по мірі збільшення періоду.

Залежно від переважаючої ролі тієї або іншої сили у виникненні хвильового руху всі хвилі прийнято ділити на чотири класи – це гравітаційні та інерційно-гравітаційні хвилі, у формування яких визначальний внесок вносять сила тяжіння і відхиляюча сила обертання Землі. Такі ж хвилі формуються під впливом неоднорідностей земної поверхні. До третього класу відносяться інерційні хвилі (хвилі Росбі). Визначальною силою хвильових рухів цього класу виступає сила Коріоліса. Четвертий клас складають планетарні хвилі (хвилі Росбі– Блінової). Вони обумовлені обертанням і сферичністю Землі [3].

Хвильові рухи в атмосфері носять виключно складний характер. З цієї причини хвильові рухи різних просторово-часових масштабів досліджуються ймовірно-статистичними методами.

При дослідженні метеорологічних процесів нерідко виникає задача ідентифікації хвильових коливань за допомогою кореляційних функцій і функцій спектральної щільності.

За допомогою автокореляційної функції $R_X(\tau)$ можна описати внутрішню структуру процесу, що визначається домінуючими компонентами в часовій області. В тих випадках, коли процес складається із складових різних часових масштабів, знання структури процесу в часовій області виявляється недостатнім. Для визначення розподілу інтенсивності процесу між складовими різних часових масштабів необхідний опис випадкового процесу в частотній області.

Для оцінки внеску складових різного часового масштабу в дисперсію випадкового процесу служить функція спектральної щільності процесу – $S_X(\omega)$. Функцію $S_X(\omega)$ часто називають енергетичним спектром процесу, проте під цим мають на увазі спектральну щільність інтенсивності (потужності) коливань.

Визначення спектральної щільності процесу, для якого невідомий аналітичний вираз спектральної щільності, здійснюється чисельним інтегруванням. Оскільки замість істинного значення автокореляційної функції часто мають в своєму розпорядженні її

оцінку, відому в межах обмеженого інтервалу ($0 \div \tau_m$), то косинус-перетворення Фур'є може бути виконане на кінцевому проміжку часу

$$S_x^*(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{T_0} R_x^*(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \quad (1)$$

де $S_x^*(\omega)$ – оцінка спектральної щільності для $T_0 \leq \tau_m$, $R_x^*(\tau)$ – оцінка кореляційної функції, ω – частота коливань, τ – період коливань.

Фізичне значення спектру полягає в тому, що він показує внесок кожної гармоніки в повну дисперсію. Метою спектрального аналізу є знаходження згладженого спектру, який залишається однаковим для різних частин одного і того ж стаціонарного часового ряду. За допомогою спектрального аналізу не визначають амплітуди окремих гармонік. Як правило, розглядається спектр нескінченно довгого часового ряду, з якого досліджуваний часовий ряд є короткою випадковою вибіркою. Для довгого ряду визначають згладжений спектр, використовуючи відповідну методику граничного переходу. Основна задача – оцінити згладжений спектр на підставі даного короткого ряду.

Велике спотворення спектральних оцінок спостерігається кожного разу, коли істинний спектр характеризується швидкими флуктуаціями. Для усунення цього недоліку пропонується уточнювати спектральні оцінки шляхом згладжування за формулою Тьюкі [5].

За допомогою спектрального аналізу можна знайти тільки загальну форму спектральної кривої і не можна виявити окремих циклів. Проте існує декілька доказів на користь статистичного спектрального аналізу. Спектр необхідний для розуміння фізичних причин, що лежать в основі змін часового ряду. Значущі максимуми і мінімуми важливі для прогнозу погоди, навіть якщо ці екстремуми не є різко вираженими піками і улоговинами.

Результати дослідження та їх аналіз. Для дослідження спектральних характеристик хвильових процесів часових коливань температури і абсолютної геопотенціальної висоти у різні сезони року за даними аерологічних спостережень станції Одеса були розраховані і досліджені розподіли дисперсії рядів температури і абсолютної геопотенціальної висоти основних ізобаричних поверхонь. Кожен ряд складався з 256 величин, для чого використані дані аерологічного зондування за період 1988 – 1992 років. Розрахунки були виконані за формулою (1) і проаналізовані методом максентропійної оцінки [4]. Найбільший інтерес становлять викиди вище середнього рівня або піки кривої спектральної функції при графічному її зображенні, які відображають існування на даних частотах або гармоніках періодичної складової. Кількість гармонік, для яких розраховувалася спектральна щільність, дорівнювала 128 при довжині рядів в 256 значень. Основна частина дисперсії зосереджена в інтервалі частот, що відповідають 64 гармонікам. Для аналізу розподілу енергії по спектру виявилось достатнім використовувати 32 гармоніки (25%), подальше збільшення числа гармонік практично не вносить ніяких помітних змін як в характер розподілу спектральної щільності по спектру частот, так і в сумарну спектральну щільність інтервалу частот кожного значущого піку.

Відомо, що розраховані спектральні оцінки відрізняються від спектру генеральної сукупності. Для оцінки значущості спектру виконується перевірка статистичної гіпотези при заданому рівні значущості. Висувається гіпотеза, що в спектрі часової послідовності відсутні гармонійні коливання на фоні реалізації білого або червоного шуму. Перевірка нульової гіпотези полягає в порівнянні спектральної щільності із значеннями, які приймаються як межі довірчого інтервалу [5].

Розраховані нами спектральні функції і їх довірчі інтервали дозволяють виділити основні енергонесучі гармоніки і оцінити внесок кожної в загальну дисперсію.

Графічне зображення логспектральних функцій дозволяє візуально оцінити і порівняти потужність енергетичних піків різного часового масштабу – періоду. Загальний вид згладжених кривих спектральної щільності температури для січня і липня в логарифмічному вигляді з довірчими інтервалами для ілюстрації показано на рис.1 і для геопотенціальної висоти на рис.2.

Найбільший інтерес становлять піки кривої, які вказують на наявність на даній частоті періодичної складової. При безперервній спектральній щільності оцінюють частку дисперсії, що відповідає межі даної частоти. В роботі [4] пропонується визначати частоти так, щоб вони згладжували піки, що приходяться на інтервали, обмежені стандартним відхиленням мінімумів спектральної щільності.

Аналіз спектральних оцінок розподілу енергії коливань різного періоду в рядах температури основних ізобаричних поверхонь, розрахованих описаним вище методом, показав, що всі досліджувані спектральні функції є дуже порізнаними. Це говорить про те, що часові зміни (коливання) температури і геопотенціальної висоти ізобаричних поверхонь зумовлені великою різноманітністю періодичних і неперіодичних хвильових коливань. Проте, огляд оцінок спектральних функцій показує, що на фоні безладних викидів спостерігаються піки, які співпадають на різних висотах і в різні сезони. До них відносяться піки, що приходяться на періоди коливань $P \div 20, 10-15, 3-7$ діб.

Загальною характерною закономірністю усіх функцій є зменшення амплітуди коливань при зростанні періоду, що відповідає фізичній природі процесів хвилеутворення. Більшість максимумів у розподілі енергії по спектру коливань, тобто піки на спектральних кривих LS , практично в усі розглянуті місяці співпадають на всіх розглянутих ізобаричних поверхнях, але значно відрізняються своєю величиною, тобто енергія по спектру розподілена нерівномірно. Досліджені ряди температур і геопотенціальних висот дозволяють визначити енергію хвиль, періоди яких не перевищують місяць.

Загальна сумарна дисперсія – ED і сумарна дисперсія, що приходиться на коливання з визначеними енергонесучими періодами, представлені у табл.1. Характерна особливість у розподілі сумарної дисперсії по висотам полягає у тому, що чітко виділяються енергонесучі поверхні 500 гПа для температури і 300 гПа для геопотенціальної висоти.

Вертикальні логарифмічні профілі LED_T і LED_H (рис.3) дзеркальні один відносно одного до поверхні 200 гПа, а вище вони паралельні. Енергія коливальних процесів температури зменшується з висотою швидше, ніж енергія процесу геопотенціальної висоти. В граничному шарі вони мало відрізняються.

Хвилі розглянутих періодів вносять різний вклад в загальну енергію коливальних процесів у різні сезони на різних поверхнях. Так, енергія 3-7 добових коливань температури всіх поверхонь на порядок більша, ніж енергія довгих 20-добових коливань у всій товщі атмосфери, а характер змінювання за висотою однаковий. Для геопотенціальної висоти ізобаричних поверхонь внесок довгоперіодних 20-добових коливань в загальну дисперсію стає приблизно рівним внеску 3-7 добових коливань.

Щодо сезонних особливостей, то висока енергетика притаманна хвильовим процесам температури і геопотенціальної висоти у січні як для 20-, так і для 3-7 добових коливань. У березні зростає внесок 10-15 добових коливань, що пов'язано із зміною

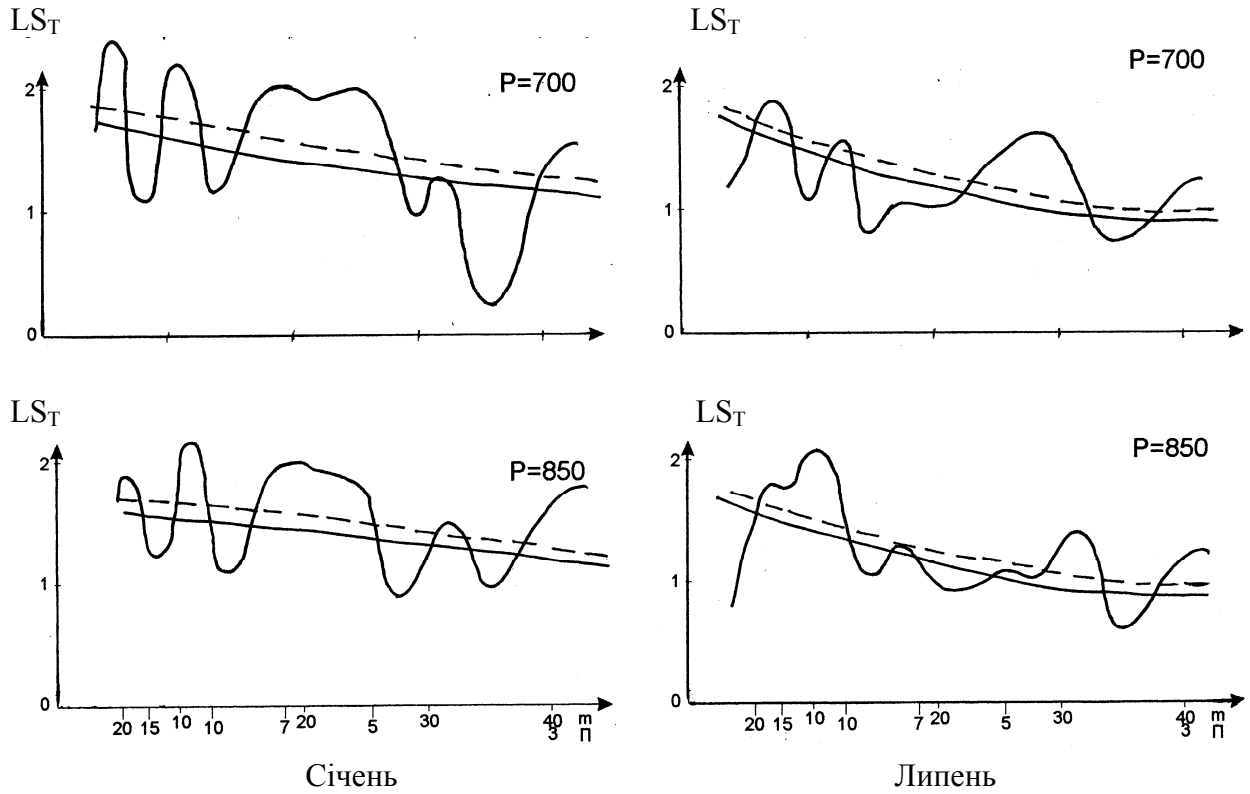


Рис.1 Логспектральна згладжена функція LS_T температури ізобаричної поверхні P гПа

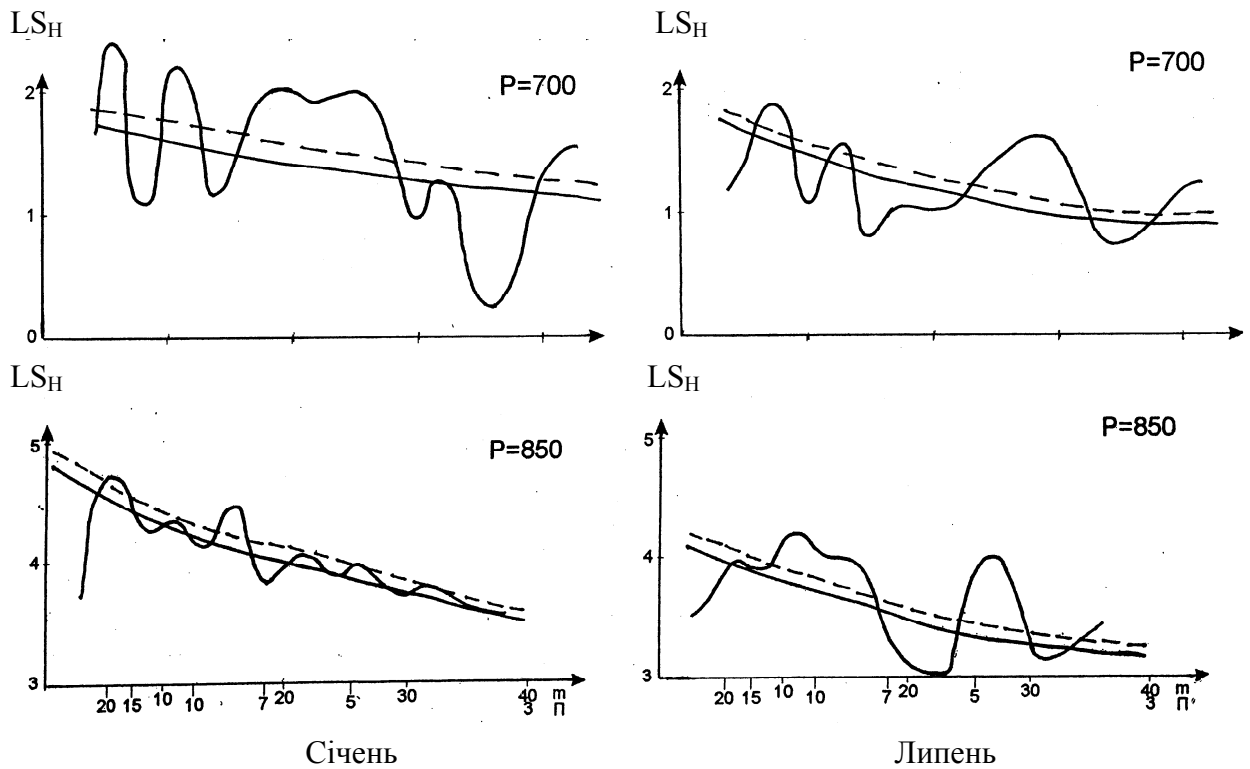


Рис.2 Логспектральна згладжена функція LS_H геопотенціальної висоти ізобаричних поверхонь P гПа

Таблиця – 1. Сумарна дисперсія температури – $ED_T \cdot 10^2 (^\circ\text{C})^2$ і геопотенціалу – $ED_H \cdot 10^2$ (дам)² ізобаричних поверхонь

П, доб	ED_T						ED_H					
	1000	850	500	300	200	100	1000	850	500	300	200	100
	Січень											
20	2	2	3	1	2	3	11	12	26	87	81	37
10-15	3	2	2	<1	1	0.1	10	6	6	11	11	5
3-7	8	10	11	9	38	12	18	12	46	119	84	21
Σ	25	40	40	29	16	19	66	49	139	357	274	156
	Березень											
20	2	4	3	1	3	1	6	5	6	8	13	9
10-15	3	3	4	<1	9	14	7	9	25	41	24	5
3-7	5	8	7	3	13	23	12	1	25	67	38	29
Σ	23	31	23	8	40	12	62	61	107	292	152	148
	Травень											
20	1	1	5	2	<1	1	1	2	10	31	30	22
10-15	1	3	2	2	1	<1	6	4	3	12	8	84
3-7	6	5	6	3	1	2	5	9	28	46	28	20
Σ	23	20	27	16	28	9	25	28	81	194	199	178
	Липень											
20	2	2	1	8	6	1	3	4	16	29	21	7
10-15	2	2	7	<1	1	1	2	2	2	3	3	1
3-7	2	4	3	3	7	2	6	6	12	22	18	7
Σ	13	13	8	8	24	6	18	18	50	88	80	48
	Вересень											
20	2	2	3	2	5	3	21	5	26	40	39	65
10-15	4	5	3	1	1	1	1	4	23	36	43	23
3-7	6	10	6	3	8	3	12	11	38	180	89	51
Σ	39	36	26	11	29	14	30	45	187	799	446	484
	Листопад											
20	2	4	2	1	2	1	6	5	7	8	12	8
10-15	3	3	3	1	8	12	8	24	38	50	28	8
3-7	4	7	6	3	11	20	13	27	24	62	40	20
Σ	25	29	21	7	38	110	59	84	99	245	141	140

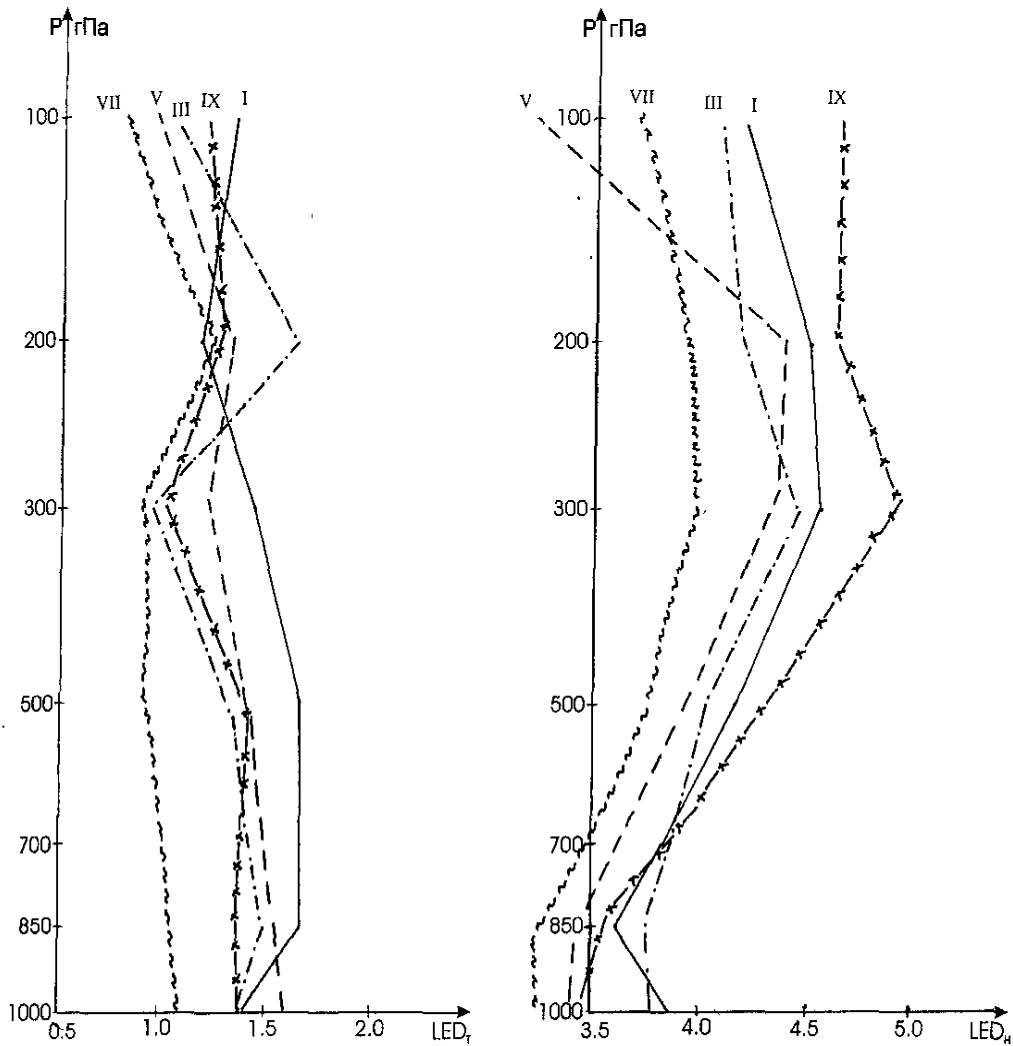


Рис. – 3. Вертикальний профіль логарифма сумарної дисперсії температури LED_T і геопотенціалу LED_H .
 I – січень, III – березень, V – травень, VII – липень,
 IX – вересень.

індексу циркуляції, а внесок 20- добових коливань є найменшим. У травні зростає внесок 3-7 добових коливань, добре виражені добові коливання у високому граничному шарі. У липні і вересні (за винятком поверхні 1000 гПа) енергетичний внесок 20- добових коливань зрівнюється з внеском 3-7 добових, довгі часові хвилі «опускаються» у тропосферу і сприяють встановленню довгих 5-7 і більше діб періодів стійкої погоди.

Висновки. Наведена інформація розширює наші знання про хвильовий характер і чинники зміни температури і геопотенціальної висоти ізобаричних поверхонь і дає також кількісну статистично забезпечену оцінку потужності хвильових процесів, що спостерігаються в атмосфері над територією України у різні сезони року. Опис процесу в частотній області може бути основою для з'ясування походження і механізму коливань тих або інших часових масштабів і, отже, викликає безперечний інтерес з прогностичної точки зору.

Список літератури

1. Волошина Е. В. Оценка спектральных характеристик временных рядов температуры основных изобарических поверхностей // Метеорология, климатология и гидрология. 2002. – Вып.46. – С. 95-100.
2. Груза Г.В., Рейтенбах Р. Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 215 с.
3. Ківганов А. Ф. Хвильові процеси в атмосфері. – Одеса: АО Бахва, 2001. – 178 с.
4. Муравьев А. В. Вычислительный эксперимент по расчету спектральной плотности на основе модели авторегрессионного процесса // Метеорология и гидрология. 1992. С.63-70.
5. Школьный Є. П., Лоева І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. – Одеса. 1999. – 437с.

Волновой характер и энергетика процессов колебаний температуры и геопотенциальной высоты изобарических поверхностей. Волошина Е.В.

Методом спектрального анализа исследована энергетика процессов колебания температуры и геопотенциальной высоты основных изобарических поверхностей. Выделены основные энергонесущие периоды 20, 10-15,3-7 суток. Установлено, что общая суммарная энергия колебательного процесса температуры в тропосфере уменьшается с высотой, а геопотенциала – увеличивается.

Ключевые слова: температура, геопотенциальная высота, изобарическая поверхность, спектральная функция, энергия, период колебания.

Wave character and energy of processes of the oscillation of temperature and geopotential height of isobaric surfaces. Voloshina E.V.

The energy of processes temperature and geopotential height fluctuation on the basic isobaric surfaces is investigated by the method of the spectral analysis. The basic energy periods 20, 10-15,3-7 day are considered. It is established, that general total energy of oscillatory process of temperature in troposphere decreases with height, and geopotential increases.

Keyword: temperature, geopotential height, isobaric surface, spectral function, energy, period of wave.