

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичних занять

з дисципліни

ФІЗИКА АТМОСФЕРИ

змістовний модуль «Фізичні процеси верхніх шарів атмосфери»

Спеціальність 6.040105 «Метеорологія»

ОДЕСА - 2015

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для практичних занять
з дисципліни
ФІЗИКА АТМОСФЕРИ
змістовний модуль «Фізичні процеси верхніх шарів атмосфери»

Спеціальність 6.040105 «Метеорологія»

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні методичної комісії
гідрометеорологічного інституту
прот. №__ від ”__” _____ 2015 р.

ОДЕСА – 2015

Методичні вказівки для практичних занять з дисципліни „Фізика атмосфери (ФПВА)” для студентів IV курсу денної форми навчання за напрямом підготовки 6.040105 «Метеорологія».

Укладач: к.г.н., доцент Галич Є.А.;

Одеса, ОДЕКУ, 2015 р. 48 с., укр. мова.

ЗМІСТ

Передмова	6
Вступ	8
1 Газовий склад і фізичні властивості повітря у верхній атмосфері	9
1.1 Загальні положення молекулярно-кінетичної теорії	9
1.2 Загальна характеристика методів дослідження газового складу верхньої атмосфери	13
Контрольні запитання	14
Приклади розв'язання задач	15
Завдання з практичної частини.....	18
2 Сонце і сонячна активність.....	19
2.1 Основні фізичні характеристики Сонця	19
2.2 Електромагнітне та корпускулярне випромінювання Сонця.....	21
2.3 Рівняння переносу радіації. Закон Буге – Ламберта – Бера.....	23
Контрольні запитання.....	24
Завдання з практичної частини	25
3 Озон в атмосфері.....	26
3.1 Організація і виробництво озонметричних спостережень	27
3.2 Проведення спостережень.....	29
3.3 Обробка спостережень.....	30
Контрольні запитання.....	31
Завдання з практичної частини.....	31
Література.....	32
Додаток А	33
Додаток Б	36
Додаток В.....	38

ПЕРЕДМОВА

Запропоновані методичні вказівки для практичних занять з дисципліни „Фізика атмосфери (ФПВА)” є частиною методичного забезпечення, розробленого для студентів при засвоєнні теоретичних та практичних знань з курсу „Фізика атмосфери (ФПВА)”.

Метою курсу „Фізика атмосфери (ФПВА)” є підготовка фахівців, які володіють глибокими теоретичними знаннями з особливостей фізичних процесів, які відбуваються у верхніх шарах атмосфери, особливо в високих широтах північної і південної півкуль - основні положення щодо молекулярно-кінетичної теорії та статистики верхньої атмосфери, взаємодія атмосферних газів з електромагнітним та корпускулярним випромінюванням Сонця, фотохімічні процеси у верхній атмосфері, які чинять великий вплив на вміст озону, на геофізичні явища, такі як характеристики іоносфери, магнітного поля Землі й магнітосфери, полярних сьайв й сріблястих хмар, а також циркуляційний режим повітря у верхній атмосфері – стратосфері, мезосфері й термосфері.

Завдання курсу є формування у студентів системи знань з фізичних механізмів, що обумовлюють стан шарів середньої та верхньої атмосфери, їх взаємодії з процесами сонячної діяльності і процесами у густих шарах атмосфери.

У результаті виконання практичних завдань студенти повинні

знати:

- газовий склад нейтральної атмосфери та характеристики іоносфери;
- загальні положення молекулярно-кінетичної теорії та статистики верхньої атмосфери;
- основні фізичні характеристики Сонця;
- фізичні явища, які утворюються на Сонці;
- вплив сонячної активності на фізичний стан атмосфери Землі;
- оптичні властивості озону;
- фізичні процеси, що обумовлюють утворення та руйнування озонового шару, оптичні властивості озону;
- розподілення озону у просторі та за часом;

вміти:

- визначати концентрацію та масу атмосферних газів у верхніх шарах атмосфери;
- розраховувати середню довжину вільного пробігу часток;
- визначати частоту зіткнень частинок;

- розраховувати висоту однорідної та ізотермічної атмосфери;
- розраховувати вертикальну швидкість руху молекул;
- описувати з використанням математичного апарату закономірності сонячного випромінювання, його вплив на фізичні процеси, що відбуваються в верхній атмосфері;
- проводити озонметричні спостереження на метеорологічному майданчику.

На практичних заняттях студент ознайомлюється з скороченим змістом теоретичних положень, відповідає на контрольні запитання та за призначенням викладачем варіантом розв'язує типові задачі з розглянутої вище теми. Розв'язання задач якісно оцінюється і отримані бали зараховуються як результат 2 практичних модулів з дисципліни „Фізика атмосфери (ФПВА)”. Оцінювання відбувається згідно з робочою програмою.

Методичні вказівки призначені для поглиблення знань у студентів з особливостей фізичних процесів, які відбуваються у верхніх шарах атмосфери під впливом електромагнітного та корпускулярного випромінювання Сонця.

ВСТУП

Фізичні чинники, під дією яких утворюються і розвиваються процеси різних масштабів в густих шарах атмосфери й у верхній атмосфері Землі, значно розрізняються. У тропосфері головними з них є процеси енергетичного взаємообміну між атмосферою й підстильною поверхнею Землі імпульсом, теплом і водяною парою, які у великій мірі обумовлені властивостями діяльної поверхні й станом атмосфери. У високих широтах атмосфери основними є динамічні та оптико – хімічні перетворення енергії. Вони значною мірою залежать, по-перше, від інтенсивності надходження сонячної радіації у різних діапазонах довжин хвиль і сонячної корпускулярної радіації, по-друге, від характеру взаємодії між ними та різними газовими складовими верхньої атмосфери. У результаті цих взаємодій, а також властивостей структури Землі, як планети, у верхній атмосфері виникають відповідні геофізичні процеси і явища. Вони здебільшого отримують значний розвиток у високих широтах обох півкуль планети. Зазначені геофізичні явища мають тісний зв'язок з структурою верхніх шарів атмосфери й процесами, які у них розвиваються. Тому спеціалісти метеорологи, повинні мати уявлення про особливості метеорологічних й геофізичних процесів у верхній атмосфері Землі, їх взаємозв'язок і взаємообумовленість.

Протягом другої половини минулого століття відбувалося швидке накопичення відомостей про будову верхніх шарів атмосфери Землі, процесів перетворення в них енергії. Верхніми шарами атмосфери називають всі її шари, які розташовуються вище тропосфери, тобто стратосфера, мезосфера, термосфера і екзосфера. Інколи стратосферу і мезосферу називають середньою атмосферою.

Дослідження верхньої атмосфери в останні десятиріччя відбувається переважно за допомогою штучних супутників Землі, метеорологічних і геофізичних ракет і т. і. Непрямі методи вивчення верхніх шарів також продовжують розвиватися й удосконалюватися.

Вивчення властивостей верхніх шарів атмосфери має велике наукове і практичне значення. Вже давно встановлено, що іонізація верхньої атмосфери визначає умови поширення радіохвиль. На радіозв'язок великий вплив чинять збурення магнітного поля Землі, які виникають в результаті сонячної діяльності. В стратосфері і мезосфері відбуваються процеси, які мають значення для формування погоди у тропосфері.

На верхні шари атмосфери великий вплив чинить діяльність Сонця. Сонячно – земні зв'язки найбільш яскраво виявляються у полярних зонах земної кулі. Цим і обумовлюється та зацікавленість, яку проявляє метеорологічна наука до вивчення верхніх шарів атмосфери, фізичних процесів, що в них відбуваються.

1 ГАЗОВИЙ СКЛАД І ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВІТРЯ У ВЕРХНІЙ АТМОСФЕРІ

Верхня атмосфера – це газове середовище, до якого застосовні основні положення молекулярно-кінетичної теорії, яка описує властивості електрично нейтрального газу. Атмосферний тиск і густина зменшуються з висотою. Тому справедливим є основне рівняння статички. Для найвищих шарів атмосфери, де довжина вільного пробігу молекул стає дуже великою, а зіткнення частинок рідким, рівняння статички у класичній формі не є справедливим, як і рівняння стану повітря. Особливу форму має й рівняння нерозривності.

1.1 Загальні положення молекулярно-кінетичної теорії

Газові закони. Стан верхньої атмосфери описується тиском p , густиною ρ , температурою T і концентрацією молекул в одиниці об'єму n . Для верхньої атмосфери також застосовується рівняння стану ідеального газу. Але записувати його потрібно для одного моля, тобто у вигляді:

$$p = knT, \quad (1.1)$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – стала Больцмана.

Рівняння для густини повітря має такий вигляд:

$$\rho = nt, \quad (1.2)$$

де t – середня маса однієї молекули.

Температура у рівнянні (1.1) – кінетична. Вона є мірою теплових рухів молекул, тобто характеризує середню кінетичну енергію цих рухів. Дійсно, середня кінетична енергія молекулярних рухів визначається рівнянням

$$\bar{E}_k = \frac{m\bar{v}^2}{2}. \quad (1.3)$$

В рівнянні (1.3) \bar{v}^2 – середній квадрат швидкості молекул. У той же час, внутрішня енергія залежить від температури таким чином

$$E_{\text{ср}} = \frac{3kT}{2}. \quad (1.4)$$

Із рівності цих енергій маємо

$$m\overline{v^2} = 3kT. \quad (1.5)$$

Основи кінетичної теорії взаємодіючих часток і молекулярна дифузія. Газовий склад верхньої атмосфери визначають важливі фізичні процеси, роль яких у різних шарах є різною. Це такі процеси як зіткнення часток, теплова рівновага, дифузія. Розглянемо їх сутність.

Зіткнення часток. Частки різних газових компонентів взаємодіють між собою тільки шляхом зіткнень. Частота зіткнень ν визначається як кількість зіткнень часток з будь-якими іншими за 1 секунду. Середню відстань, яку проходить частка між зіткненнями називають середньою довжиною вільного пробігу. Із рівняння (1.5) виходить, що середнє квадратичне значення швидкості частки $v_{\text{ср.к}}$ дорівнює

$$v_{\text{ср.к}} = \left(\overline{v^2}\right)^{1/2} = \left(\frac{3kT}{m}\right)^{1/2}. \quad (1.11)$$

Середню довжину вільного пробігу можна визначити таким чином

$$l = \frac{v_{\text{ср}}}{\nu} = \frac{(3kT/m)^{1/2}}{\nu} \quad (1.12)$$

Оскільки l приблизно дорівнює відстані між молекулами газу, то можна вважати, що частота співударів ν повинна бути прямо пропорційною їх концентрації й квадратному кореню із температури, тобто

$$\nu \approx nT^{1/2} \quad (1.13)$$

Але у реальних умовах у наслідок того, що механізми взаємодії при зіткненнях часток різні, існують й різні залежності ν від T . Наприклад, при зіткненні електронів з нейтральними частками $\nu \sim T$, тобто ν і T – еквівалентні. При зіткненні іонів з нейтральними частками величина ν не залежить від температури T , а при зіткненні електронів з іонами $\nu \sim T^{-3/2}$.

Теплова рівновага. Для атмосфери, яка знаходиться у тепловій рівновазі, температура залишається такою ж, як і була, і тому рухи й перерозподіл енергії відсутні. Для всієї атмосфери такі умови не виконуються. Проте деякі із висновків теорії теплової рівноваги є суттєвими.

Дифузія. Якщо у газовому середовищі існує градієнт тиску, то молекули будуть рухатись у протилежному напрямку, щоб компенсувати різницю у тиску. Швидкість спрямованого руху, на яку накладаються хаотичні теплові рухи молекул, буде пропорційна цьому градієнту.

Рівняння статки для верхньої атмосфери. Гідростатичну властивість верхньої атмосфери, якщо врахувати рівняння (1.2), можна виразити рівнянням статки

$$\frac{dp}{dz} = -mng, \quad (1.14)$$

де

$n = \sum n_i$ – кількість частинок i -тих газів в одиниці об'єму;

$m = \frac{1}{n} \sum m_i n_i$ – середня маса частинок;

m_i – маса однієї частинки i -того газу; g – прискорення вільного падіння.

З рівняння стану (1.1) маємо

$$n = \frac{p}{kT}, \quad (1.15)$$

звідки

$$\frac{dp}{dz} = \frac{-mp}{kT} g \quad (1.16)$$

або

$$\frac{dp}{p} = - \frac{dz}{\frac{kT}{mg}}. \quad (1.17)$$

Величина

$$\frac{kT}{mg} = H \quad (1.18)$$

називається висотою однорідної атмосфери і дорівнює подвійній відстані, на яку можуть піднятися у вертикальному напрямку проти сили тяжіння молекули і атоми, що мають внутрішню енергію відносно цієї осі руху oz

$$E_{\text{ái}_z} = \frac{kT}{2}.$$

Таким чином, рівняння статки верхньої атмосфери має вигляд

$$\frac{dp}{p} = - \frac{dz}{H}. \quad (1.19)$$

Якщо проінтегрувати рівняння (1.34) у границях від p_0 до p і z_0 до z , то рівняння статки можна записати в інтегральній формі, яка називається барометричною формулою верхньої атмосфери

$$p(z) = p_0 \exp \left[- \int_{z_0}^z \frac{dz}{H} \right], \quad (1.20)$$

або, якщо використати рівняння стану (1.1)

$$n(z) = n_0 \frac{T_0}{T(z)} \exp \left[- \int_{z_0}^z \frac{dz}{H} \right]. \quad (1.21)$$

Для ізотермічної атмосфери $T(z) = T_0 = const$ і при незначному змінненні з висотою H при віддаленні від z_0 (тобто, коли $m = const$; $g = const$), маємо

$$p(z) = p_0 \exp \left[- \frac{z - z_0}{H} \right], \quad (1.22)$$

$$n(z) = n_0 \exp \left[- \frac{z - z_0}{H} \right], \quad (1.23)$$

$$\rho(z) = \rho_0 \exp \left[- \frac{z - z_0}{H} \right]. \quad (1.24)$$

Рівняння (1.24) випливає з рівняння (1.23), якщо обидві частини останнього помножити на масу m . На тих висотах верхньої атмосфери, де відбувається гравітаційний розділ газів (зменшення з висотою відносної молекулярної маси), кожна газова компонента має свою однорідну атмосферу

$$H_i = \frac{kT}{m_i g} \quad (1.25)$$

або, оскільки стала Больцмана

$$k = \frac{R^* m_i}{\mu_i}, \quad (1.26)$$

де $R^* = 8,31441 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$ – універсальна газова стала;

μ_i – відносна молекулярна маса, тоді

$$H_i = \frac{R^* T}{\mu_i g}. \quad (1.27)$$

Для оцінки висоти однорідної атмосфери у кілометрах можна користуватися приближеним співвідношенням

$$H \approx \frac{T}{\mu}. \quad (1.28)$$

Воно дає похибку десь близько 10% на висотах 200-900 км.

1.2 Загальна характеристика методів дослідження газового складу верхньої атмосфери

Важливим завданням фізики верхньої атмосфери і космічного простору є з'ясування їх складу на різних висотах. Через відсутність достатніх експериментальних даних не можна вказати надійно залежність від висоти концентрації складових атмосфери. Здійснення експериментів на штучних супутниках дозволяє безпосередньо дослідити склад верхньої атмосфери на різних широтах в різний час доби. Це дає можливість простежити зміни іонного складу в умовах різної освітленості, а також зміни, пов'язані з варіаціями інтенсивності ультрафіолетового випромінювання та корпускулярних потоків Сонця.

Штучні супутники Землі та космічні ракети відкрили найширші можливості для вивчення верхньої атмосфери й космічного простору шляхом постановки прямих експериментів і проведення безпосередніх вимірювань на значних висотах. Відмінною особливістю штучних супутників як засобу наукового дослідження є можливість тривалого вивчення ряду фізичних явищ над усіма районами земної кулі. За допомогою космічних ракет вдається здійснити вивчення процесів, що відбуваються як в околиці Землі, так і поза Землею, в космічному просторі, де вплив земного магнітного поля практично дорівнює нулю. Останнє має істотне значення, оскільки структура навколосемного простору багато в чому пов'язана з наявністю геомагнітного поля. Поза магнітного поля Землі ми можемо вивчати космічний простір і процеси, що відбуваються в ньому в "чистому" вигляді, без його впливів.

За допомогою космічних ракет вдається провести дослідження складу міжпланетного газу на різних відстанях від Землі. Однією з найважливіших характеристик газів, що входять до складу атмосфери, як і взагалі всіх хімічних елементів, є їх атомний і молекулярний ваги, які прийнято виражати в умовних одиницях, так званих атомних одиницях маси. Атомні і молекулярні ваги елементів та їхніх сполук, що становлять якусь суміш, можуть бути визначені за допомогою приладів, які називаються *мас-спектрометри* (рис. 1.1).

Розглянемо параметри термосферної моделі, заснованої на мас-спектрометрі MSIS-83.

MSIS-83 емпірична модель температури, густини і складу атмосфери, що складається з даних ракетних польотів, семи супутників, і п'яти радарів некогерентного розсіяння, у тому числі даних з високої сонячної активності. Модель розширює попередній опис параметрів нейтральних шарів до основи термосфери в безперервному режимі при збереженні базової структури моделі MSIS-83 на великих висотах.



Рис. 1.1 – Хромато-мас-спектрометр

У моделі MSIS-83 використовуються дані 17 супутникових експериментів, п'яти станцій некогерентного розсіяння і ракетних вимірювань. За нижню межу приймається рівень 120 км. Висотні профілі температури задаються за формулою Бейтса, а концентрації – за барометричним законом. Всі ці параметри змінюються в просторі і в часі, а також залежать від сонячної і геомагнітної активності.

В таблиці А.1, додатку А приведені основні значення параметрів верхньої атмосфери, розраховані за допомогою моделі MSIS-83 для 12 год. місцевого часу, $\varphi = 45^{\circ}$ півн.ш, $F_{10,7} = 150$. У таблиці позначенню 5,55E 09 відповідає значення концентрації $5,55 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$.

Контрольні запитання

- 1. Перелічіть процеси, які визначають газовий склад верхньої атмосфери.*
- 2. При яких механізмах взаємодії частинок існують різні залежності ν від T ?*
- 3. Порівняйте швидкості більш важких молекул та молекул з меншими масами при однаковій температурі.*

4. Опишіть дифузію як процес, який визначає газовий склад верхньої атмосфери.
5. Чому атмосфера на дуже значних висотах стає нерівноважною, і рівняння статки у класичній формі не виконується?
6. У чому полягає відмінність умов перемішування, які складаються у верхній атмосфері?
7. Від яких процесів, що відбуваються у верхній атмосфері, залежить розподілення газів з висотою?

Приклади розв'язання задач

Задача 1. Визначити масу атомів гелію He та висоту однорідної атмосфери, якщо відомі концентрація і густина газу та температура навколишнього повітря. Побудувати графік залежності $H_i(T_i)$.

Дано:

$$n_{He} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$$

$$\rho_{He} = 8,8 \cdot 10^{-18} \text{ г/см}^3$$

$$T_1 = 773 \text{ К}$$

$$T_2 = 900 \text{ К}$$

$$T_3 = 1100 \text{ К}$$

$$T_4 = 1300 \text{ К}$$

$$m_{He} - ?$$

$$H_i - ?$$

СІ:

$$n_{He} = 1,3 \cdot 10^6 \frac{1}{10^{-6} \text{ м}^3} = 1,3 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3};$$

$$\rho_{He} = 8,8 \cdot 10^{-18} \frac{10^{-3} \text{ кг}}{10^{-6} \text{ м}^3} = 8,8 \cdot 10^{-18} \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 8,8 \cdot 10^{-15} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Розв'язання:

- 1) Визначимо масу часток газу He за допомогою рівняння стану:

$$\rho = nm \Rightarrow m = \frac{\rho}{n};$$

- 2) Висота однорідної атмосфери в залежності від температури визначається за допомогою рівняння:

$$H_i = \frac{kT}{m_i g},$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ - стала Больцмана.

Обчислення:

$$1) m_{He} = \frac{8,8 \cdot 10^{-15} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{1,3 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}} = 6,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$$

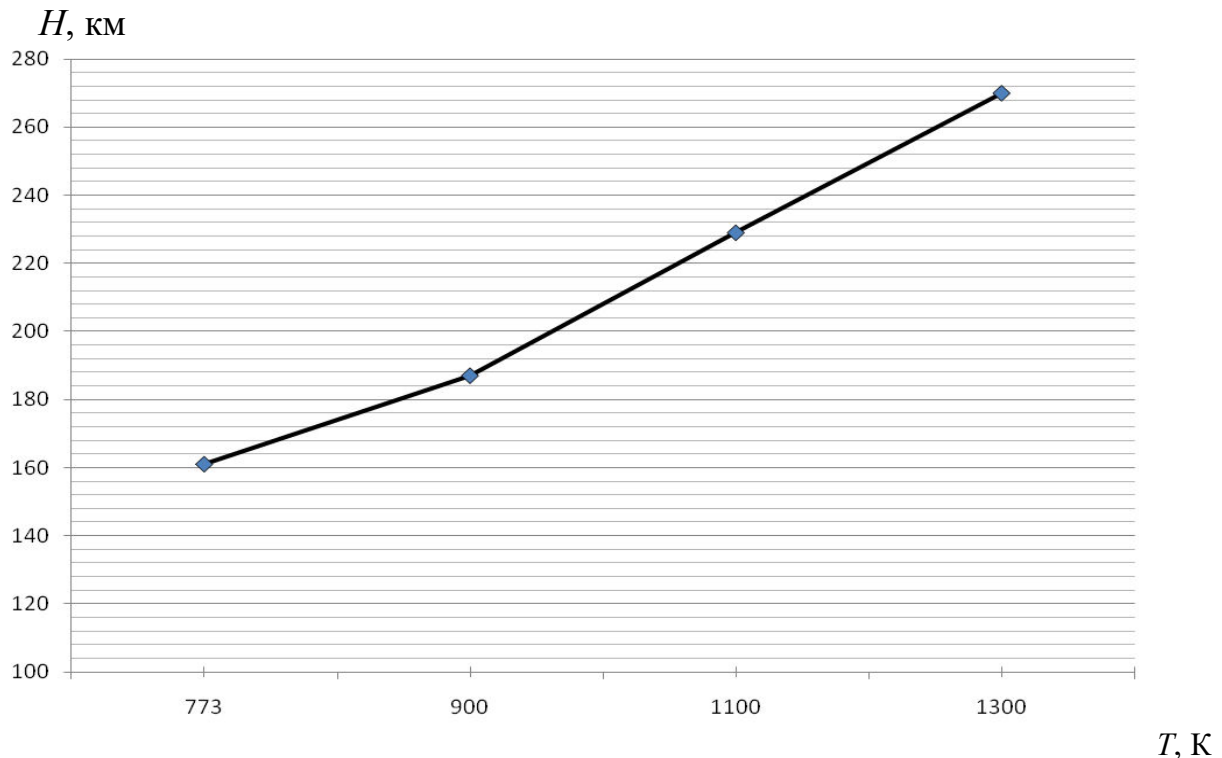
$$2) H_1 = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 773 \text{ К}}{6,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 16,1 \cdot 10^4 \text{ м} = 161 \text{ км};$$

$$H_2 = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 900 \text{ К}}{6,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 18,7 \cdot 10^4 \text{ м} = 187 \text{ км};$$

$$H_3 = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 1100 \text{ К}}{6,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 22,9 \cdot 10^4 \text{ м} = 229 \text{ км};$$

$$H_4 = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 1300 \text{ К}}{6,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 27,0 \cdot 10^4 \text{ м} = 270 \text{ км}.$$

3) Графік залежності $H_i(T_i)$



Відповідь: $m_{He} = 6,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг}; H_1 = 161 \text{ км}; H_2 = 187 \text{ км}; H_3 = 229 \text{ км};$
 $H_4 = 270 \text{ км}.$

Задача 2. Визначити тиск атмосфери на визначених висотах однорідної атмосфери, за допомогою барометричної формули для ізотермічної атмосфери $T(z) = T_0 = \text{const}$.

Дано:

$$z_0 = 5 \text{ м}$$

$$z_1 = 0,9 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$z_2 = 1,7 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$z_3 = 2,9 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$z_4 = 7,0 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$p_0 = 1013,2 \text{ гПа}$$

$$H = 21,7 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$p(z_i) = ?$$

Розв'язання:

Ізотермічна атмосфера – атмосфера, в якій температура повітря не змінюється з висотою, тобто вертикальний температурний градієнт $\gamma = 0^\circ / 100 \text{ м}$.

Барометрична формула для ізотермічної атмосфери

$$p(z_i) = p_0 \exp\left[-\frac{z_i - z_0}{H}\right].$$

Атмосферний тиск в ізотермічній атмосфері при зростанні висоти зменшується експоненційно.

Висота такої атмосфери була би нескінченною. Густина повітря в ізотермічній атмосфері зменшується за висотою також експоненційно.

Обчислення:

$$1) p(z_1) = p_0 \exp\left[-\frac{z_1 - z_0}{H}\right] = 972,0 \text{ гПа};$$

$$2) p(z_2) = p_0 \exp\left[-\frac{z_2 - z_0}{H}\right] = 936,9 \text{ гПа};$$

$$3) p(z_3) = p_0 \exp\left[-\frac{z_3 - z_0}{H}\right] = 886,5 \text{ гПа};$$

$$4) p(z_4) = p_0 \exp\left[-\frac{z_4 - z_0}{H}\right] = 733,9 \text{ гПа}.$$

Відповідь: $p(z_1) = 972,0 \text{ гПа}$; $p(z_2) = 936,9 \text{ гПа}$; $p(z_3) = 886,5 \text{ гПа}$; $p(z_4) = 733,9 \text{ гПа}$.

Завдання з практичної частини

Завдання 1. Визначити масу атомів гелію He та висоту однорідної атмосфери H_i , якщо відомі концентрація n_{He} см^{-3} , густина газу ρ_{He} г/см^3 і температура навколишнього повітря T_i . Побудувати графік залежності $H_i(T_i)$.

Варіанти (№) вихідних даних

№	n_{He} см^{-3}	ρ_{He} г/см^3	T_1 К	T_2 К	T_3 К	T_4 К
1	$2,3 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-17} \text{ а/м}^3$	2133	1473	1059	815
2	$2,2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-18} \text{ а/м}^3$	2045	1548	1158	903
3	$2,1 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-17} \text{ а/м}^3$	2145	1458	1018	859
4	$2,0 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-18} \text{ а/м}^3$	1998	1502	1125	894
5	$1,3 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-17} \text{ а/м}^3$	2015	1499	1257	799
6	$1,8 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-17} \text{ а/м}^3$	1956	1533	1233	879
7	$1,9 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-18} \text{ а/м}^3$	2169	1398	1078	824
8	$1,4 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-17} \text{ а/м}^3$	1895	1414	1207	889
9	$1,6 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-18} \text{ а/м}^3$	1977	1515	1188	945
10	$1,7 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-17} \text{ а/м}^3$	2089	1389	1217	911

Завдання 2. Визначити тиск атмосфери $p(z_i)$ на визначених висотах однорідної атмосфери, за допомогою барометричної формули для ізотермічної атмосфери $T(z) = T_0 = \text{const}$.

Варіанти (№) вихідних даних

№	p_0 , гПа	z_0 , м	z_1 , км	z_2 , км	z_3 , км	z_4 , км	H , км
1	1010,3	14	5	12	26	44	195
2	998,8	13	6	13	23	41	120
3	1012,3	15	7	14	27	47	135
4	990,5	16	8	17	25	49	106
5	1021,1	14	2	15	24	51	199
6	1015,3	8	3	16	28	53	189
7	1000,6	12	4	18	29	54	112
8	1014,7	9	5	11	22	46	197
9	999,3	17	9	18	28	55	113
10	1028,5	11	5	10	25	49	123

Завдання 3. Побудувати вертикальні профілі основних значень параметрів верхньої атмосфери, розрахованих за допомогою моделі MSIS-83 для 12 год. місцевого часу, $\varphi = 45^\circ$ півн.ш, $F_{10,7} = 150$ (див. табл. А.1).

2 СОНЦЕ І СОНЯЧНА АКТИВНІСТЬ

2.1 Основні фізичні характеристики Сонця

Сонце, з одного боку, є центральним тілом сонячної планетної системи, а з іншого, – це звичайна зірка в одній із спіральних гілок Галактики спектрального класу $G2$, до якого відносяться жовті зірки з температурою поверхні близько 6000 К.

Середня відстань між Землею і Сонцем становить близько 149 600 000 км. Протягом року ця відстань завдяки еліптичності орбіти Землі змінюється на $4,8 \cdot 10^6$ км.

За формою Сонце являє собою кулю. Середня кутова величина діаметра Сонця по відношенню до центра Землі становить $31'59''$. Лінійний радіус Сонця дорівнює 696 000 км. У Сонці сконцентровано майже 99,866% всієї маси сонячної системи. Його маса дорівнює $1,99 \cdot 10^{30}$ кг, а середня густина – $1,41 \cdot 10^3$ кг/м³, або 0,256 густини Землі.

Прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця дорівнює $273,98 \text{ м/с}^2$, що приблизно у 28 разів більше прискорення сили тяжіння на поверхні Землі. Гравітаційна дія Сонця поширюється на відстань, яка у 100-150 тис. разів перебільшує середній радіус земної орбіти. У цій області всі небесні тіла гравітаційно пов'язані з Сонцем, за винятком тих тіл, які мають значні власні швидкості.

Сонце обертається навколо своєї осі у тому ж напрямку, що і Земля. Кут нахилу екваторіальної площини Сонця до площини екліптики дорівнює $7^\circ 15'$. Тому протягом року Земля проектується на диск Сонця на різні геліографічні широти у зоні від $-7^\circ 15'$ південної півкулі до $+7^\circ 15'$ північної півкулі. Екваторіальну площину Сонця Земля перетинає у червні і грудні, а у березні й вересні її проекція віддаляється на максимальну відстань від сонячного екватора.

Сонце обертається не як тверде тіло, його швидкість обертання залежить від геліографічної широти й висоти над поверхнею Сонця. Вона має максимальне значення біля екватора й зменшується зі збільшенням широти. Період обертання в залежності від широти на Сонці називають періодом синодичного обертання S . Він визначається приблизним співвідношенням

$$S \approx 26,90 + 5,2 \sin^2 \varphi \text{ діб.} \quad (2.1)$$

Синодичний період у 27 діб, який часто використовується геофізиками для зіставлення повторюваності різних земних явищ у залежності від сонячних, відповідає геліографічній широті $\varphi = 8^\circ$.

Окрім обертання навколо своєї осі, Сонце зі швидкістю 19,5 км/с поступально переміщується у напрямку, де на небесній сфері межують сузір'я Ліри й Геркулеса.

Розрізняють центральну частину Сонця і його атмосферу. Центральну частину через непрозорість сонячної атмосфери спостерігати неможливо. Найбільш детальні відомості про процеси і фізичні умови в атмосфері Сонця отримані за допомогою безпосередніх спостережень.

За фізичними характеристиками сонячну атмосферу поділяють на три шари: фотосферу, хромосферу і сонячну корону. Схема розташування цих шарів й деякі їх фізичні характеристики показані на рис. 2.1. Під фотосферою зірки розуміють шар її атмосфери, який дає випромінювання у неперервному спектрі. Інші шари, які розташовуються вище, дають лінійчатий спектр

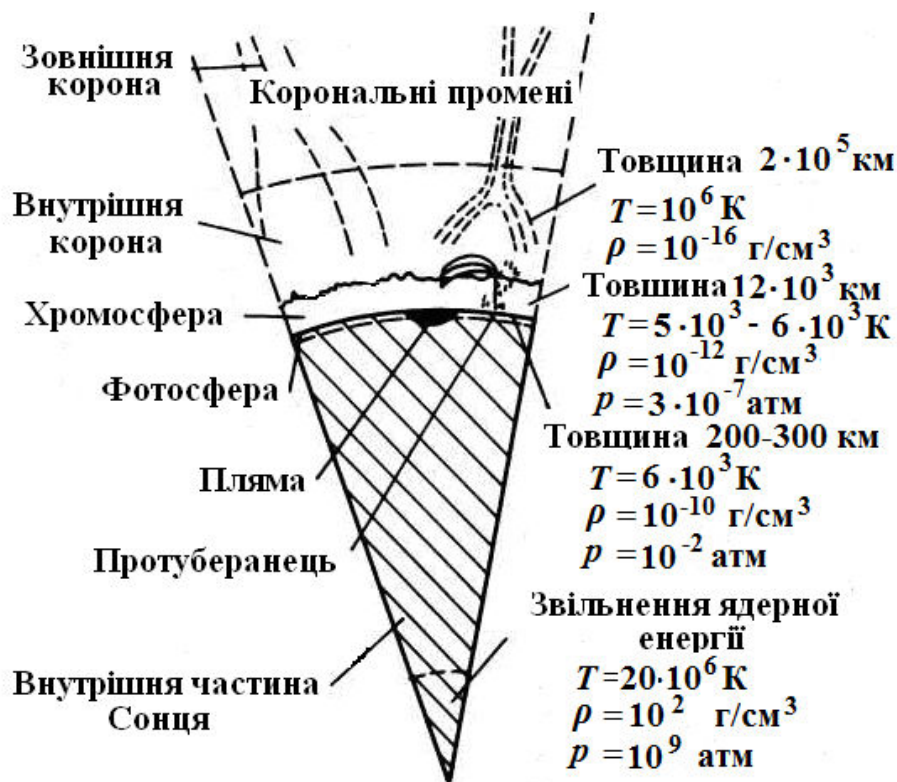


Рис. 2.1 – Будова Сонця і сонячної атмосфери

2.2 Електромагнітне та корпускулярне випромінювання Сонця

Електромагнітне випромінювання Сонця охоплює широкий спектр довжин хвиль. Він поділяється на ряд інтервалів довжин хвиль λ (границі значення λ позначені в дужках). До них відносяться:

- а) гама-промені ($\lambda < 10^{-5}$ мкм)
- б) рентгенівські промені ($10^{-5} < \lambda < 10^{-2}$ мкм)
- в) ультрафіолетова радіація ($0,01 < \lambda < 0,39$ мкм)
- г) видима радіація ($0,39 < \lambda < 0,76$ мкм).

Остання у свою чергу поділяється на сім інтервалів (у мкм), кожен з яких відповідає відомому кольору

0,390-0,455	фіолетовий	0,575-0,585	жовтий
0,455-0,485	синій	0,585-0,620	оранжевий
0,485-0,505	блакитний	0,620-0,760	червоний
0,505-0,575	зелений		

- д) інфрачервона радіація ($0,76 < \lambda < 3000$ мкм)
- е) радіохвилі ($\lambda > 0,3$ см).

Виділяють ближній (до видимої частини спектра) ультрафіолет ($0,29 - 0,39$ мкм) і ближню інфрачервону частину спектра ($0,76 - 2,4$ мкм).

Хоча спектр електромагнітного випромінювання Сонця простягається від гама-променів до радіохвиль, 99% всієї енергії випромінювання припадає на діапазон від 0,276 до 4,960 мкм і 99,9% – на діапазон від 0,217 до 10,940 мкм. Іншими словами, вся енергія, за винятком 0,1%, що надходить на верхню межу земної атмосфери, припадає на ультрафіолетову, видиму та інфрачервону частину спектра електромагнітного випромінювання Сонця.

Випромінювальна здатність Сонця близька до випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла тільки у ближній інфрачервоній, видимій та ближній ультрафіолетовій частині спектра.

У діапазоні 0,29-0,21 мкм випромінювання Сонця зменшується з довжиною хвилі швидше, ніж у абсолютно чорного тіла. Однак при подальшому зменшенні довжини хвилі інтенсивність сонячного випромінювання зменшується вже повільніше, близько $\lambda \approx 0,1$ мкм воно у 2-3 рази більше ніж у абсолютно чорного тіла.

У періоди сонячної активності інтенсивність сонячної радіації може на дуже коротких хвилях різко змінюватись. Для області спектра $\lambda < 0,13$ мкм спостерігаються довгоперіодні зміни потоку, котрі пов'язані з циклом сонячної активності і короткоперіодними варіаціями, що обумовлені сонячними спалахами.

У часи сонячних спалахів відбуваються різкі зміни інтенсивності рентгенівського випромінювання. За випромінюваннями на ШСЗ при сонячному спалаху відбувалися посилення потоку у декілька разів за 10-20 хвилин.

Інтенсивність сонячної радіації на верхній межі земної атмосфери характеризується сонячною сталою. Сонячна стала - кількість сонячної радіації, яка надходить на верхню межу атмосфери за одиницю часу до одиничної поверхні, перпендикулярної до сонячних променів, при середній відстані між Сонцем і Землею. Ця середня відстань дорівнює $149,5 \cdot 10^6$ км, у той час, коли найбільша відстань (Земля в афелії своєї орбіти) – $152 \cdot 10^6$ км, а найменша (перигелій орбіти Землі) – $147 \cdot 10^6$ км.

Вимірювання сонячної сталої були проведені за допомогою ШСЗ. За даними найбільш ймовірні значення сонячної сталої знаходяться в інтервалі $1,368 \div 1,377$ кВт·м⁻². При цьому будь-які регулярності змін за часом значень сонячної сталої відсутні.

За рекомендацією Міжнародної комісії з радіації стандартним значенням сонячної сталої визначено

$$I_0^* = 1,37 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}.$$

Сонячна стала – кількість сонячної радіації, що надходить на верхню межу атмосфери за одиницю часу до одиничної поверхні, перпендикулярної до сонячних променів, при середній відстані між Сонцем і Землею.

Існують думки, що сонячна стала зазнає коливань під впливом сонячної активності. Це означає, що вона повинна бути пов'язана з числами Вольфа. За дослідженнями К.Я. Кондратьєва і Г.А. Нікольського, найбільші значення сонячної сталої спостерігаються при $80 < W < 100$. При інших числах Вольфа сонячна стала зменшується. Найбільші відхилення сонячної сталої дорівнюють 2%.

Сонце випромінює не тільки потоки електромагнітних хвиль, але є також джерелом різних частинок – **корпускул**, які випромінюються у міжпланетний простір. Через деякий час частина цих корпускул може досягати земної поверхні. За своїм складом це протони, α -частинки, іони гелію, ядра більш важких елементів, а також електрони. У залежності від енергії корпускулярні частинки, що випромінюються Сонцем,

підрозділяються за енергією E на сонячні космічні промені і сонячне корпускулярне випромінювання.

2.3 Рівняння переносу радіації. Закон Буге – Ламберта – Бера

При проходженні сонячної радіації крізь атмосферу, треба розглядати спектральну інтенсивність I_λ , тобто інтенсивність, яка припадає на вузький інтервал довжин хвиль від λ до $\lambda + d\lambda$.

Вузький світловий пучок, проходячи крізь середовище, при взаємодії з його речовиною поглинається. Позначимо зменшення інтенсивності радіації при проходженні шляху у середовищі dl через dI_λ . Ясно, що це послаблення пропорційне густині ρ речовини, інтенсивності радіації на верхній границі шару I_λ і товщині шару середовища, тобто

$$dI_\lambda = -\alpha_\lambda \rho I_\lambda dl. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт пропорційності α_λ має назву масового показника послаблення. Він є мірою відносного послаблення інтенсивності радіації одиничною масою речовини.

У загальному випадку шар повітря сам випромінює радіацію. Але для короткохвильової сонячної радіації власним випромінюванням можна знехтувати. Крім того, у верхній атмосфері головним фізичним механізмом ослаблення сонячної радіації є її поглинання. Тому при ослабленні її у верхній атмосфері розсіюванням сонячної радіації також будемо нехтувати. За цими умовами коефіцієнт α_λ має сенс масового показника поглинання.

Закон послаблення монохроматичного потоку сонячної радіації в ідеальній атмосфері (Закон Буге-Ламберта-Бера) має вигляд

$$I_\lambda = I_{\lambda 0} p_\lambda^m, \quad (2.3)$$

де

m – кількість оптичних мас або просто оптична маса атмосфери;

$m = M/M_0$, де M_0 – маса вертикального стовпа;

$\alpha_\lambda M_0 = \tau_\lambda$ – стала величина.

Для інтегрального потоку сонячної радіації закон послаблення має вигляд:

$$I = I_0 p^m, \quad (2.4)$$

Інтегральний коефіцієнт прозорості p зі збільшенням оптичної маси зростає, бо при малих висотах Сонця кількість короткохвильової радіації,

що найбільше всього розсіюється, зменшується, тобто змінюється спектральний склад.

Пряма сонячна радіація на перпендикулярну поверхню I – потік сонячної радіації, що надходить на одиницю поверхні, перпендикулярної сонячним променям, за одиницю часу.

Пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню I' – називається *інсоляцією* і розраховується за формулою

$$I' = I \cdot \sin h_{\odot} . \quad (2.5)$$

Взагалі поглинання сонячного короткохвильового випромінювання є основним процесом, що визначає існування верхньої атмосфери. В результаті цього поглинання відбувається іонізація основних складових верхньої атмосфери (O , O_2 , N_2) і їх дисоціація. Завдяки дисоціації молекулярного кисню відбувається утворення однієї з найважливіших і хімічно активних компонент верхньої атмосфери – атомарного кисню.

В табл. Б.1 додатку Б представлені інтенсивності сонячного випромінювання ($I \cdot 10^7$ Дж/см \cdot с) в іонізуючому континуумі для рівнів сонячної активності $F_{10,7}$, що характеризуються потоком випромінювання на довжині хвилі 10,7 нм.

Контрольні запитання

1. Від чого залежить швидкість обертання Сонця?
2. Як називається період обертання у залежності від широти на Сонці, який часто використовується геофізиками для зіставлення повторюваності різних земних явищ?
3. Який шар сонячної атмосфери випромінює всю ту світлову й теплову енергію, яку Сонце посилає у світовий простір?
4. Який закон описує послаблення потоку сонячної радіації в атмосфері?
5. Джерелом якого випромінювання є хромосфера?
6. Як називається зовнішній й найбільш протяжний шар сонячної атмосфери?
7. Джерелом якого випромінювання є Сонячна корона?
8. Для чого використовують відносне число сонячних плям, яке називають числом Вольфа?
9. Дайте визначення сонячної активності.
10. Який період коливання є характерним для сонячної активності та кількості сонячних плям?
11. Молекулами яких газів, головним чином, поглинається сонячне випромінювання у верхній атмосфері?

Завдання з практичної частини

Завдання 1. Знайти величини оптичних мас атмосфери m для усіх висот Сонця кратних 10° . Побудувати графік функції $m(h_\odot)$. Пояснити причини цієї залежності.

Завдання 2. Розрахуйте коефіцієнт прозорості p та пряму сонячну радіацію на горизонтальну поверхню I' при заданих значеннях висоти Сонця h_\odot і прямої сонячної радіації на перпендикулярну поверхню I .

Варіанти (№) вихідних даних

№	h_\odot °	I , Дж/м ² ·с	№	h_\odot °	I , Дж/м ² ·с
1	25	0,50	11	54	0,83
2	46	0,74	12	15	0,40
3	53	0,82	13	25	0,51
4	39	0,68	14	21	0,47
5	17	0,46	15	52	0,81
6	27	0,52	16	55	0,84
7	44	0,71	17	19	0,49
8	51	0,80	18	26	0,53
9	42	0,69	19	20	0,47
10	22	0,48	20	50	0,79

Завдання 3. Побудувати спектри сонячного випромінювання для різних рівнів сонячної активності, а також спектр інтегральної інтенсивності іонізуючого випромінювання при переході від мінімуму сонячної активності до максимуму табл. Б.1 у додатку Б.

Завдання 4. Розрахувати статистичні оцінки моментів розподілу, моду й медіану на основі простих статистичних рядів середньомісячних значень чисел Вольфа табл. Б.2 додатку Б.

3 ОЗОН В АТМОСФЕРІ

Озон – це триатомний кисень O_3 . Для характеристики фізичних властивостей озону використовують декілька величин. Перша з них – це густина цієї речовини (ρ_3). При тиску $p = 1013$ гПа і температурі $t = 0$ °С $\rho_3 = 2,14 \cdot 10^{-3}$ г/см³. При температурі $t = -111,9$ °С озон переходить у рідкий стан. У цьому агрегатному стані O_3 є рідиною темносинього кольору. При температурі $t = -192,7$ °С ця рідина переходить у тверду фазу, і O_3 має вигляд темнофіолетових кристалів. Озон – хімічно нестійка сполука. Він швидко розпадається у присутності окислювачів, якими є Cl , NO , а при збільшенні температури до 100 °С розпадається спонтанно на O_2 і O . Вміст озону характеризується такими величинами.

Загальний вміст озону. Це товщина озонового шару, приведеного до тиску $p = 1013$ гПа і температури $t = 0$ °С. Вимірюється у атмосферо-сантиметрах (атм-см) або у міліатмосферо-сантиметрах (матм-см). Фізичний смисл цієї величини полягає у тому, що вона характеризує товщину шару усього атмосферного озону, який утворився б при приведенні до нормальних значень тиску і температури. Але у більшості випадків для вимірювання загального вмісту озону використовується одиниця Добсона (О.Д.). Одна О.Д. дорівнює одному матм-см. Середній вміст O_3 в атмосфері Землі дорівнює $0,3$ атм-см, що відповідає 300 матм-см або 300 О.Д. Коливання його вмісту знаходяться у інтервалі 200 - 600 О.Д. Часто загальний вміст O_3 позначається латинською літерою X . Зазначеному середньому вмісту O_3 відповідає його загальна маса $m_3 = 3,2 \cdot 10^9$ т.

Для визначення ЗВО використовується властивість озону поглинати ультрафіолетове випромінювання в області спектру 280 - 330 нм.

Як джерело світла використовується Сонце або розсіяне світло від ділянки неба поблизу зеніту. З огляду на те, що атмосферний аерозоль також послаблює ультрафіолетове випромінювання, для виключення його впливу вимірювання озону проводиться на двох ділянках спектру, один з яких знаходиться в смузі поглинання озону, а інший на краю цієї смуги.

Вимірювання концентрації O_3 відбувається за допомогою озонозондів, які піднімаються на балонах або метеорологічних ракетах, а також дистанційно на ШСЗ за допомогою спектрофотометрів. Вимірювання ЗВО організоване на мережі озонотричних станцій, які за допомогою приладів - спектрофотометрів Добсона, Брюєра, фільтрових озонотричних – вимірюють ЗВО з поверхні Землі.

3.1 Організація і виробництво озонOMETричних спостережень

Для проведення озонOMETричних спостережень використовується метеорологічний майданчик. Бажано, щоб з усіх боків закритість горизонту на майданчику не перевищувала 100.

3.1.1 Для проведення спостережень озонOMETром М-124 необхідно мати:

- нерухомий наглядний столик з площею близько 1 м^2 і висотою близько 80 см;

- таблиці висот Сонця (бланк номограми Набокова, схилення сонця – додаток В);

- годинник;

- книгу спостережень за формою О-2.

3.1.2 Визначення загального змісту озону проводиться при висоті сонця більше 10° при прямому сонячному світлі або світлі від zenіту неба залежно від погодних умов в регламентовані терміни.

3.1.3 Визначення ЗВО по прямому сонячному світлу може проводитися не тільки при повній безхмарності, але і при несущільній хмарності через рівні розриви в хмарах, а також через легкі перисті хмари (Сі).

3.1.4 Визначення ЗВО по світлу від zenіту неба може проводитися при будь-якій хмарності.

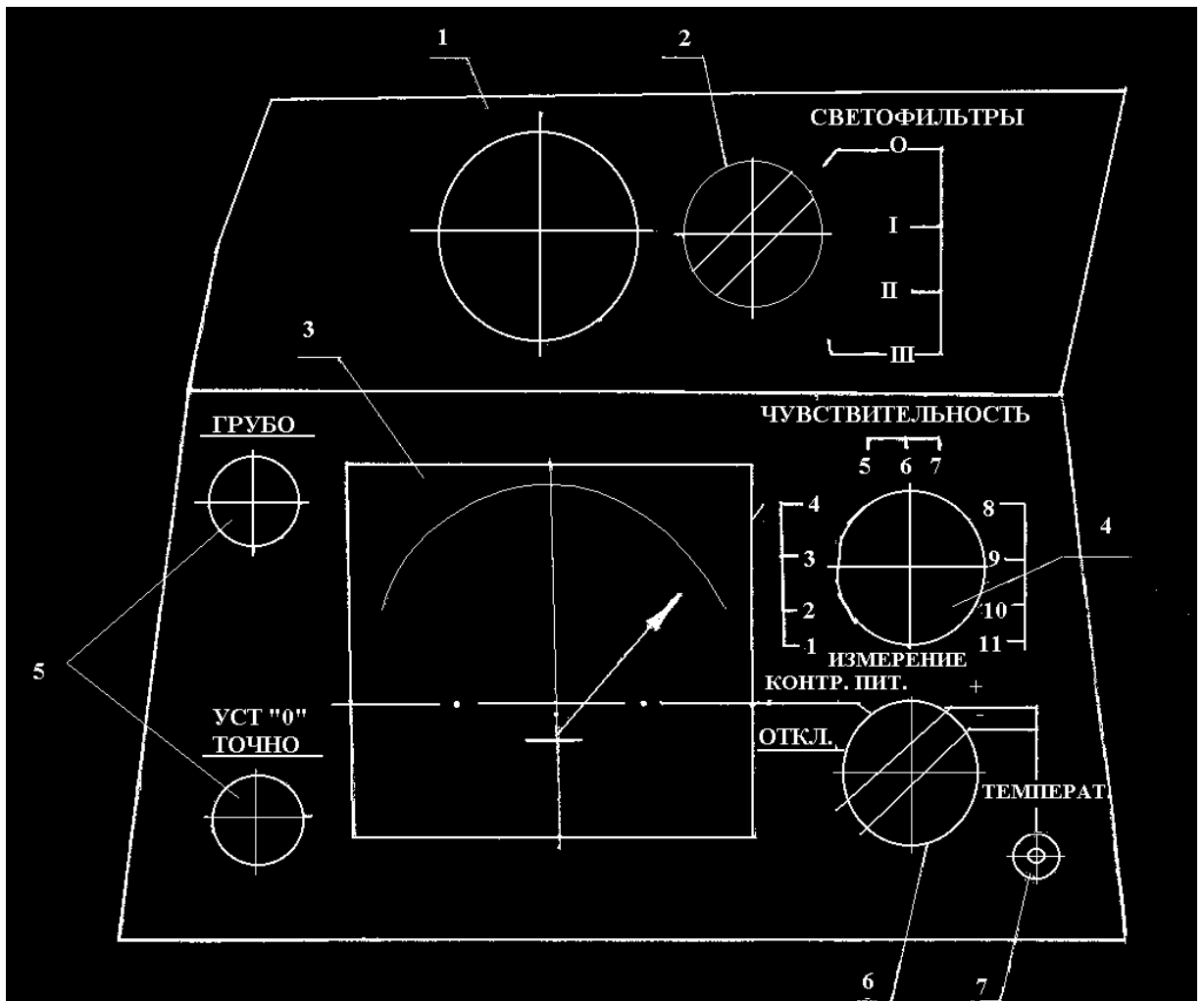
3.1.5 Визначення ЗВО не проводиться при всіх видах опадів, при утворенні сильного інею, паморозі і швидкості вітру більше 15 м/с.

3.1.6 При сильному тумані спостереження за ЗВО проводяться тільки по світлу від zenіту неба.

3.1.7 Додаткові спостереження. Окрім основних спостережень за ЗВО проводяться також спостереження за хмарністю, горизонтальною дальністю видимості і вітром.

Мета цих спостережень – уточнити оптичні умови у момент спостережень і відібрати найкращі озонOMETричні дані. Кращими озонOMETричними спостереженнями, з погляду метеорологічних умов, вважаються ті, які були проведені по прямому сонячному світлу при безхмарному небі, висоті Сонця в діапазоні 25-500, дальності видимості більше 20 км і відсутність вітру.

Лицьова панель озонOMETра М-124 представлена на рис. 3.1.



1. Оптичний вхід.
2. Перемикач світлофільтрів.
3. Мікроамперметр.
4. Перемикач діапазону чутливості.
5. Ручки для встановлення нуля мікроамперметра.
6. Перемикач режиму робіт.
7. Кнопка вимірювання температури.

Рис. 3.1 – Лицьова панель озонметра

3.1.8 По розрахованим для кожного озонметра номограмах визначається ЗВО залежно від величин:

$$\frac{I_1}{I_2}, K_T \text{ и } \Theta^0,$$

де I_1 – значення потоку, зміряне при першому світлофільтрі;
 I_2 – значення потоку, зміряне при другому світлофільтрі;

K_T – коефіцієнт, визначений при градуюванні озонметра;

Θ^0 - висота сонця.

Вимірювання загального змісту атмосферного озону на мережі станцій проводиться озонметром М-124 конструкції Головної Геофізичної обсерваторії ім. А.И. Воейкова (РФ).

Озонometr працює при температурі навколишнього повітря від -30,0 до +50.0 °С, відносної вогкості 98 %, атмосферному тиску 630 – 800мм рт.ст. за відсутності опадів (дощу, снігу, паморозі, інею).

3.2 Проведення озонметричних спостережень

3.2.1 Проведіть контроль батарейного живлення:

- поставте ручку перемикача режимів робіт в положення КОНТР. ЖИВ.;
- спостерігайте на мікроамперметрі відхилення стрілки, вона повинна відхилитися не менше ніж на 40 розподілів шкали;
- контроль живлення проводиться перед кожним визначенням ЗВО;
- після проведення контролю живлення перемикач режиму роботи поставити в положення ВИМІРЮВАННЯ.

3.2.2 Зняти захисний ковпачок з втулки оптичного входу.

3.2.3 Встановіть на місце ковпачки тубуса для роботи по прямому сонячному світлу (або по ділянці неба в зеніті).

3.2.4 Зняти захисний ковпачок з тубуса і встановити на тубусі відбивач кварцовою пластиною до сонця.

3.2.5 Провести наведення відбивача на сонці.

3.2.6 Провести установку нуля («0») фотоелектричної системи:

- поставте ручку СВІТЛОФІЛЬТРИ в положення «0»;
- виставити «0», ГРУБО і ТОЧНО вивести стрілку мікроамперметра в «0» положення шкали.

3.2.7 Зробити пробні відліки по першому і другому світлофільтрах на орієнтовно вибраній чутливості.

3.2.8 Вибрати робочу чутливість так, щоб відлік по одному з світлофільтрів був максимально можливим.

3.2.9 Провести установку «0» на робочій чутливості і виконати остаточне наведення відбивача на сонці.

3.2.10 Поставити ручку СВІТЛОФІЛЬТРИ в положення «I». Зніміть відліки по мікроамперметру з точністю до 0,5 розподіли.

3.2.11 Поставити ручку СВІТЛОФІЛЬТРИ в положення «II». Зняти відліки по мікроамперметру. Відліки по першому і другому світлофільтрах проводяться на одній і тій же чутливості.

3.2.12 Визначте температуру приладу:

- поставити ручку перемикача режиму роботи в положення «+»;
- натискувати кнопку ТЕМПЕР.;
- зняти свідчення по мікроамперметру. Один розподіл шкали відповідає 1°C . Температуру визначити з точністю до $0,5^{\circ}\text{C}$.

3.2.13 Встановити перемикач СВІТЛОФІЛЬТРИ в положення «0». Перевірити положення «0».

3.2.14 Ручку перемикача режиму роботи встановити в положення ВІДКЛ.

3.2.15 Визначення ЗВО по світлу від zenіту неба проводиться в тій же послідовності, що і по прямому сонячному світлу, але з іншим тубусом.

3.3 Обробка спостережень

Всі дані записуються в книгу спостережень О-2 і ведуться в наступній послідовності.

Визначення озону по прямому сонячному світлу:

3.3.1 Визначити висоту Сонця використовуючи номограму Набокова, використовуючи висоту Сонця та істинний час (додаток В).

3.3.2 Визначити коефіцієнт градування K_T за таблицею залежно від температури приладу (додаток В).

3.3.3 Обчислити відношення відліків I_1/I_2 , отриманих по першому і другому світлофільтрах і записати з трьома значущими цифрами.

3.3.4 Помножити відношення відліків I_1/I_2 на відповідний коефіцієнт градування K_T і записати з трьома значущими цифрами.

3.3.5 За допомогою озонової номограми за даними висоти Сонця і отриманому значенню $I_1/I_2 \cdot K_T$ визначити вміст озону. Для цього на номограмі знаходиться крапка з ординатою (вертикальна вісь), що дорівнює значенню $I_1/I_2 \cdot K_T$, і з абсцисою (горизонтальна вісь), що відповідає значенню висоти Сонця (Θ^0) у момент спостережень. Крива однакового вмісту озону, що проходить через отриману точку, відповідає значенню озону в атм-см. У випадку, якщо точка, яка спостерігається на номограмі лежить між кривими однакового вмісту озону, то за вміст озону приймається те значення, яке можна отримати за допомогою інтерполяції з точністю до $0,005$ атм-см.

Визначення озону по світлу від zenіту неба:

3.3.6 Визначити коефіцієнт затемнення K_3 залежно від виду хмарності (додаток В).

3.3.7 Помножити значення $I_1/I_2 \cdot K_T$ на коефіцієнт затемнення K_3 .

3.3.8 За допомогою озонової номограми за даними про висоту Сонця і за розрахованим значенням $I_1/I_2 \cdot K_T \cdot K_3$ визначити загальний вміст озону.

Приклад запису спостережень за ЗВО в книжці О-2 наведений в додатку В, таблиця В.5.

Контрольні запитання

1. За допомогою яких пристроїв здійснюється вимірювання концентрації O_3 ?
2. Як була проведена типізація вертикальних профілів концентрацій озону?
3. Що розуміють під озоною «діркою»?
4. Що вважається причиною утворення озонової «дірки»?
5. Назвіть речовини, які беруть участь в руйнуванні озону.
6. Від яких умов значною мірою залежить Антарктична озонова дірка?
7. Якими параметрами характеризуються великомасштабні озонові дірки?

Завдання з практичної частини

Завдання 1. Визначити основні фотохімічні реакції, які приводять до асоціації і дисоціації молекул озону.

Завдання 2. Проаналізувати поля середніх значень та середньоквадратичних відхилів ЗВО для центральних місяців сезонів (див. додаток В).

Завдання 3. Провести озонетричні спостереження на метеорологічному майданчику відповідно до інструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Школьний Є.П., Данова Т.Є., Галич Є.А. Фізичні процеси у верхній атмосфері Землі: Навчальний посібник. – Одеса , ТЕС, 2010. – 190 с.
2. Методические указания для проведения дежурств по курсу «Физические процессы верхней атмосферы». / Чугай В. Г., Данова Т.Е. – Одесса: ОГЭКУ, 2004. – 22 с.
3. Борисова С.В. Озон в атмосфері. – Київ, СМІЛ, 2001.
4. Школьний Є.П. Фізика атмосфери. – ОГМІ, 1997.
5. Зверева С.В. Задачник по общей метеорологии – Л.: Гидрометеоздат., 1980
6. Сборники материалов ракетного зондирования верхних слоев атмосферы.
7. Методические указания до організації і виробництву озонотричних спостережень з дисципліни „Фізичні процеси верхньої атмосфери (з основами озонотрії)” Школьний Є.П., Данова Т.Є. – Одеса, ОДЕКУ, 2005. – 17с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Основні значення параметрів верхньої атмосфери, розрахованих за допомогою моделі MSIS-83 для 12 год. місцевого часу, $\varphi = 45^0$ півн.ш, $F_{10,7} = 150$

Высота, км	T К	[He]	[O]	[O2]	[Ar]	[H]	[N2]
				Зима			
80	247,4	1,47E 09	2,750E 09	5,515E 13	2,246E 12	3,619E 07	1,808E 14
90	200,2	4,26E 08	2,225E 11	1,449E 13	6,242E 11	6,648E 07	5,093E 13
100	194,3	1,17E 08	4,377E 11	2,491E 12	1,007E 11	1,849E 07	1,009E 13
110	221,7	5,64E 07	2,272E 11	3,313E 11	1,197E 10	7,571E 06	1,852E 12
120	340,9	3,89E 07	8,451E 10	4,197E 10	1,340E 09	3,238E 06	3,617E 11
130	476,3	3,75E 07	4,130E 10	1,002E 10	2,666E 08	1,566E 06	1,188E 11
140	581,2	3,69E 07	2,503E 10	3,923E 09	7,818E 07	8,618E 05	5,352E 10
150	662,4	3,30E 07	1,699E 10	1,906E 09	2,956E 07	5,288E 05	2,828E 10
160	725,3	3,06E 07	1,234E 10	1,036E 09	1,330E 07	3,597E 05	1,642E 10
170	774,1	2,70E 07	9,365E 09	6,019E 08	6,675E 06	2,683E 05	1,013E 10
180	812,0	2,55E 07	7,311E 09	3,659E 08	3,585E 06	2,160E 05	6,512E 09
190	841,4	2,30E 07	5,817E 09	2,296E 08	2,010E 06	1,845E 05	4,311E 09
200	864,3	2,23E 07	4,689E 09	1,474E 08	1,161E 06	1,647E 05	2,915E 09
210	882,1	2,08E 07	3,813E 09	9,632E 07	6,852E 05	1,517E 05	2,003E 09
220	895,9	1,98E 07	3,121E 09	6,376E 07	4,107E 05	1,428E 05	1,393E 09
230	906,7	1,82E 07	2,566E 09	4,264E 07	2,491E 05	1,365E 05	9,784E 08
240	915,2	1,75E 07	2,116E 09	2,875E 07	1,525E 05	1,318E 05	6,920E 08
250	921,7	1,66E 07	1,750E 09	1,950E 07	9,406E 04	1,283E 05	4,923E 08
260	926,9	1,64E 07	1,449E 09	1,330E 07	5,837E 04	1,254E 05	3,519E 08
270	930,9	1,57E 07	1,202E 09	9,107E 06	3,640E 04	1,230E 05	2,525E 08
280	934,0	1,46E 07	9,988E 08	6,258E 06	2,279E 04	1,209E 05	1,818E 08
290	936,5	1,39E 07	8,306E 08	4,313E 06	1,432E 04	1,191E 05	1,312E 08
300	938,4	1,36E 07	6,913E 08	2,980E 06	9,028E 03	1,174E 05	9,493E 07
310	939,9	1,26E 07	5,797E 08	2,064E 06	5,705E 03	1,157E 05	6,881E 07
320	941,1	1,10E 07	4,826E 08	1,432E 06	3,614E 03	1,143E 05	4,997E 07
330	942,0	1,17E 07	3,354E 08	6,930E 05	1,459E 03	1,116E 05	2,647E 07
350	943,3	1,08E 07	2,800E 08	4,832E 05	9,299E 02	1,103E 05	1,931E 07
360	943,8	9,99E 06	2,339E 08	3,374E 05	5,936E 02	1,091E 05	1,410E 07
370	944,1	9,43E 06	1,955E 08	2,359E 05	3,795E 02	1,078E 05	1,031E 07
380	944,4	9,08E 06	1,636E 08	1,651E 05	2,430E 02	1,066E 05	7,544E 06
390	944,6	8,63E 06	1,396E 08	1,157E 05	1,559E 02	1,054E 05	5,527E 06
400	944,8	8,27E 06	1,147E 08	8,120E 04	1,001E 02	1,042E 05	4,054E 06
80	180,7	3,19E 09	5,479E 09	1,239E 14	5,497E 12	7,470E 07	3,987E 14
90	166,2	5,26E 08	2,470E 11	1,854E 13	8,149E 11	7,611E 07	6,507E 13
100	194,3	1,04E 08	3,333E 11	2,192E 12	9,281E 10	1,546E 07	9,057E 12
110	241,0	3,86E 07	1,657E 11	2,822E 11	1,180E 10	5,944E 06	1,674E 12
120	357,4	1,83E 07	6,430E 10	3,623E 10	1,623E 09	2,526E 06	3,634E 11
130	504,4	9,70E 06	3,068E 10	8,710E 09	3,727E 08	1,177E 06	1,229E 11
140	621,0	6,45E 06	1,808E 10	9,459E 09	1,246E 08	6,243E 05	5,667E 10
150	721,3	5,13E 06	1,195E 10	1,725E 09	5,216E 07	3,708E 05	3,067E 10
160	800,5	4,42E 06	8,487E 09	9,672E 08	2,531E 07	2,455E 05	1,828E 10
170	865,1	4,00E 06	6,324E 09	5,822E 08	1,351E 07	1,792E 05	1,161E 10
180	917,7	3,60E 06	4,874E 09	3,678E 08	7,682E 06	1,419E 05	7,709E 09
190	960,7	3,36E 06	3,850E 09	2,405E 08	4,562E 06	1,197E 05	5,285E 09
200	995,7	3,15E 06	3,097E 09	1,615E 08	2,795E 06	1,059E 05	3,712E 09
210	1024,3	2,97E 06	2,525E 09	1,106E 08	1,753E 06	9,685E 04	2,655E 09
220	1047,7	2,83E 06	2,082E 09	7,692E 07	1,120E 06	9,072E 04	1,927E 09
230	1066,9	2,68E 06	1,731E 09	5,416E 07	7,257E 05	8,461E 04	1,414E 09
240	1082,5	2,58E 06	1,449E 09	3,851E 07	4,757E 05	8,326E 04	1,047E 09
250	1095,3	2,41E 06	1,220E 09	2,716E 07	3,147E 05	8,087E 04	7,814E 08

260	1105,8	2,33E 06	1,031E 09	1,992E 07	2,098E 05	7,898E 04	5,865E 08
270	1114,5	2,23E 06	8,747E 08	1,445E 07	1,407E 05	7,744E 04	4,425E 08
280	1121,5	2,11E 06	1,053E 07	9,491E 04	7,614E 04	7,614E 04	3,352E 08
290	1127,3	2,04E 06	6,350E 08	7,705E 06	6,430E 04	7,501E 04	2,548E 08
300	1132,1	1,92E 06	5,429E 08	5,65,6E 06	4,373E 04	7,400E 04	1,943E 08
310	1136,0	1,85E 06	4,650E 08	4,163E 06	2,984E 04	7,294E 04	1,485E 08
320	1139,2	1,83E 06	3,989E 08	3,072E 06	2,042E 04	7,213E 04	1,138E 08
330	1141,9	1,74E 06	3,426E 08	2,272E 06	1,402E 04	7,136E 04	8,738E 07
340	1144,0	1,68E 06	2,946E 08	1,683E 06	9,639E 03	7,062E 04	6,720E 07
350	1145,8	1,65E 06	2,536E 08	1,249E 06	6,643E 03	6,990E 04	5,176E 07
360	1147,3	1,56E 06	2,185E 08	9,288E 05	4,587E 03	6,921E 04	3,992E 07
370	1148,5	1,49E 06	1,885E 08	6,914E 05	3,173E 03	6,853E 04	3,084E 07
380	1149,5	1,44E 06	1,626E 08	5,155E 05	2,198E 03	6,787E 04	2,384E 07
390	1150,4	1,32E 06	1,405E 08	3,848E 05	1,526E 03	6,722E 04	1,846E 07
400	1151,0	1,32E 06	1,214E 08	2,875E 05	1,060E 03	6,659E 04	1,430E 07
80	193,3	3,49E 09	6,039E 09	1,349E 14	5,981E 12	6,660E 07	4,531E 14
90	165,6	6,42E 08	3,096E 11	2,283E 13	1,004E 12	7,006E 07	8,052E 13
100	191,9	1,23E 08	4,108E 11	2,585E 12	1,112E 11	1,249E 07	1,100E 13
110	248,0	4,69E 07	1,981E 11	2,996E 11	1,355E 10	4,099E 06	1,973E 12
120	383,1	2,30E 07	7,586E 10	3,415E 10	1,848E 09	1,472E 06	4,295E 11
130	565,6	1,31E 07	3,627E 10	7,871E 09	4,303E 08	5,799E 05	1,493E 11
140	715,7	9,39E 06	2,177E 10	3,219E 09	1,487E 08	2,654E 05	7,193E 10
150	840,5	7,64E 06	1,472E 10	1,690E 09	6,532E 07	1,391E 05	4,083E 10
160	944,5	6,68E 06	1,071E 10	1,002E 09	3,369E 07	8,331E 04	2,555E 10
170	1031,1	6,03E 06	8,190E 09	6,386E 08	1,926E 07	5,636E 04	1,704E 10
180	1103,2	5,55E 06	6,481E 09	4,272E 08	1,176E 07	4,221E 04	1,188E 10
190	1163,5	5,19E 06	5,258E 09	2,960E 08	7,513E 06	3,423E 04	8,557E 09
200	1213,6	4,83E 06	4,346E 09	2,106E 08	4,955E 06	2,945E 04	6,316E 09
210	1255,5	4,57E 06	3,643E 09	1,528E 08	3,348E 06	2,644E 04	4,751E 09
220	1290,5	4,38E 06	3,088E 09	1,127E 08	2,304E 06	2,446E 04	3,626E 09
230	1319,8	4,17E 06	2,641E 09	8,419E 07	1,609E 06	2,310E 04	2,801E 09
240	1344,5	3,99E 06	2,275E 09	6,353E 07	1,137E 06	2,213E 04	2,184E 09
250	1364,7	3,78E 06	1,970E 09	4,834E 07	8,110E 05	2,142E 04	1,716E 09
260	1381,8	3,61E 06	1,714E 09	3,704E 07	5,832E 05	2,088E 04	1,357E 09
270	1396,2	3,57E 06	1,498E 09	2,854E 07	4,222E 05	2,045E 04	1,079E 09
280	1408,2	3,32E 06	1,313E 09	2,210E 07	3,074E 05	2,010E 04	8,615E 08
290	1418,3	3,26E 06	1,154E 09	1,718E 07	2,248E 05	1,980E 04	6,906E 08
300	1426,7	3,17E 06	1,016E 09	1,341E 07	1,651E 05	1,955E 04	5,554E 08
310	1433,8	3,04E 06	8,973E 08	1,049E 07	1,217E 05	1,927E 04	4,479E 08
320	1439,8	2,96E 06	7,932E 08	8,233E 06	8,996E 04	1,908E 04	3,620E 08
330	1444,8	2,84E 06	7,021E 08	6,475E 06	6,668E 04	1,890E 04	2,933E 08
340	1449,0	2,76E 06	6,224E 08	5,103E 06	4,955E 04	1,873E 04	2,380E 08
350	1452,5	2,71E 06	5,523E 08	4,028E 06	3,689E 04	1,856E 04	1,934E 08
360	1455,5	2,60E 06	4,906E 08	3,185E 06	2,752E 04	1,841E 04	1,575E 08
370	1458,0	2,53E 06	4,362E 08	2,522E 06	2,057E 04	1,862E 04	1,284E 08
380	1460,1	2,49E 06	3,881E 08	2,000E 06	1,539E 04	1,811E 04	1,047E 08
390	1461,9	2,37E 06	3,456E 08	1,588E 06	1,154E 04	1,797E 04	8,558E 07
400	1463,4	2,30E 06	3,079E 08	1,262E 06	8,661E 03	1,783E 04	6,998E 07
80	324,4	1,12E 09	2,145E 09	4,259E 13	1,870E 12	2,353E 07	1,408E 14
90	209,8	4,81E 08	2,576E 11	1,653E 13	7,124E 11	5,783E 07	5,851E 13
100	193,1	1,43E 08	5,478E 11	3,006E 12	1,236E 11	1,527E 07	1,252E 13
110	223,3	6,38E 07	2,790E 11	3,623E 11	1,411E 10	5,413E 06	2,249E 12
120	368,6	3,81E 07	9,953E 10	3,869E 10	1,519E 09	1,913E 06	4,274E 11
130	536,7	3,02E 07	4,883E 10	9,109E 09	3,094E 08	7,923E 05	1,451E 11
140	669,8	2,75E 07	3,022E 10	3,704E 09	9,483E 07	3,775E 05	6,877E 10
150	775,4	2,49E 07	2,105E 10	1,911E 09	3,809E 07	2,051E 05	3,840E 10
160	859,1	2,18E 07	1,574E 10	1,108E 09	1,843E 07	1,266E 05	2,359E 10
170	925,6	1,92E 07	1,230E 10	6,884E 08	1,003E 07	8,771E 04	1,541E 10
180	978,3	1,88E 07	9,904E 09	4,477E 08	5,855E 06	6,693E 04	1,050E 10
190	1020,3	1,73E 07	8,134E 09	3,007E 08	3,578E 06	5,506E 04	7,372E 09

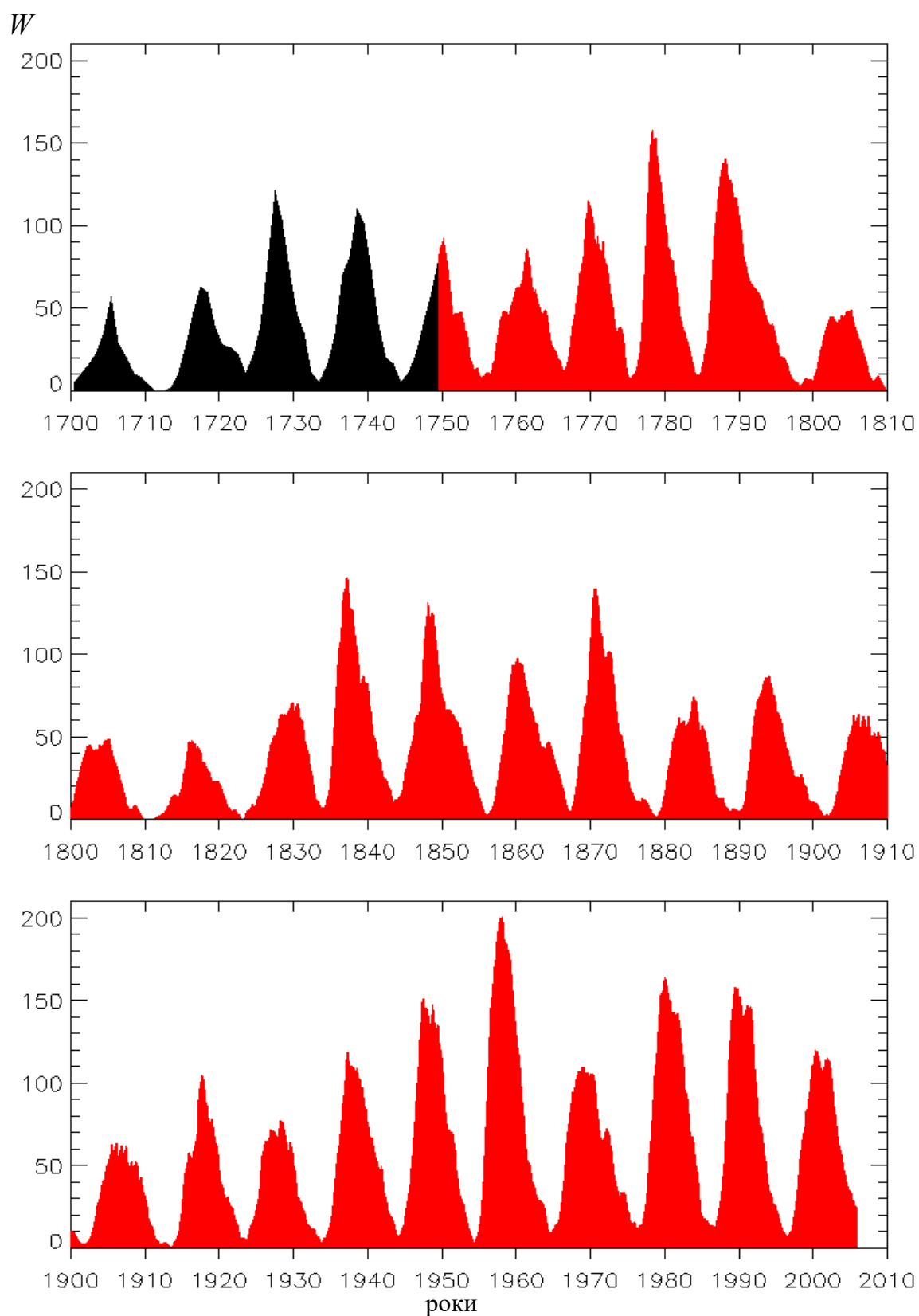
200	1053,7	1,60E 07	6,773E 09	2,068E 08	2,255E 06	4,788E 04	5,290E 09
210	1080,2	1,51E 07	5,693E 09	1,448E 08	1,452E 06	4,334E 04	3,860E 09
220	1101,4	1,43E 07	4,818E 09	1,028E 08	9,504E 05	4,034E 04	2,852E 09
230	1118,3	1,34E 07	4,097E 09	7,374E 07	6,299E 05	3,828E 04	2,129E 09
240	1131,7	1,32E 07	3,497E 09	5,335E 07	4,215E 05	3,681E 04	1,601E 09
250	1142,4	1,25E 07	2,994E 09	3,886E 07	2,843E 05	3,573E 04	1,212E 09
260	1151,0	1,23E 07	2,568E 09	2,845E 07	1,930E 05	3,489E 04	9,216E 08
270	1157,9	1,15E 07	2,207E 09	2,093E 07	1,317E 05	3,422E 04	7,039E 08
280	1163,4	1,19E 07	1,899E 09	1,545E 07	9,021E 04	3,366E 04	5,394E 08
290	1167,7	1,06E 07	1,636E 09	1,145E 07	6,204E 04	3,319E 04	4,146E 08
300	1171,3	1,06E 07	1,411E 09	8,499E 06	4,280E 04	3,276E 04	3,194E 08
310	1174,1	9,85E 06	1,227E 09	6,325E 06	2,960E 04	3,230E 04	2,466E 08
320	1176,3	9,50E 06	1,059E 09	4,717E 06	2,052E 04	3,197E 04	1,907E 08
330	1178,1	9,13E 06	9,142E 08	3,524E 06	1,426E 04	3,166E 04	1,477E 08
340	1179,6	8,81E 06	7,903E 08	2,636E 06	9,926E 03	3,135E 04	1,146E 08
350	1180,8	8,54E 06	6,837E 08	1,975E 06	6,921E 03	3,105E 04	8,899E 07
360	1181,7	8,21E 06	5,920E 08	1,482E 06	4,833E 03	3,076E 04	6,920E 07
370	1182,5	7,90E 06	5,129E 08	1,113E 06	3,380E 03	3,047E 04	5,387E 07
380	1183,1	7,61E 06	4,446E 08	8,371E 05	2,368E 03	3,019E 04	4,198E 07
390	1183,6	7,30E 06	3,857E 08	6,302E 05	1,660E 03	2,992E 04	3,274E 07
400	1183,9	7,16E 06	3,348E 08	4,749E 05	1,166E 03	2,965E 04	2,556E 07

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Інтенсивності сонячного випромінювання ($I \cdot 10^7$ Дж/см \cdot с) в іонізуючому континуумі для рівнів сонячної активності $F_{10,7}$, що характеризуються потоком випромінювання на довжині хвилі 10,7 нм.

$I = 10,7$			
λ нм	70	160	260
0—15	0,203126	0,36436	0,480218
15—20	2,71558	4,51429	5,57931
20—25	2,46015	4,97912	7,1501
23,6	0,574712	0,908025	1,0692
28,4	0,4693	3,24881	6,39804
25—30	2,42974	7,53424	13,2267
20,4	8,44652	13,5483	16,1924
30—35	1,43207	4,29105	7,44332
36,8	0,856985	1,32507	1,52618
35—40	0,545282	1,55065	2,63807
40—45	0,519025	1,06571	1,54442
46,5	0,385421	0,618145	0,738703
46—50	0,784635	1,78294	2,73967
50—55	0,688431	1,24624	1,65431
55,4	0,869241	1,29343	1,4288
58,4	1,82816	3,36291	4,51903
55—60	0,497374	0,852985	1,08353
61	0,904642	1,81015	2,58031
63	2,02168	3,26676	3,93216
60—65	0,362972	0,573237	0,674699
65—70	0,264812	0,452541	0,573114
70,3	0,456084	0,662454	0,711518
70—75	0,204666	0,374934	0,502264
76,5	0,236446	0,382815	0,461654
77	0,3394	0,77297	1,18917
78,9	0,903922	1,33709	1,4671
75—80	0,967878	1,83667	2,52504
80—85	2,24481	3,89191	4,98957
85—90	5,4171	9,75626	12,8993
90—95	4,27201	7,74483	10,2924
97,7	5,85315	8,94497	10,1759
95—100	1,84767	3,22847	4,16597
102,6	5,28017	9,55547	12,6218
103,2	2,72505	4,76963	6,16329
100—105	2,72505	4,76963	6,16329

Таблиця Б.2 – Середньомісячні значення чисел Вольфа (W)



ДОДАТОК В

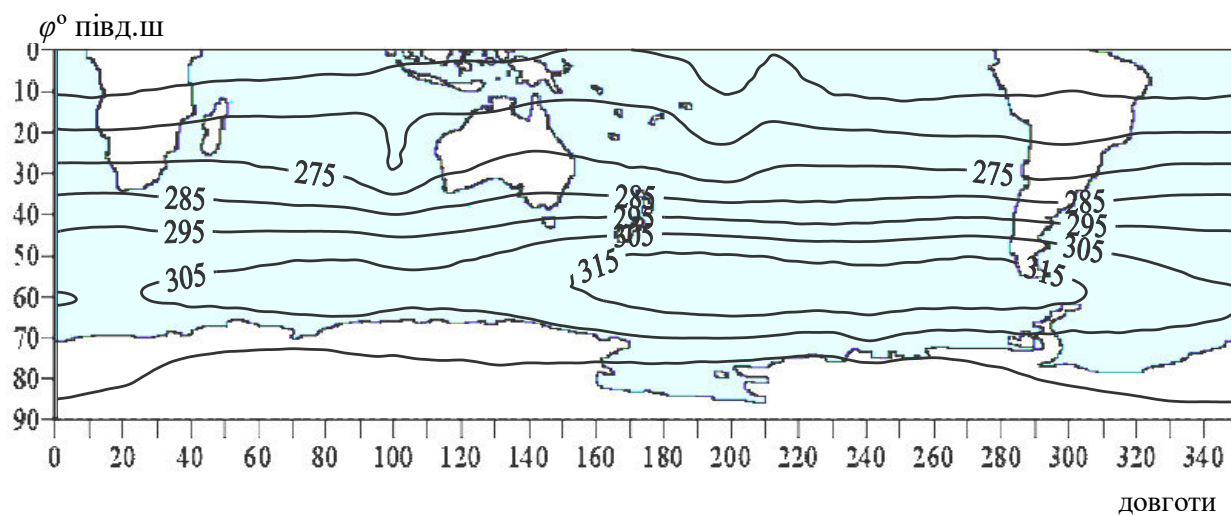


Рис. В.1 – Середньомісячне поле ЗВО у січні

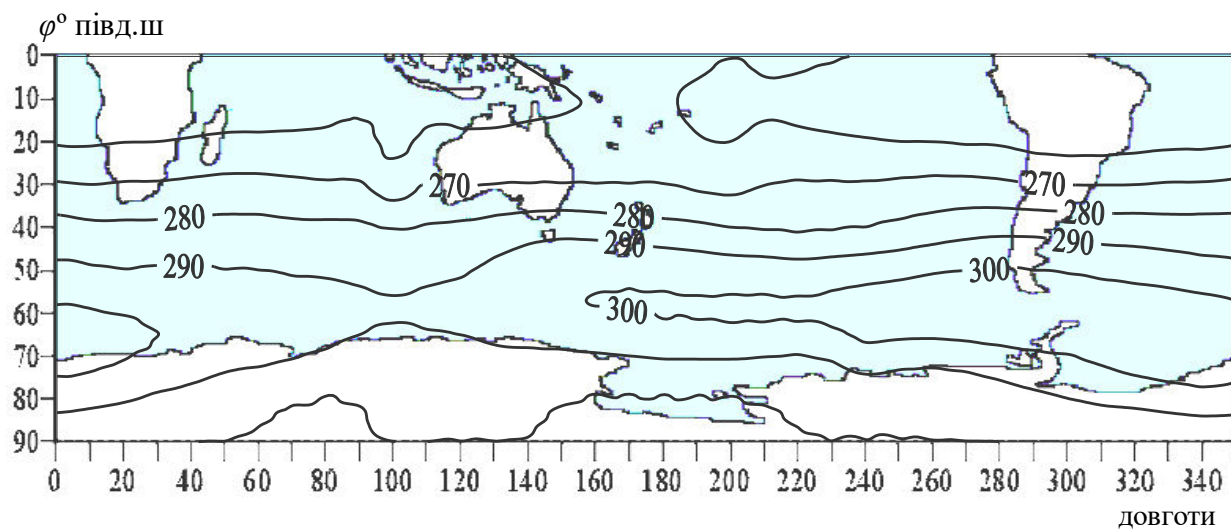


Рис. В.2 – Середньомісячне поле ЗВО у квітні

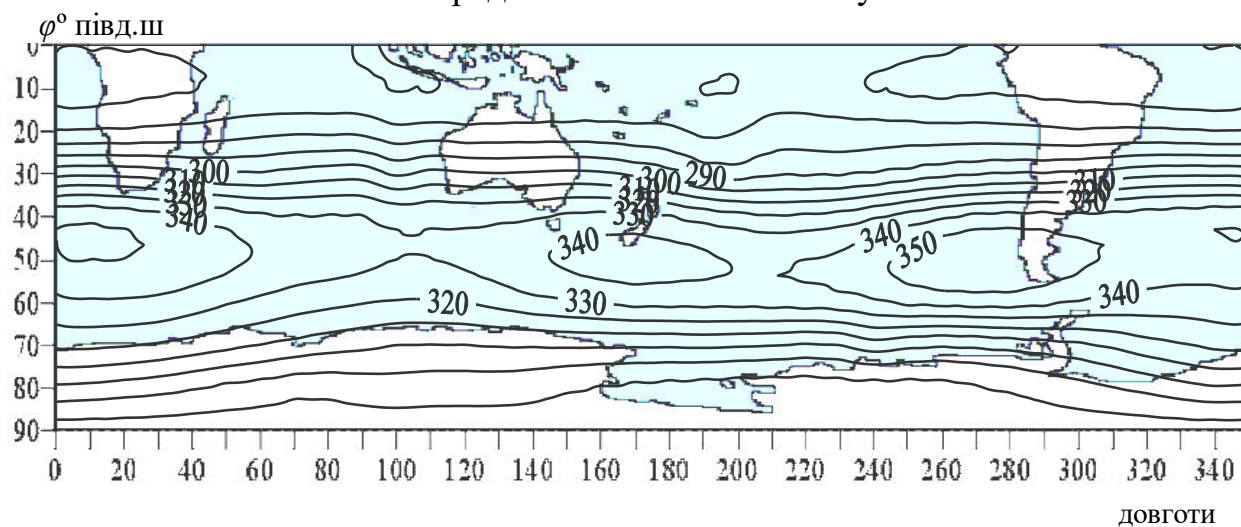


Рис. В.3 – Середньомісячне поле ЗВО у липні

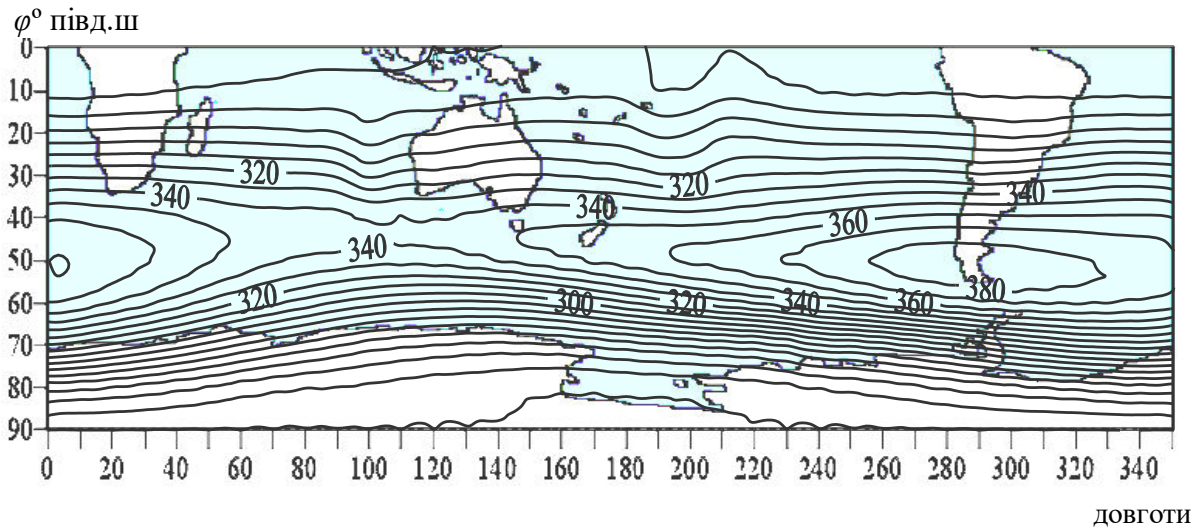


Рис. В.4 – Середньомісячне поле ЗВО у жовтні

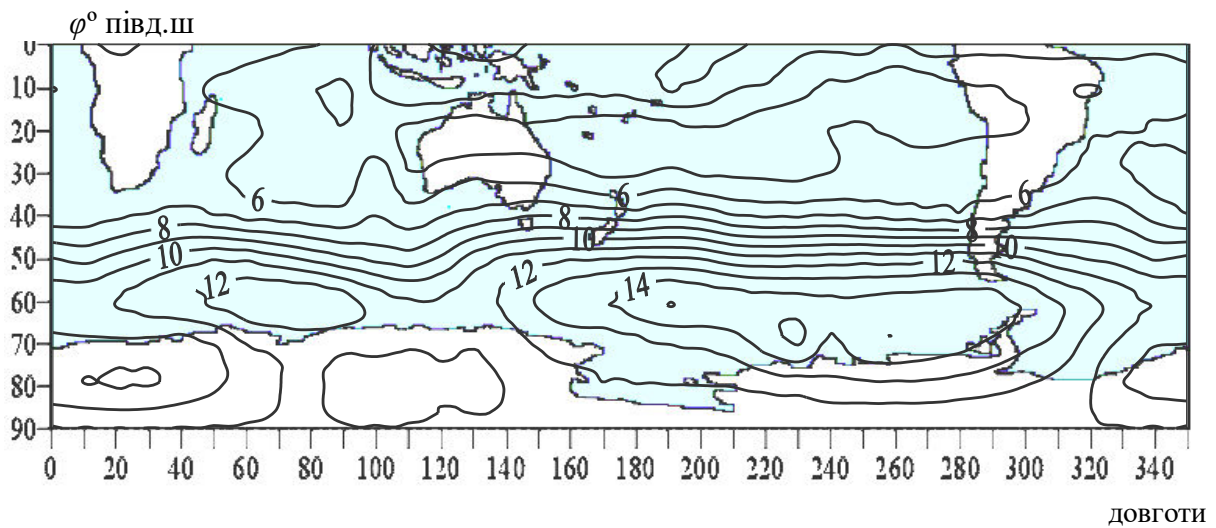


Рис. В.5 – Поле середніх квадратичних відхилів ЗВО у січні

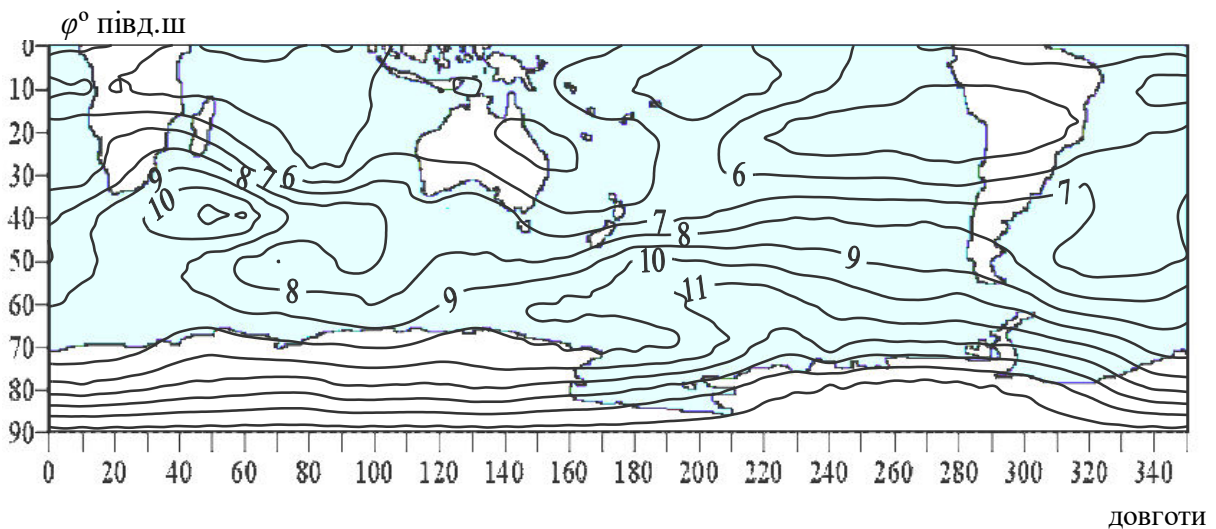


Рис. В.6 – Поле середніх квадратичних відхилів ЗВО у квітні

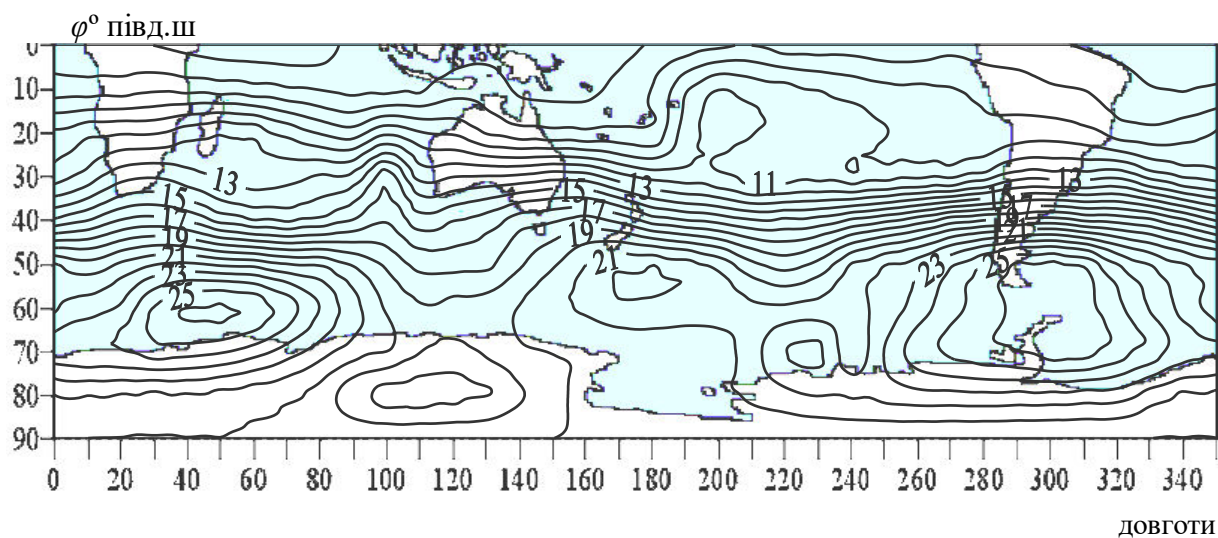


Рис. В.7 – Поле середніх квадратичних відхилів ЗВО у липні

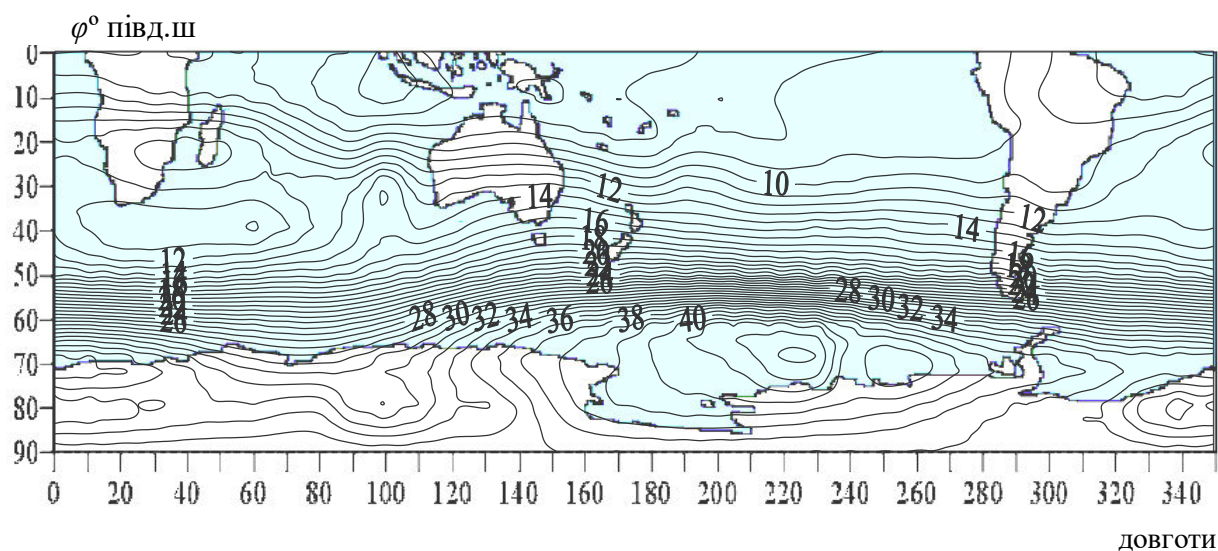


Рис. В.8 – Поле середніх квадратичних відхилів ЗВО у жовтні

Таблиця В.1 – Схилення сонця δ_{\odot}

Рік		Місяць											
Простий	Високосний	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		Числа											
	1	-23,0	-17,4										
1	2	-23,0	-17,2	-7,7	+4,4	+15,0	+22,0	+23,1	+18,2	+8,4	-3,1	-14,3	-21,8
2	3	-22,9	-16,9	-7,3	+4,8	+15,3	+22,2	+23,1	+17,9	+8,0	-3,5	-14,7	-21,9
3	4	-22,9	-16,6	-6,9	+5,2	+15,6	+22,3	+23,0	+17,6	+7,7	-3,8	-15,0	-22,1
4	5	-22,8	-16,4	-6,6	+5,6	+15,9	+22,4	+22,9	+17,3	+7,3	-4,2	-15,3	-22,2
5	6	-22,6	-16,0	-6,2	+6,0	+16,2	+22,5	+22,8	+17,1	+6,9	-4,6	-15,6	-22,3
6	7	-22,5	-15,7	-5,8	+6,3	+16,5	+22,6	+22,7	+16,8	+6,6	-5,0	-15,9	-22,5
7	8	-22,4	-15,4	-5,4	+6,7	+16,7	+22,7	+22,6	+16,5	+6,2	-5,4	-16,2	-22,6
8	9	-22,3	-15,1	-5,0	+7,1	+17,0	+22,8	+22,5	+16,2	+5,8	-5,8	-16,5	-22,7
9	10	-22,1	-14,8	-4,6	+7,5	+17,3	+22,9	+22,4	+16,0	+5,7	-6,2	-16,8	-22,8
10	11	-22,0	-14,4	-4,2	+7,8	+17,5	+23,0	+22,3	+15,7	+5,0	-6,5	-17,1	-22,9
11	12	-21,9	-14,1	-3,8	+8,2	+17,8	+23,1	+22,2	+15,4	+4,7	-6,9	-17,3	-23,0
12	13	-21,7	-13,8	-3,4	+8,6	+18,1	+23,1	+22,0	+15,1	+4,3	-7,3	-17,6	-23,1
13	14	-21,5	-13,5	-3,0	+8,9	+18,3	+23,2	+21,9	+14,8	+3,9	-7,7	-17,9	-23,1
14	15	-21,4	-13,1	-2,6	+9,3	+18,6	+23,3	+21,7	+14,5	+3,5	-8,0	-18,2	-23,2
15	16	-21,2	-12,8	-2,2	+9,7	+18,8	+23,3	+21,6	+14,2	+3,1	-8,4	-18,4	-23,3
16	17	-21,0	-12,4	-1,9	+10,0	+19,0	+23,3	+21,4	+13,8	+2,8	-8,8	-18,7	-23,3
17	18	-20,8	-21,1	-1,5	+10,4	+19,3	+23,4	+21,3	+13,5	+2,4	-9,1	-18,9	-23,4
18	19	-20,6	-11,7	-1,1	+10,7	+19,5	+23,4	+21,1	+13,2	+2,0	-9,5	-19,2	-23,4
19	20	-20,4	-11,4	-0,7	+11,1	+19,7	+23,4	+20,9	+12,9	+1,6	-9,9	-19,4	-23,4
20	21	-20,2	-11,0	-0,3	+11,4	+19,9	+23,4	+20,7	+12,6	+1,2	-10,2	-19,6	-23,4
21	22	-20,0	-10,7	+0,1	+11,8	+20,1	+23,4	+20,5	+12,2	+0,8	-10,6	-19,9	-23,4
22	23	-19,7	-10,9	+0,5	+12,1	+20,3	+23,4	+20,3	+11,9	+0,4	-11,0	-20,1	-23,4
23	24	-19,5	-9,9	+0,9	+12,4	+20,5	+23,4	+20,1	+11,6	+0,1	-11,3	-20,3	-23,4
24	25	-19,3	-9,6	+1,3	+12,8	+20,7	+23,4	+19,9	+11,8	-0,3	-11,7	-20,3	-23,4
25	26	-19,0	-9,2	+1,7	+13,1	+20,9	+23,4	+19,7	+10,9	-0,7	-12,0	-20,7	-23,4
26	27	-18,8	-8,8	+2,1	+13,4	+21,1	+23,4	+19,5	+10,5	-1,8	-12,3	-20,9	-23,3
27	28	-18,5	-8,4	+2,5	+13,7	+21,3	+23,3	+19,3	+10,2	-1,5	-12,7	-21,1	-23,3
28	29	-18,5	-8,1	+2,9	+14,1	+21,4	+23,3	+19,1	+9,8	-1,9	-13,0	-21,3	-23,2
29	30	-18,0		+3,3	+14,4	+21,6	+23,3	+18,8	+9,5	-2,3	-13,4	-21,4	-23,2
30	31	-17,7		+3,7	+14,7	+21,7	+23,2	+18,6	+9,1	-2,7	-13,7	-21,4	-23,1
31		-17,5		+4,0		-21,9		-18,4	-8,8		-14,0		-23,1

Таблиця В.2 – Поправка τ_{\odot} до середнього сонячного часу (в хвиликах)

Рік		Місяць											
Числа		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	1	-3	-13										
1	2	-3	-14	-13	-4	+3	+2	-4	-6	0	+10	+16	+11
2	3	-4	-14	-12	-4	+3	+2	-4	-6	0	+10	+16	+11
3	4	-4	-14	-12	-4	+3	+2	-4	-6	0	+11	+16	+10
4	5	-5	-14	-12	-3	+3	+2	-4	-6	+1	+11	+16	+10
5	6	-5	-14	-12	-3	+3	+2	-4	-6	+1	+11	+16	+10
6	7	-6	-14	-12	-3	+3	+2	-4	-6	+1	+12	+16	+9
7	8	-6	-14	-11	-2	+3	+2	-5	-6	+2	+12	+16	+9
8	9	-6	-14	-11	-2	+4	+1	-5	-6	+2	+12	+16	+8
9	10	-7	-14	-11	-2	+4	+1	-5	-6	+2	+12	+16	+8
10	11	-7	-14	-11	-2	+4	+1	-5	-5	+3	+13	+16	+8
11	12	-8	-14	-10	-1	+4	+1	-5	-5	+3	+13	+16	+7
12	13	-8	-14	-10	-1	+4	0	-6	-5	+3	+13	+16	+7
13	14	-8	-14	-10	-1	+4	0	-6	-5	+4	+14	+16	+6
14	15	-9	-14	-10	-1	+4	0	-6	-5	+4	+14	+16	+6
15	16	-9	-14	-9	0	+4	0	-6	-5	+5	+14	+16	+5
16	17	-10	-14	-9	0	+4	0	-6	-4	+5	+14	+15	+5
17	18	-10	-14	-9	0	+4	0	-6	-4	+5	+14	+15	+4
18	19	-10	-14	-8	0	+4	-1	-6	-4	+6	+15	+15	+4
19	20	-11	-14	-8	+1	+4	-1	-6	-4	+6	+15	+15	+3
20	21	-11	-14	-8	+1	+4	-1	-6	-4	+6	+15	+14	+3
21	22	-11	-14	-8	+1	+4	-1	-6	-3	+7	+15	+14	+2
22	23	-12	-14	-7	+1	+4	-2	-6	-3	+7	+15	+14	+2
23	24	-12	-14	-7	+2	+3	-2	-6	-3	+7	+16	+14	+1
24	25	-12	-14	-7	+2	+3	-2	-6	-3	+8	+16	+14	+1
25	26	-12	-13	-6	+2	+3	-2	-6	-2	+8	+16	+13	0
26	27	-12	-13	-6	+2	+3	-2	-6	-2	+8	+16	+13	0
27	28	-13	-13	-6	+2	+3	-3	-6	-2	+9	+16	+13	-1
28	29	-13	-13	-5	+2	+3	-3	-6	-1	+9	+16	+12	-1
29	30	-13		-5	+3	+3	-3	-6	-1	+9	+16	+12	-2
30	31	-13		-5	+3	+3	-3	-6	-1	+10	+16	+12	-2
31		-13		-4		+3		-6	-1		+16		-3

Таблиця В.3 – Температурний коефіцієнт K_T озонметра М-124 в залежності від температури T° приладу

T°	K_T	T°	K_T	T°	K_T	T°	K_T	T°	K_T
-45	1,31	-26	1,12	-7	1,12	12	1,04	31	0,95
-44	1,30	-25	1,21	-6	1,12	13	1,03	32	0,95
-43	1,30	-24	1,20	-5	1,11	14	1,03	33	0,94
-42	1,29	-23	1,20	-4	1,11	15	1,02	34	0,94
-41	1,29	-22	1,19	-3	1,10	16	1,02	35	0,94
-40	1,28	-21	1,19	-2	1,10	17	1,01	36	0,93
-39	1,28	-20	1,18	-1	1,10	18	1,01	37	0,93
-38	1,27	-19	1,18	0	1,09	19	1,00	38	0,92
-37	1,27	-18	1,17	1	1,09	20	1,00	39	0,92
-36	1,26	-17	1,17	2	1,08	21	0,99	40	0,92
-35	1,26	-16	1,17	3	1,08	22	0,99	41	0,91
-34	1,25	-15	1,16	4	1,07	23	0,98	42	0,91
-33	1,25	-14	1,16	5	1,07	24	0,98	43	0,90
-32	1,24	-13	1,15	6	1,06	25	0,98	44	0,90
-31	1,24	-12	1,15	7	1,06	26	0,97	45	0,90
-30	1,23	-11	1,14	8	1,05	27	0,97	46	0,89
-29	1,23	-10	1,14	9	1,05	28	0,96	47	0,89
-28	1,22	-9	1,13	10	1,04	29	0,96	48	0,88
-27	1,22	-8	1,13	11	1,04	30	0,96	49	0,88

Таблиця В.4 – Значення коефіцієнту K_3 , що до зенітних спостережень

№ п/п	Колір неба	Кількість хмарності	Форма хмарності	Коефіцієнт K_3
1	Блакитний	10/0	Ясний зеніт	1,00
	Блакитний	10/0	Тонкі Сі	1,00
	Блакитний	10/0	Сліди Ас	1,00
2	Білуватий	10/0	Тонкі Сі	1,02
	Білуватий	10/0	Сліди Ас	1,02
3	Білуватий	10/0	Сі sp	1,05
	Білуватий	10/0	Ас trans	1,05
	Білуватий	10/0	Ас	1,05
4	Сірий	10/0	Ас trans	1,07
	Сірий	10/0	Ас trans	1,07
	Сірий	10/0	St fr	1,07
	Сірий	10/0	Cu fr	1,07
5	Сірий	10/0	Ас	1,10
	Сірий	10/0	Ас op	1,10
	Сірий	10/10	Sc	1,10
	Сірий	10/10	St	1,10
	Сірий	10/10	Ns	1,10
	Сірий	10/10	Cu fr	1,10
	Сірий	10/10	≡	1,10
6	Темно-сірий	10/10	Sc op	1,12
	Темно-сірий	10/10	St	1,12
	Темно-сірий	10/10	Cu med	1,12
	Темно-сірий	10/10	Cu cong	1,12
	Темно-сірий	10/10	Cb	1,12
7	Темно-сірий	10/10	Дуже густа багатошарова хмарність	1,15
	Темно-сірий	10/10	Cb	1,15

Таблиця В.5 – Книжка запису озонметричних спостережень (О-2)

Дата спостереження

№ п/п	Час	Висота Сонця град	Контрольний відлік	Відлік по світлофільтрам чутливості			Температура приладу	K _T	Відношення I ₁ /I ₂	Приведене відношення	Хмарність	K ₃	Загальний вміст озону	Вітер	Примітки (відліки по 4-8 світлофільтрам чутливості)				
				I ₁	I ₂	I ₃													
1	11 ⁵⁵	50,3	55 ³	68,5 ³	90,0 ³		$\frac{25}{1,08}$	0,762	0,822	0,315	Ясно		$\frac{20}{Ю}$						
2	13 ⁰⁰	49,1	55 ³	64,1 ²	53,3 ²		$\frac{23}{1,09}$	1,202	0,661	0,341	Середня		$\frac{20}{Ю}$						
3	14 ⁰⁰	46,0	55 ³	60,0 ²	48,0 ²		$\frac{20}{1,10}$	1,250	0,742	0,350	Нижня		$\frac{20}{Ю}$						

Таблиця В.6 – Номограми (значення $I_1/I_2 \cdot K_T$) для визначення загального змісту атмосферного озону

Ω , атм-см	Θ°													
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
0,160	0,210	0,400	0,600	0,800	0,990	1,150	1,270	1,365	1,470	1,545	1,615	1,680	1,720	1,800
0,200	0,190	0,350	0,550	0,780	0,910	1,090	1,200	1,300	1,395	1,480	1,520	1,600	1,660	1,690
0,240	0,170	0,310	0,500	0,715	0,880	1,050	1,115	1,225	1,310	1,400	1,480	1,852	1,570	1,600
0,280	0,160	0,285	0,485	0,695	0,815	0,970	1,085	1,190	1,275	1,315	1,402	1,475	1,480	1,500
0,320	0,153	0,270	0,410	0,610	0,785	0,910	1,020	1,120	1,205	1,290	1,350	1,401	1,450	1,480
0,360	0,145	0,260	0,400	0,600	0,750	0,890	0,995	1,095	1,165	1,215	1,300	1,325	1,390	1,410
0,400	0,130	0,250	0,385	0,580	0,710	0,815	0,940	1,045	1,150	1,195	1,250	1,300	1,350	1,385
0,440	0,120	0,240	0,370	0,530	0,700	0,805	0,905	1,000	1,090	1,145	1,205	1,260	1,290	1,315
0,480	0,110	0,230	0,350	0,510	0,630	0,785	0,885	0,980	1,035	1,105	1,180	1,205	1,260	1,290
0,520	0,100	0,220	0,340	0,500	0,615	0,740	0,850	0,920	1,005	1,085	1,120	1,185	1,200	1,220
0,560	0,090	0,210	0,330	0,490	0,605	0,720	0,820	0,900	0,990	1,050	1,100	1,150	1,170	1,190
0,600	0,080	0,200	0,310	0,475	0,585	0,700	0,800	0,870	0,960	1,010	1,070	1,120	1,100	1,120

Рис. В 9 - Номограма Набокова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичних занять

з дисципліни
ФІЗИКА АТМОСФЕРИ (ФПВА)

Укладач: к.г.н., доц. Галич Є.А.

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат
Тираж

Папір
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15
