

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення
спеціальності

від « 31 » серпня 2020 року
протокол № 1

Голова групи Жми

УЗГОДЖЕНО

Директор Гідрометеорологічного
інституту

Овчарук В.А.

Начальник кафедри військової
підготовки
полковник Грушевський О.М.

СИЛЛАБУС

навчальної дисципліни
Динамічна метеорологія

(назва навчальної дисципліни)

103 Науки про Землю

(шифр та назва спеціальності)

Гідрометеорологія

Організація метеорологічного та геофізичного забезпечення Збройних Сил України

(назва освітньої програми)

бакалавр

(рівень вищої освіти)

денна

(форма навчання)

III

(рік навчання)

VI

(семестр навчання)

4/120

(кількість кредитів ЄКТС/годин)

залік

(форма контролю)

Метеорології та кліматології

(кафедра)

Одеса, 2020 р.

1 ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета	засвоєння студентами теоретичними знаннями та практичними навичками, необхідних для коректного врахування астрономічних факторів при розв'язанні різних гідрометеорологічних задач.
Компетентність	Здатність описувати та аналізувати фізичні механізми формування атмосферних процесів та основних закономірностей динаміки повітряних течій у різних частинах атмосфери
Результат навчання	Показати навички роботи з рівняннями гідротермодинаміки для опису основних діючих сил та механізмів, які впливають на формування та розвиток атмосферних течій
Базові знання	<ul style="list-style-type: none"> ▪ кінематичні характеристики метеорологічних полів та їх фізичний сенс; ▪ фізико-математичний апарат, який використовується для опису процесів, що відбуваються в атмосфері; ▪ методи спрощення системи рівнянь гідротермодинаміки в залежності від масштабу процесів, до яких застосовується ця система; ▪ найпростіші рухи в атмосфері без сили тертя; ▪ агеострофіний рух; ▪ вертикальна структура систем вітру; ▪ основні хвильові рухи в атмосфері і основні рівняння теорії хвиль; ▪ теорія довгих хвиль; ▪ елементи теорії турбулентності і математичний апарат, який використовується для її опису.
Базові вміння	<ul style="list-style-type: none"> ▪ виконувати аналіз течії в атмосфері, застосовуючи основні принципи кінематики рідини; ▪ виділяти типові течії в атмосфері і, виходячи з кількісних характеристик цих течій, робити висновки щодо їх подальшого розвитку; ▪ записувати і аналізувати систему рівнянь гідротермодинаміки, використовуючи необхідні фізико-математичні методи, для різних масштабів атмосферних процесів; ▪ застосовувати масштабний аналіз для визначення домінуючих процесів, що діють в атмосфері, і виводити рівняння, що описують усталені потоки (включаючи геострофічні і градієнтні потоки), гідростатичну рівновагу і рівняння термічного вітру; ▪ застосовувати ізобаро-ізостеричний аналіз для дослідження циркуляційних систем в атмосфері; ▪ застосовувати теорію хвильових рухів для виявлення хвиль різних амплітуд, робити якісний і кількісний аналіз їх руху і подальшого розвитку; ▪ застосовувати елементи теорії турбулентності, розпізнавати ламінарний та турбулентний режими в атмосфері, та робити висновки щодо подальшого розвитку цих течій.

Базові навички	виконувати обчислення гідродинамічних характеристик і на основі їх аналізу робити висновки щодо еволюції процесів різних масштабів в атмосфері
Пов'язані ссиллабуси	
Попередня дисципліна	
Наступна дисципліна	
Кількість годин	Лекції: 30 годин практичні заняття: 30 годин лабораторні заняття: семінарські заняття: самостійна робота студентів: 60 годин.

2 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Лекційні модулі

Код	Назва теми	Кількість годин	
		ауд	СРС
1	2	3	4
ЗМ Л1	<i>Тема 1. Методи математичного опису стану атмосфери. Основні рівняння гідродинаміки атмосфери</i>		
	Предмет і завдання динамічної метеорології.	0,5	
	Система рівнянь гідротермодинаміки для ламінарного і турбулентного середовища.	3	1,5
	Гradient поля скалярної величини. Повна та частинна часова похідна та її компоненти.	0,5	0,5
	Диференціальні характеристики поля швидкості і їх фізичний сенс.	0,5	0,5
	Рівняння вихору. Його фізичний аналіз.	1	1
	<i>Тема 2. Динаміка вільної атмосфери</i>		
	Спрощення системи гідротермодинаміки для течій у вільній атмосфері. Поняття gradientного вітру.	1,5	0,5
	Геострофічна течія і її властивості.	1	1
	Gradientний вітер при кругових ізобарах	1	0,5
	Зміна геострофічного вітру з висотою. Термічний вітер.	2	3
	Зв'язок геострофічного вітру з реальним	1	2
	Геострофічна адвекція температури	1	0,5
	Ізобаро-ізостеричні соленоїди	1	0,5
ЗМ Л2	<i>Тема 1. Теорія збурень атмосферних рухів.</i>		
	Застосування теорії малих коливань до атмосферних течій.	0,5	
	Диференціальні рівняння малих збурень.	2	1
	Хвильові рухи атмосфері. Їх класифікації.	1	0,5
	Лінійна модель одновимірних гравітаційних хвиль на поверхні розділу.	2	1
Лінійні моделі хвиль Росбі.	2	2	

1	2	3	4
	<i>Тема 2. Динаміка граничного шару атмосфери.</i>		
	Фізичний механізм формування граничного шару атмосфери. Опис структури приземного шару. Опис структури вільного граничного шару.	1	0,5
	Методи опису динаміки граничного шару атмосфери.	3	1,5
	Правила осереднення. Методика осереднення рівнянь гідротермодинаміки. Осереднені рівняння гідротермодинаміки, їх фізичний аналіз.	1	1
	Замкнення системи рівнянь гідротермодинаміки. «К-теорія».	1	1
	Рівняння балансу кінетичної енергії.	1,5	1
	Спіраль Екмана.	1	4
	Залік		5
	Разом	30	30

Консультації:

п'ятниця 16:00 – 17:00 ауд. 302

Хоменко Інна Анатоліївна _____

2.2 Практичні модулі

Код	Назва теми	Денна форма	
		ауд	СРС
ЗМ П1	Гradient поля скалярної величини. Основні диференціальні характеристики поля швидкості	4	4
	Індивідуальна та локальна похідні.	4	4
	Геострофічний вітер.	4	4
	Термічний вітер.	4	4
	Гradientний вітер при кругових ізобарах	3	3
	Зв'язок геострофічного вітру з реальним	2	2
	Геострофічна адвекція температури	1	1
ЗМ-П2	Хвилі Росбі.	3	2
	Критерії розвитку турбулентності в атмосфері. Розрахунок числа Річардсона і Рейнольдса.	3	4
	Зміна швидкості і напрямку вітру з висотою у вільному граничному шарі. Спіраль Екмана.	2	2
	Разом	30	30

Консультації:

середа 16:00 – 17:00 ауд. 302

Хоменко Інна Анатоліївна, _____

2.3 Самостійна робота студента та контрольні заходи

Код модуля	Денна форма			
	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин СРС	Строк проведення	
ЗМ Л1	підготовка до лекційних занять	усне опитування	9	1-5
	підготовка до тестової контрольної роботи	тестова контрольна робота (обов'язковий)	2,5	6
ЗМ Л2	підготовка до лекційних занять	усне опитування	11	6-13
	підготовка до тестової контрольної роботи	тестова контрольна робота (обов'язковий)	2,5	14
ЗМ-П1	підготовка до практичних занять	усне опитування	11	2-6
	підготовка домашнього завдання	домашнє завдання (обов'язковий)	11	2-6
ЗМ-П2	підготовка до практичних занять	усне опитування	4	7-14
	підготовка домашнього завдання	домашнє завдання (обов'язковий)	4	7-14
Залік			5	
Разом			60	

Максимальний бал, що може одержати студент за семестр складає **65+75=140 балів**, з них на *теоретичну частину* ЗМ-Л1 відведено 65 балів (ЗМ-Л1 – 25, ЗМ-Л2 – 30 балів, УО – 10 балів), на *практичну частину* ЗМ-П – 75 балів (ЗМ-П1 – 40, ЗМ-П2 – 25 балів, УО – 10 балів).

1. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-Л1 передбачає усне опитування під час лекційних занять та виконання модульної контрольної роботи №1, що передбачена в лекційному курсі. Контрольна робота містить 25 питань, максимально можлива кількість балів, яку можна отримати за виконання контрольної роботи, становить 25 балів. За відповіді на усних опитуваннях впродовж лекційних занять можна отримати додаткові бали в кількості 5. Обов'язковим контрольним заходом є тестова контрольна робота.

2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-П1 передбачає усне опитування під час практичних занять та виконання домашнього завдання №1. Домашнє завдання №1 складається з 8 задач, кожна з яких оцінюється в 5 балів, з таких тем: “Диференціальні характеристики метеорологічних полів”, “Зв'язок індивідуальної і локальної похідних”, “Гradientний і термічний вітри”, “Відхилення вітру від геострофічного”, “Геострофічна адвекція температури”. Максимально можлива кількість балів, яку студент отримує за виконання домашнього завдання становить 40 балів. За правильні відповіді під час усного опитування нараховуються додаткові бали. Обов'язковим контрольним заходом є домашнє завдання.

3. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-Л2 передбачає усне опитування під час лекційних занять та виконання модульної контрольної роботи №2, що передбачена в лекційному курсі. Тестова контрольна робота № 2 містить 30 питань, які оцінюються в 30 балів. За відповіді на усних опитуваннях впродовж лекційних занять можна отримати додаткові бали в кількості 5. Обов'язковим контрольним заходом є тестова контрольна робота.

4. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-П2 передбачає усне опитування під час практичних занять та виконання домашнього завдання №2. Домашнє завдання №2 передбачає виконання 1 задачі з теми “Хвильові процеси в атмосфері”, яка оцінюється в 5 балів і двох розрахункових робіт з теми “Визначення критеріїв турбулентності. Число Рейнольдса і число Річардсона” (оцінюється в 12 балів) й “Зміна напрямку і швидкості вітру з висотою у вільному граничному шарі атмосфери” (оцінюється в 8 балів). Загалом максимально можлива кількість балів, яка може бути нарахована за виконання домашнього завдання, становить 25 балів. За правильні відповіді під час усного опитування нараховуються додаткові бали. Обов'язковим контрольним заходом є домашнє завдання.

Підсумкова оцінка в балах складається з суми балів за кожен змістовний модуль, який виконано своєчасно. Якщо студент своєчасно не виконав лекційний або практичний модуль, то максимальна сума балів зменшується на 10%.

Сума балів, яку отримав студент за всіма змістовними модулями навчальної дисципліни, формує інтегральну оцінку поточного контролю студента з навчальної дисципліни. Вона є підставою для допуску студента до семестрового заліку. Умовою допуску до заліку є отримання студентом не менше, ніж не менше 28 балів з теоретичної частини та не менше 38 балів з практичної частини.

Залікова контрольна робота містить 30 питань, кожне з яких оцінюється в 1 бал, тобто максимально можлива кількість балів, яку може отримати студент під час заліку – 30 балів. В заліковій контрольній роботі 15 питань відносяться до тем першого лекційного модуля і 15 питань – до тем другого лекційного модуля.

Для студента денної форми навчання на останній день семестру не має на початок заліково-екзаменаційної сесії заборгованості:

а) та має по дисципліні «Динамічна метеорологія» на останній день семестру інтегральну суму балів поточного контролю достатню (60% та більше) для отримання позитивної оцінки, та не менше 50% від максимально можливої суми балів за залікову контрольну роботу, – отримує якісну оцінку у заліково-екзаменаційній відомості згідно п. 2.5 «Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів» (якщо дисципліна завершується заліком);

б) має на останній день семестру інтегральну суму балів, недостатню для отримання позитивної оцінки (менше 60%) та/або менше 50% від максимально можливої суми балів за залікову контрольну роботу – складає письмовий залік по тестових завданнях, що розроблені на кафедрі за процедурою, яка визначена

у п. 2.15-2.19 «Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів».

Інтегральна оцінка (В) для заліку по дисципліні «Динамічна метеорологія» розраховується за формулою

$$B = 0,75 \times OЗ + 0,25 \times OЗКР$$

де OЗ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) за змістовними модулями, OЗКР – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) залікової контрольної роботи.

3 РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

3.1 Модуль ЗМ-Л1

3.1.1 Повчання.

При вивченні матеріалу ЗМ-Л1 слід звернути увагу на:

- характеристики стану атмосфери, за допомогою яких можна описати динаміку та термодинаміку атмосфери ([3], стор.5, **сторінки тут і далі вказуються за списком літератури, рекомендованої для вивчення дисципліни**);
- зв'язок між загальнофізичними законами збереження (маси, імпульсу або кількості руху, енергії) з рівняннями гідротермодинаміки атмосфери (нерозривності – [3], с. 180–181, руху – [3], стор. 182–190 та припливу тепла – [3], стор. 191-192);
- перелік сил, що діють в атмосфері та приводять до руху атмосферне повітря ([3], стор. 183 – аналіз рівняння 7.21, [3], стор. 185–186 – аналіз рівняння 7.30, [3], стор. 190 – аналіз рівняння 7.46);
- чинники, які призводять до зміни T і Θ у фіксованій точці простору ([4], стор. 28-31);
- зовнішні припливи тепла ([4], стор. 30);
- запис рівняння неперервності для стисливої, нестисливої рідини, а також для стаціонарного стану рідини ([4], стор. 31-32);
- різницю між відносним і абсолютним вихором ([5], стор. 81-82, 84);
- чинники, які призводять до зміни відносного вихору у фіксованій точці простору ([5], стор. 89-98);
- прогностичний сенс рівняння вихору ([5], стор. 99-102);
- визначення „вільної атмосфери” та її головні особливості ([3], § 7.2.1, стор. 195–197);
- визначення геострофічного вітру та його властивості ([3], стор. 201-202). Зверніть увагу на визначення напрямку руху в залежності від напрямку горизонтального градієнту руху (див. рис.7.1 – [3], стор. 202)!
- визначення термічного вітру та його зв'язок з горизонтальним градієнтом температури ([3], стор. 203–205). *При цьому необхідно звернути увагу на те, що термічний вітер – це вектор зміни геострофічного вітру з висотою!*
- визначення градієнтного вітру при кругових ізобарах та його властивості. Зверніть увагу на визначення напрямку руху в циклонах та антициклонах (див. рис. 7.3 – [3], стор. 206)!
- студент повинен вільно визначати напрям руху повітря у вільній атмосфері при заданому баричному полі ([1], стор. 238-240);
- чинники, які обумовлюють негеострофічність вітру ([1], стор. 242-245);
- відхилення реального вітру від геострофічного ([1], стор. 242-245);
- роль агеострофічних відхилень в еволюції вертикальних рухів ([1], стор. 246-247);
- геострофічна адвекція температури ([5], стор. 94-96).

3.1.2 Питання для самоперевірки

1. Перелічити характеристики, за допомогою яких здійснюється опис стану рідини або газу ([3], стор. 177).
2. Пояснити, за рахунок яких фізичних механізмів змінюється з часом густина рідини у відповідності з рівнянням нерозривності. ([3], стор. 180-182).
3. За допомогою яких рівнянь здійснюється математичний вираз загальнофізичних законів збереження ([4], стор. 17) стосовно до опису атмосферних процесів, конкретно:
 - закону збереження кількості руху ([3], стор. 182, [4], стор. 24-27),
 - закону збереження маси ([3], стор. 180, [4], стор. 31-32),
 - закону збереження енергії ([4], стор. 27-31).
4. Пояснити у відповідності з принципом Даламбера, який фізичний сенс членів, розміщених у лівій і правій частині будь-якого рівняння руху ([3], стор. 186).
5. Дайте визначення інерційної системи відліку ([3], стор. 183).
6. Які сили приводять до зміни швидкості рідини або газу відповідно до рівняння Ейлера для нев'язких рідин в інерційній системі координат? ([3], стор. 177)
7. Які додаткові прискорення отримують частинки повітря в неінерційній системі відліку? ([3], стор. 177)
8. Які додаткові члени з'являються в неінерційній системі відліку при описі прискорення вектору $F^{\vec{}}$? ([3], стор. 177)
9. Які сили приводять до зміни швидкості рідини або газу відповідно до рівняння Ейлера для обертової системи відліку ([3], стор. 186)?
10. Для опису в'язкої рідини використовуються рівняння руху у формі Нав'є - Стокса чи Ейлера? Поясніть свою відповідь. ([3], стор. 186, 190-191).
11. Які фізичні фактори приводять до зміни імпульсу елементарного об'єму в'язкої рідини або газу? ([3], стор. 190-191).
12. За рахунок яких фізичних факторів відбувається зміна імпульсу елементарного об'єму для нев'язкої рідини або газу? ([3], стор. 186).
13. До появи якого додаткового фізичного механізму зміни імпульсу елементарного об'єму рідини приводить наявність ефекту в'язкості? ([3], стор. 188-190).
14. З якою характеристикою поля швидкості пов'язаний тензор дотичних напружень і чому? ([3], стор. 189).
15. Які властивості повинна мати рідина, щоб можна було використовувати рівняння руху у формі Ейлера або Нав'є- Стокса? ([3], стор. 186, 190-191).
16. Які фізичні механізми приводять до зміни швидкості рідини або газу відповідно до рівнянь руху у формі Нав'є - Стокса? ([3], стор. 190-191).
17. Перелічити сили, що діють на об'єм рухомого повітря у в'язкій атмосфері в неінерційній системі відліку. ([3], стор. 190-191).
18. Який основний закон збереження виражає рівняння припливу тепла? ([4], стор. 27-31).
19. Які фізичні фактори приводять до зміни внутрішньої енергії рухомого об'єму рідини або газу? ([4], стор. 27-31).
20. Чим розрізняються величини: гравітаційна сила притягання Землі і сила тяжіння? ([3], стор. 186).
21. Які фізичні фактори приводять до зміни потенційної температури θ об'єму сухого повітря, що рухається? ([4], стор. 30-31).
22. Розпишіть у декартовій системі координат член $v \frac{\partial v_i}{\partial x_\alpha}$ для $i = 2$. ([3], стор. 187).
23. Запишіть член $\frac{\partial v_\alpha}{\partial x_\alpha}$ у векторному вигляді з урахуванням того, що $\vec{V} = \{v_1, v_2, v_3\}$. ([3], стор. 187).
24. Розпишіть у декартовій системі координат величину $\nabla \cdot \vec{f}$. ([3], стор. 178-179).

25. Розпишіть у декартовій системі координат член $v \frac{\partial \rho}{\partial x_\alpha}$. ([3], стор. 187).
26. Розпишіть у декартовій системі координат величину $\nabla \varphi$, де φ - скаляр. ([3], стор. 178-179).
27. Розпишіть у декартовій системі координат член $v \frac{\partial \theta}{\partial x_\alpha}$. ([3], стор. 187).
28. Розпишіть у декартовій системі координат величину $\vec{V} \cdot \text{grad} f$, де f – скаляр. ([3], стор. 178-179).
29. Розпишіть у декартовій системі координат величину $\text{div} \vec{V}$. ([3], стор. 179).
30. Що таке "вільна атмосфера" і рухи яких просторових масштабів у ній переважають? ([3], стор. 195).
31. Перелічити особливості динаміки великомасштабних атмосферних рухів. ([3], стор. 195-197).
32. Які сили врівноважуються у вертикальній і в горизонтальній площинах для великомасштабних атмосферних потоків? ([3], стор. 196, рівняння 7.60).
33. Яке співвідношення між горизонтальним і вертикальним просторовими масштабами великомасштабних атмосферних процесів і які наслідки з цього? ([3], стор. 195-197).
34. Які висновки щодо внеску різних членів рівнянь руху впливають з їхнього аналізу за допомогою теорії подібності? ([3], стор. 199-200).
35. Фізичний сенс числа Кібеля, його приблизне значення для великомасштабних атмосферних рухів і наслідки з цього. ([3], стор. 199).
36. Перелічити головні члени рівнянь руху та члени цих рівнянь, що мають порядок числа Кібеля. ([3], стор. 199).
37. Перелічити властивості геострофічного вітру. ([3], стор. 202).
38. Довести, що вектори швидкості геострофічного вітру і горизонтального градієнта тиску взаємно перпендикулярні. ([3], стор. 202, рівняння 7.72).
39. Від якої характеристики термічного стану великомасштабних атмосферних процесів залежить зміна геострофічного вітру з висотою і чому? ([3], стор. 203-206).
40. Дайте визначення термічного вітру і перелічіть його властивості. ([3], стор. 205).
41. Що таке "висота обертання вітру" і при якому співвідношенні векторів горизонтальних градієнтів тиску і температури вона спостерігається? Побудувати діаграму. ([1], стор. 238-240).
42. Як поводиться з висотою геострофічний вітер при горизонтальних градієнтах тиску і температури, спрямованих у одну сторону? Побудувати діаграму. ([1], стор. 238-240).
43. Довести, що вектори швидкості термічного вітру і горизонтального градієнта температури взаємно перпендикулярні. ([3], стор. 206).
44. Як поводиться з висотою геострофічний вітер при горизонтальних градієнтах тиску і температури, спрямованих у протилежні сторони? ([1], стор. 238-240, [2], стор. 40-41).
45. Як поводиться з висотою геострофічний вітер при адвекції тепла, холоду? Побудувати відповідні діаграми. ([2], стор. 41-43).
46. Які сили врівноважуються у вільній атмосфері при чисто кругових ізобарах? Побудувати діаграму сил для циклону й антициклону. ([3], стор. 206).
47. У циклоні або антициклоні швидкість градієнтного вітру більша за інших рівних умов і чому? ([3], стор. 208, [1], стор. 230).
48. У циклоні або антициклоні є обмеження на значення горизонтального градієнта тиску і чому? ([3], стор. 208, [1], стор. 230).
49. Перелічіть чинники, які призводять до відхилення реального вітру від геострофічного. ([1], стор. 242-245).
50. Зобразіть графічно поле ізобар, в якому можуть розвиватись вертикальні течії (висхідні і низхідні). ([1], стор. 247).
51. Зобразіть термобаричне поле, в якому геострофічна адвекція температури буде відсутня, буде максимальна. ([2], стор. 44).

3.2 Модуль ЗМ-Л2

3.2.1 Повчання

При вивченні матеріалу ЗМ-Л2 слід звернути увагу на:

- чинники, які обумовлюють формування хвильових рухів в атмосфері ([4], стор. 6-11, 34-41);
- фізичні механізми поширення акустичних, гравітаційних хвиль і хвиль Росбі ([4], стор. 62-64, 75-77, 86-87);
- метеорологічну значущість акустичних, гравітаційних хвиль і хвиль Росбі ([4], стор.);
- короткі, довгі й стаціонарні хвилі Росбі і їх значущість при формуванні баричного поля біля поверхні землі ([4], стор. 28-31);
- визначення „ламінарного” та „турбулентного” рухів, їх головні особливості ([3], стор. 210);
- необхідність осереднення рівнянь гідротермодинаміки для опису турбулентних течій та основні положення методики осереднення цих рівнянь ([3], стор. 212-213);
- фізичний сенс додаткових членів в рівняннях руху ([3], стор. 221) та притоку тепла ([3], стор. 223), які з’являються в рівняннях гідротермодинаміки за рахунок операції осереднення;
- основні положення „К-теорії” замкнення осереднених рівнянь гідротермодинаміки ([3], стор. 224-227 – аналогія між молекулярним та турбулентним переносом та „градієнтна гіпотеза”);
- перелік фізичних чинників, які впливають на інтенсивність турбулентних рухів (див. аналіз рівняння балансу кінетичної енергії турбулентності [3], стор. 229–230);
- вплив стратифікації атмосфери на інтенсивність турбулентних рухів та фізичний сенс числа Річардсона та його значення при різних типах стратифікації у граничному шарі атмосфери ([3], стор. 232).
- визначення „граничного шару атмосфери” та фізичний механізм його формування (§ 7.4.1, стор. 236 в [3]);
- визначення внутрішніх та зовнішніх параметрів граничного шару (§ 7.4.1, стор. 238-239 в [3]).
- Зверніть увагу на визначення висоти граничного шару, як рівня, на якому турбулентні потоки дорівнюють нулю, а вітер – дорівнює вітру у вільній атмосфері([3], стор. 238)!
- внутрішня структура граничного шару атмосфери (приземний шар та вільний граничний шар) – стор. 239 та 241-242 в [3];
- Зверніть увагу на розподіл у вільному граничному шарі сил, що діють на частку повітря, що рухається (рис. 7.7 на стор. 243 в [3])!
- особливості приземного шару (вертикальний розподіл швидкості вітру та турбулентних потоків) – стор. 239-241 в [3];
- Зверніть увагу на розподіл у приземному шарі швидкості вітру та коефіцієнту турбулентності при нейтральній стратифікації (стор. 241 в [3])!

- вертикальний розподіл швидкості вітру у граничному шарі атмосфери, що впливає з моделі Екмана, та вплив стратифікації та цей розподіл (стор. 246-247 в [3]).
- Зверніть увагу на годограф швидкості вітру за моделлю Екмана (рис. 7.8 на стор. 248 в [3])!
- вертикальний розподіл коефіцієнту турбулентності у граничному шарі атмосфери та вплив стратифікації та цей розподіл ([3], стор. 249-250).
- Зверніть увагу на рис. 7.9 на стор. 250 в [3], що представляє профіль коефіцієнту турбулентності у граничному шарі атмосфери!

3.2.2 Питання для самоперевірки

1. Основні параметри хвильових рухів та їх математичний запис ([4], стор. 11-17)
2. Класифікація хвильових атмосферних рухів ([4], стор. 34-41)
3. Кінематична класифікація хвильових рухів ([4], стор. 34-35)
4. Гідродинамічна класифікація атмосферних хвиль ([4], стор. 35-41)
5. Лінійна теорія атмосферних хвиль. Суть методу лінеаризації рівнянь гідротермодинаміки ([4], стор. 42-45, 52-53)
6. Лінійна модель одновимірних акустичних хвиль. Аналіз розв'язку для фазової швидкості ([4], стор. 61-62)
7. Лінійна модель одновимірних гравітаційних хвиль на поверхні розділу ([4], стор. 74-75)
8. Лінійна модель одновимірних хвиль Росбі ([4], стор. 83-86)
9. Метеорологічна значущість акустичних хвиль та способи їх фільтрації ([4], стор. 63-64)
10. Метеорологічна значущість гравітаційних хвиль ([4], стор. 76-77)
11. Метеорологічна значущість хвиль Росбі та способи врахування їх в чисельних моделях ([4], стор. 96-97)
12. Багатомасштабність атмосферних хвильових рухів та їх внесок в зміни погоди та клімату ([4], стор. 98-100)
13. Фізичний механізм виникнення і розповсюдження акустичних хвиль ([4], стор. 62-64)
14. Фізичний механізм розповсюдження гравітаційних хвиль ([4], стор. 75-77)
15. Фізичний механізм розповсюдження хвиль Росбі ([4], стор. 86-88)
16. Охарактеризуйте різницю між ламінарним і турбулентним потоками. ([3], стор. 210)
17. Поясніть фізичний сенс числа Рейнольдса й охарактеризуйте критерій переходу від ламінарного до турбулентного характеру руху рідини або газу. ([3], стор. 210-212)
18. Поясніть фізичний сенс терміна "дисипація" і для якого розміру турбулентних вихрів (великих або дрібних) процес дисипації максимальний і чому? ([3], стор. 212)
19. Поясніть причину неможливості безпосереднього використання рівнянь Нав'є – Стокса для опису руху турбулентного потоку. ([3], стор. 212-213)
20. Доведіть 1-е правило осереднення $\overline{f\phi} = \bar{f} \cdot \bar{\phi}$ ([3], стор. 213-216)
21. Доведіть 2-е правило осереднення $\overline{cf} = c \cdot \bar{f}$, де $c = const.$ ([3], стор. 213-216)
22. Доведіть 3-є правило осереднення $\frac{\partial \bar{f}}{\partial s} = \bar{\frac{\partial f}{\partial s}}$ ([3], стор. 213-216)
23. Доведіть 3-й наслідок із правил осереднення $\overline{f'} = 0$. ([3], стор. 217-218)
24. Доведіть 4-ий наслідок із правил осереднення $\overline{f' \cdot \phi} = 0$. ([3], стор. 217-218)
25. Поясніть суть гіпотези Буссінеска. ([3], стор. 220)
26. Перелічіть фізичні фактори, що впливають на зміну швидкості руху турбулентного потоку, відповідно до рівнянь Рейнольдса. ([3], стор. 221-223)
27. Перелічіть фізичні фактори, що впливають на зміну потенційної температури в турбулентному потоці, відповідно до рівняння припливу тепла. ([3], стор. 221-223)

28. Поясніть фізичний сенс додаткових невідомих членів, що з'являються за рахунок процедури осереднення в рівняннях Рейнольдса $\frac{\partial}{\partial x_\alpha} (\overline{v_i v_\alpha})$. ([3], стор. 221)
29. Поясніть фізичний сенс складової тензора турбулентних напружень Рейнольдса $\overline{u' w'}$. ([3], стор. 223-224)
30. Поясніть фізичний сенс виразу $\overline{v' w'}$. ([3], стор. 223-224)
31. Поясніть фізичний сенс виразу, що входить у рівняння припливу тепла $\overline{\theta' w'}$. ([3], стор. 223-224)
32. Поясніть, у чому необхідність залучення додаткових рівнянь до системи рівнянь ГТД для турбулентного середовища, що включає рівняння руху Рейнольдса, припливу тепла, нерозривності і стану, а також співвідношення для потенційної температури? ([3], стор. 224)
33. Охарактеризуйте основні положення "К-теорії". ([3], стор. 224-225)
34. Наведіть основне положення градієнтної гіпотези "К-теорії". ([3], стор. 225)
35. Пов'яжіть із градієнтами відповідних величин (на основі "К-теорії") наступний вираз $\overline{u' w'}$. ([3], стор. 226-227)
36. Пов'яжіть із градієнтами відповідних величин (на основі "К-теорії") наступний вираз $\overline{\theta' w'}$. ([3], стор. 227)
37. Перелічіть фізичні фактори, що впливають на часову зміну кінетичної енергії турбулентних пульсацій. ([3], стор. 229-230)
38. Поясніть фізичний сенс наступного члена рівняння балансу кінетичної енергії турбулентних вихорів $K \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2$. ([3], стор. 231)
39. Поясніть фізичний сенс наступного члена рівняння балансу кінетичної енергії турбулентних вихрів $-\lambda \alpha_T K \frac{\partial \Theta}{\partial z}$. ([3], стор. 231)
40. Поясніть фізичний сенс наступного члена рівняння балансу кінетичної енергії турбулентних вихрів $\alpha_b \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial v}{\partial z}$. ([3], стор. 231-232)
41. Поясніть фізичний сенс числа Річардсона й охарактеризуйте критерій розвитку турбулентності в стратифікованому по вертикалі повітрі. ([3], стор. 232-233)
42. При якій стратифікації (стійкій чи нестійкій) спостерігається більш інтенсивне турбулентне перемішування (за інших рівних умов) і чому? ([3], стор. 232-233)
43. Дайте визначення граничного шару атмосфери та поясніть фізичний механізм його виникнення. ([3], стор. 236)
44. Перелічіть зовнішні та внутрішні параметри, які визначають структуру граничного шару атмосфери, і поясніть, які фізичні механізми вони характеризують. ([3], стор. 237-239)
45. Які параметри характеризують динамічну та термічну взаємодію повітряного потоку, що натікає, з підстильною поверхнею? Чому саме ці параметри – доведіть. ([3], стор. 238)
46. Опишіть вплив зовнішніх фізичних факторів на зміну висоти граничного шару атмосфери. ([3], стор. 237-239)
47. Який профіль характеристик стану атмосфери спостерігається безпосередньо поблизу підстильної поверхні і чому? ([3], стор. 241-242)
48. Який профіль вітру та потенційної температури спостерігається в приземному шарі атмосфери при нейтральній стратифікації? ([3], стор. 241-242)
49. Які обмеження (спрощення) уведені при описі динаміки екманівського граничного шару атмосфери? ([3], стор. 245)
50. Від яких величин залежать значення складових швидкості вітру у вільному граничному шарі (у моделі Екмана) і чому саме від них з огляду на основні положення фізики граничного шару. ([3], стор. 245-248)

51. Опишіть спіраль Екмана й основні висновки, що випливають з її аналізу. ([3], стор. 248-249)
52. Опишіть зміну з висотою швидкості і напрямку вітру у вільному граничному шарі атмосфери. ([3], стор. 248-249)
53. Поясніть, чи впливають горизонтальні градієнти температури на вертикальний профіль вітру у вільному граничному шарі і чому? ([3], стор. 249)
54. Опишіть вплив температурної стратифікації на вертикальні профілі вітру у вільному граничному шарі. ([3], стор. 249)
55. Що означає термін «повний поворот вітру в граничному шарі»? ([3], стор. 248)
56. Опишіть зміну з висотою значень турбулентних потоків у граничному шарі атмосфери з урахуванням особливостей приземного підшару. ([3], стор. 237-239)
57. Опишіть зміну з висотою коефіцієнта турбулентного обміну в граничному шарі атмосфери. ([3], стор. 249-250)

3.3 Модуль ЗМ-П1

3.3.1 Повчання і рекомендації до виконання модулю ЗМ-П1

1. Для розв'язання задачі на визначення градієнта поля скалярної величини потрібно ознайомитись з § 1.1.1 (стор. 6-7) в [2], а також розібрати розв'язок типової задачі, представлений на стор. 13-15.
2. Для визначення дивергенції і вихору швидкості (друга задача у ЗМ-П1) студент має опанувати §1.1.2-1.1.4 (стор. 7-13) в [2]. Особливу увагу слід приділити скінченнорізнцевому представленню похідних. На стор. 15-16 в [2] можна ознайомитись з прикладом розв'язання типової задачі.
3. Формули для розв'язання задачі на визначення індивідуальної і локальної - похідних (задача № 3 в ЗМ-П1) можна знайти на стор. 17-18, а приклади розв'язання типових задач – на стор. 19-24. Слід звернути увагу на те, як відрізняються розв'язки задач, в яких об'єми повітря рухаються у горизонтальній (враховується тільки доданок $\bar{V} \cdot \text{grad}_s f$) і вертикальній площині (враховується тільки доданок $w \frac{\partial f}{\partial z}$) й коли їх рух відбувається одночасно в обох площинах (враховуються обидва доданки).
4. Додаткові відомості до розв'язання четвертої (визначення геострофічного вітру) і шостої (визначення градієнтного вітру при кругових ізобарах, якій має іншу назву геоциклострофічний вітер) задач можна знайти в §2.1.1-2.1.3 (стор. 26-33) в [2], а приклади розв'язання типових задач містяться в §2.1.4 (стор. 33-36) в [2]. Особливу увагу потрібно приділити зв'язку між швидкостями градієнтного вітру при кругових ізобарах і геострофічного вітру.
5. Основні відомості для розв'язання п'ятої задачі на визначення термічного вітру викладено на стор. 36-39 в [2], а приклади розв'язку типових задач наведено на стор. 39-44 в [2]. Слід звернути увагу на визначення термічного вітру (термічний вітер – це приріст вектору геострофічного вітру в шарі, яке пов'язане з горизонтальним градієнтом температури), а також на поняття, пов'язане з поняттям термічного вітру, - обертання геострофічного вітру і що на висоті обертання геострофічний вітер дорівнює 0.

6. Розв'язання сьомої задачі в ЗМ-П1 (задача на визначення геострофічної адвекції температури) потребує опанування §2.3 (стор. 44-46) в [2]. При розв'язанні задач на геострофічну адвекцію температури потрібно пам'ятати, що в залежності від використовуваної формули використовуються кути між різними векторами.
7. Для розв'язання задачі на визначення відхилення вітру від геострофічного слід ознайомитись з матеріалом на стор. 242-247 в [1].

3.4 Модуль ЗМ-П2

3.4.1 Повчання і рекомендації до виконання модулю ЗМ-П2

1. Для розв'язання задачі на визначення параметрів хвиль Росбі потрібно ознайомитись з матеріалом на стор. 78-87 в [4].
2. Рекомендації до виконання розрахункової роботи з визначення критеріїв турбулентності (числа Рейнольдса і числа Річардсона) надано на стор. 14-17 в [6, Додаткова література], а на стор. 18-20 надано приклад аналізу отриманих результатів. Слід звернути увагу на те, чим відрізняються ці числа, в яких потоках вони можуть використовуватись як критерій розвитку турбулентних рухів і наскільки доцільно кожне з них використовувати як критерій розвитку турбулентності в атмосфері.
3. Приклад виконання розрахункової роботи на визначення зміни напрямку і швидкості вітру у вільному ГША представлено надано на стор. 29-34 в [6, Додаткова література]

4 ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

4.1 Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л1.

Рівняння гідротермодинаміки атмосфери		
1	Якими метеорологічними величинами можна вичерпно охарактеризувати стан сухого атмосферного повітря, що рухається?	[3], стор. 177
2	Функцією яких аргументів є будь-яка метеорологічна величина?	[3], стор. 177–178
3	Дайте визначення градієнта поля скалярної величини φ .	[3], стор. 178–179
4	Яким чином градієнт поля скалярної величини φ спрямований до ізолінії цієї величини?	[3], стор. 178–179
5	Градієнт поля скалярної величини φ спрямований у бік зростання чи у бік зменшення цієї величини?	[3], стор. 178–179
6	Дайте визначення дивергенції, вихору вектору швидкості.	[2], стор. 21
7	Дайте визначення дифузії.	[1], стор. 113
8	Дайте визначення імпульсу (кількості руху).	[3], стор. 182
9	Яке рівняння є математичним записом закону збереження маси?	[3], стор. 180
10	Яку рідину називають нестисливою?	[3], стор. 182
11	Запишіть рівняння нерозривності для нестислової (стислової) рідини? Чим вони відрізняються?	[3], стор. 181-182
12	Яке рівняння є математичним записом закону збереження енергії?	[2], стор. 15
13	Яке рівняння є математичним записом закону збереження кількості руху (імпульсу)?	[3], стор. 182-183
14	Визначення інерціальної системи відліку.	[3], стор. 183
15	Які додаткові члени з'являються в неінерціальній системі координат?	[3], стор. 185
16	Якою системою координат є Земля – інерціальною чи неінерціальною?	[3], стор. 183
17	Які додаткові сили виникають на Землі внаслідок її неінерціальності?	[3], стор. 185
18	Чим відрізняється сила тяжіння від сили притягання?	[3], стор. 186
19	Чим відрізняються рівняння Ейлера від рівнянь Нав'є–Стокса?	[3], стор. 183, 191
20	Які сили діють в атмосфері?	[3], стор. 182-191
21	Яка сила є основною рушійною силою в атмосфері?	[3], стор. 183
22	Як спрямована сила баричного градієнта відносно градієнта тиску?	[3], стор. 183
23	Відцентрова сила впливає тільки на тіла, що рухаються, чи тільки на нерухомі тіла, чи на ті та інші?	[3], стор. 185
24	Сила Коріоліса впливає тільки на тіла, що рухаються, чи тільки на нерухомі тіла, чи на ті та інші?	[3], стор. 185
25	Який фізичний процес називають в'язкістю рідини або газу?	[3], стор. 188
26	Що являє собою сила плавучості?	[2], стор. 51
27	Що характеризує індивідуальна похідна?	[3], стор. 178–179; [3], стор. 13–14
28	Що характеризує локальна похідна?	[3], стор. 178–179; [3], стор. 15
29	Що характеризує горизонтальна адвекція температури?	[3], стор. 179
30	Перелічіть фізичні чинники, що суттєво впливають на зміну потенціальної температури в об'ємі повітря.	[3], стор. 191
31	Які потоки тепла є неадіабатичними?	[3], стор. 191

Рівняння вихору		
32	Для якої складової вихору записують рівняння вихору для великомасштабних процесів?	[5], стор. 86, 88, рівн. 2.1.23, 2.1.24
33	Чому рівняння вихору для великомасштабних процесів записують саме для вертикальної складової вихору?	[5], стор. 86
34	Чинники, які суттєво впливають на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору?	[5], стор. 89, рівн. 2.1.30
35	Яка рідина має назву барокліної?	[5], стор. 94
36	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору барокліний фактор?	[5], стор. 94-97
37	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору дивергенція швидкості?	[5], стор. 93
38	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору адвекція вихору?	[5], стор. 90-91
39	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору фактор $-\beta v$, де v - меридіональна складова швидкості, β - параметр Россбі?	[5], стор. 91
40	Абсолютний, планетарний та відносний вихор?	[5], стор. 84
41	Чим обумовлений обертальний рух, який описується відносним вихором?	[5], стор. 84
42	Чим обумовлений обертальний рух, який описується планетарним вихором?	[5], стор. 84
43	Фізичний сенс абсолютного вихору?	[5], стор. 84
Динаміка вільної атмосфери		
44	Визначення вільної атмосфери.	[3], стор. 195
45	Які рухи називають великомасштабними в атмосфері (їх масштаби)?	[3], стор. 195-196
46	Особливості великомасштабних рухів.	[3], стор. 195-196
47	На рухи яких масштабів суттєво впливає сила Коріоліса?	[3], стор. 196
48	Які сили мають найбільший порядок у рівняннях руху?	[3], стор. 199-200
49	Якою силою можна знехтувати у вільній атмосфері?	[3], стор. 199
50	Які сили врівноважуються при великомасштабних атмосферних рухах у горизонтальній площині?	[3], стор. 200
51	Які сили врівноважуються при великомасштабних атмосферних рухах у вертикальній площині?	[3], стор. 201
52	Визначення геострофічного вітру.	[3], стор. 201
53	Зобразіть діаграму сил, які врівноважуються для геострофічної течії в атмосфері.	[3], стор. 202
54	Властивості геострофічного вітру.	[3], стор. 202
55	Як спрямовані вектори геострофічного вітру та горизонтального баричного градієнта один відносно одного?	[3], стор. 202
56	Визначення термічного вітру.	[3], стор. 205
57	Властивості термічного вітру.	[3], стор. 204
58	Як спрямовані вектори термічного вітру та горизонтального градієнта середньої температури в шарі один відносно одного?	[3], стор. 206
59	Що таке висота обертання геострофічного вітру?	[2], стор. 32
60	Як спрямовані горизонтальні градієнти температури та тиску при наявності обертання геострофічного вітру?	[1], стор. 238-240; [2], стор. 32

61	Як змінюватиметься геострофічний вітер з висотою при адвекції холоду (тепла)?	[1], стор. 238-240; [2], стор. 30-31
62	Як змінюється геострофічний вітер з висотою при горизонтальних градієнтах тиску та середньої температури, спрямованих в одну й ту саму сторону (в протилежні сторони)?	[1], стор. 238-240; [2], стор. 30-31
63	Визначення градієнтного вітру при кругових ізобарах?	[3], стор. 206
64	Зобразить діаграму сил, які врівноважуються для градієнтного вітру в циклоні (антициклоні).	[3], стор. 206
65	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в західній (східній) частині циклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [2], стор. 40-42
66	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в західній (східній) частині антициклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [2], стор. 40-42
67	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в північній (південній) частині циклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [2], стор. 40-42
68	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в північній (південній) частині антициклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [3], стор. 40-42
69	Де існує обмеження для градієнтного вітру при кругових ізобарах: в циклоні чи антициклоні?	[3], стор. 230
70	Визначення агеострофічного відхилення.	[1], стор. 245
71	Від яких факторів залежить величина агеострофічних відхилень?	[1], стор. 245
72	Як впливають агеострофічні відхилення на вертикальні рухи в атмосфері?	[1], стор. 246-247
73	Формула зв'язку агеострофічних відхилень та вертикальних рухів в атмосфері.	[1], стор. 246-247
74	Які чинники впливають на зміну вертикальних рухів в атмосфері?	[1], стор. 246-247

4.2 Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2.

Хвильові рухи в атмосфері		
1	Визначення хвильових рухів.	[4], стор. 6
2	Приклади виникнення хвильових рухів.	[4], стор. 6-11
3	Які коливання відносяться до вільних та вимушених?	[4], стор. 6
4	Класифікації хвильових рухів в атмосфері	[4], стор. 34
5	Кінематична класифікація хвиль	[4], стор. 34-35
6	Гідродинамічна класифікація хвиль	[4], стор. 36-40
7	Лінійна модель одновимірних акустичних хвиль	[4], стор. 54-61
8	Лінійна модель одновимірних гравітаційних хвиль на поверхні розділу	[4], стор. 65-74
9	Модель одновимірних хвиль Россбі	[4], стор. 78-87
10	Які хвилі є значущі з метеорологічної точки зору?	[4], стор. 63-64, 76-77, 86-88
11	Якщо відфільтрувати гравітаційні хвилі, то які процеси в атмосфері в цьому випадку не враховуються?	[4], стор. 76-77
12	Фізичні механізми виникнення хвиль Россбі.	[4], стор. 86-87
13	Фізичні механізми виникнення гравітаційних хвиль.	[4], стор. 75-77
14	Фізичні механізми виникнення акустичних хвиль.	[4], стор. 62-64

15	За кінематичною класифікацією до якого класу відносяться хвилі Россбі?	[4], стор. 78
16	За кінематичною класифікацією до якого класу відносяться акустичні хвилі?	[4], стор. 54
17	За кінематичною класифікацією до якого класу відносяться гравітаційні хвилі?	[4], стор. 65
18	Яка швидкість розповсюдження акустичних хвиль?	[4], стор. 62-64
19	Яка швидкість розповсюдження гравітаційних хвиль?	[4], стор. 75-77
20	Від чого залежить швидкість гравітаційних хвиль?	[4], стор. 77
21	Від чого залежить швидкість хвиль Россбі?	[4], стор. 86-87
22	На яких об'єктах в атмосфері спостерігається найбільша швидкість гравітаційних хвиль?	[4], стор. 77
23	Які об'єкти в атмосфері є наочним проявом гравітаційних хвиль?	[4], стор. 77
24	Параметри хвиль та зв'язок між ними.	[4], стор. 11-16
25	Метод малих збурень та його сутність.	[4], стор. 42-45
26	Що таке дисперсійне рівняння?	[4], стор. 61, 74, 83
27	Які характеристики зв'язує дисперсійне рівняння?	[4], стор. 61, 74, 83
28	Якою функцією можна описати форму одновимірної хвилі?	[4], стор. 96-97
29	Якою функцією можна описати форму двовимірної хвилі?	[4], стор. 96-97
30	Якою функцією можна описати форму тривимірної хвилі?	[4], стор. 96-97
31	Що таке стаціонарні хвилі?	[4], стор. 84-86
32	В якому напрямку рухаються короткі та довгі хвилі Россбі?	[4], стор. 84-86
Рівняння гідротермодинаміки для турбулентного середовища		
34	Визначення ламінарної течії.	[3], стор. 210
35	Визначення турбулентної течії.	[3], стор. 210
36	Чим відрізняється турбулентна течія від ламінарної?	[3], стор. 211
37	Що означає термін «турбулентна дифузія»?	[3], стор. 251)
38	Фізичний сенс числа Рейнольдса.	[3], стор. 210-211
39	Як впливає на випадково виникаючи в потоці дрібні неоднорідності полів швидкості сила молекулярної в'язкості?	[3], стор. 210-211
40	Як впливає на випадково виникаючи в потоці дрібні неоднорідності полів швидкості сила інерції?	[3], стор. 210-211
41	Що представляє собою вираз $f = \bar{f} + f'$ за методикою Рейнольдса?	[3], стор. 213
42	Які рівняння використовуються для опису турбулентних рухів?	[3], стор. 221
43	У чому полягає сенс застосування К-теорії турбулентності?	[3], стор. 224
44	Охарактеризуйте основні положення К-теорії турбулентності?	[3], стор. 224
45	Основне положення градієнтної гіпотези.	[3], стор. 224-225
46	Яка величина характеризує інтенсивність обміну різними субстанціями за рахунок перенесення їх турбулентними вихорами?	[3], стор. 225-226
47	Фізичний сенс виразу, що входить у рівняння припливу тепла, $\overline{\theta'v'}$.	[3], стор. 227
48	Який вигляд набуває вираз $\overline{\theta'w'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
49	Який вигляд набуває вираз $\overline{\theta'u'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
50	Який вигляд набуває вираз $\overline{u'w'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
51	Який вигляд набуває вираз $\overline{u'v'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
52	Який вигляд набуває вираз v'^2 на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
53	Фізичний сенс числа Річардсона.	[3], стор. 232
54	Для стратифікованої рідини як критерій розвитку турбулентності в течії використовується число Рейнольдса чи число Річардсона?	[3], стор. 232

55	Що означає термін «дисипація»?	[3], стор. 212
56	Як впливає дисипація на турбулентність?	[3], стор. 212
57	Для вихорів якого масштабу процес дисипації є максимальним?	[3], стор. 212
Динаміка граничного шару атмосфери		
58	Визначення граничного шару атмосфери.	[3], стор. 236
59	Чим обумовлено виникнення граничного шару в атмосфері?	[3], стор. 236
60	Що таке шорсткість? Від характеристик підстильної поверхні, атмосфери вона залежить?	[3], стор. 239
61	Фізичні механізми виникнення граничного шару.	[3], стор. 237
62	Як впливає збільшення (зменшення) геострофічного вітру на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
63	Як впливає збільшення (зменшення) бароклінності (горизонтальних градієнтів температури) на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
64	Як впливає збільшення (зменшення) параметру шорсткості на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
65	Як впливає термічна стратифікація на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
66	Які фактори сприяють розвитку турбулентності?	[3], стор. 239
67	При якій стратифікації турбулентне перемішування буде більш інтенсивним?	[3], стор. 239?
68	Як змінюється вітер у вільному граничному шарі атмосфери?	[3], стор. 248
69	Який поворот вітру спостерігається у вільному граничному шарі?	[3], стор. 248
70	Спрощення, які вводяться при описі динаміки граничного шару.	[3], стор. 246
71	Якою величиною вважається коефіцієнт турбулентності в моделі Екмана: сталою, несталою чи незмінною?	[3], стор. 246
72	Від чого залежить зміна вітру з висотою у вільному граничному шарі?	[3], стор. 248

4.3 Питання до практичної частини модуля ЗМ-П1

Питання до теми «Градієнт поля скалярної величини» ([2], стор. 6-7)

1. Дайте визначення градієнта скалярної величини.
2. Градієнт є скалярною чи векторною величиною?
3. Як спрямований градієнт скалярної величини відносно ізолінії цієї скалярної величини?
4. Градієнт поля скалярної величини ϕ спрямований у бік зростання чи у бік зменшення цієї величини?
5. Дайте визначення оператору Гамільтона.
6. Чому розглядаються окремо горизонтальний і вертикальний градієнти?

Задачі на визначення дивергенції та вихору швидкості вітру ([2], стор. 7-16)

1. Дайте визначення дивергенції швидкості.
2. Дивергенція є скалярною чи векторною величиною?
3. Що характеризує додатна дивергенція?
4. Що характеризує від'ємна дивергенція?
5. Як називається поле, для якого дивергенція швидкості дорівнює нулю. Охарактеризуйте таке поле.
6. Фізичний сенс дивергенції.
7. Фізичний сенс вихору швидкості.

8. Для опису баричних утворень таких як циклони і антициклони яка складова вихору швидкості є найважливішою?
9. Якщо обертання відбувається навколо осі Z, яку складову вихору швидкості маємо розглядати?
10. Яким чином можна розрахувати диференційні характеристики метеорологічних полів, маючи значення метеорологічних величин в фіксованих точках простору?
11. Запишіть вираз для центральних різниць.

Питання до теми «Індивідуальна і локальна зміни метеорологічних величин у часі (Г2), стор. 17-24)

1. Фізичний сенс локальної похідної.
2. Фізичний сенс індивідуальної похідної.
3. Чим обумовлена зміна температури з часом у фіксованій точці?
4. Чим обумовлена зміна температури з часом у об'ємі повітря, що рухається?
5. Чим будуть обумовлені зміни величини f у частинці, що рухається, якщо локальна похідна $\frac{\partial f}{\partial n}$ дорівнює нулю?
6. Які члени називають адвективними? Що вони характеризують?
7. Які члени називають конвективними? Що вони характеризують?

Питання до теми «Геострофічний вітер» (Г2), стор. 26-35)

1. Дайте визначення градієнтного вітру.
2. Від яких величин є залежним градієнтний вітер?
3. При рівновазі яких сил спостерігається градієнтний вітер?
4. Дайте визначення геострофічного вітру.
5. Перелічіть властивості геострофічного вітру.
6. Від яких величин є залежним геострофічний вітер?
7. При рівновазі яких сил спостерігається геострофічний вітер?

Питання до теми «Термічний вітер» (Г2), стор. 36-44)

1. Дайте визначення термічного вітру.
2. Від яких величин є залежним термічний вітер?
3. Як спрямований вектор термічного вітру?
4. Доведіть, що вектори термічного вітру та градієнта температури є перпендикулярними.
5. Як можна знайти геострофічний вітер на верхньому рівні, якщо відомі геострофічний вітер на нижньому рівні та термічний вітер у шарі?
6. Що таке висота обертання геострофічного вітру?

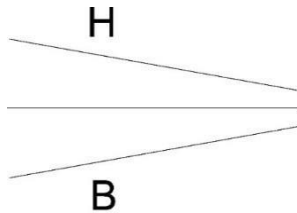
Питання до теми «Градієнтний вітер при кругових ізобарах» (Г2), стор. 26-35)

Питання до теми «Геострофічна адвекція температури» (Г2), стор. 45-46)

1. Дайте визначення адвекції температури.
2. Дайте визначення геострофічній адвекції температури?
3. В якому випадку має місце додатна геострофічна адвекція в північній півкулі?
4. В якому випадку має місце від'ємна геострофічна адвекція в північній півкулі?

Питання до теми «Агеострофічні відхилення» ([1], стор. 242-247)

1. Дайте визначення агеострофічним відхиленням.
2. Через які причини виникають агеострофічні відхилення в атмосфері?
3. Як пов'язані агеострофічні відхилення і прискорення?
4. На наведеному рисунку як будуть спрямовані агеострофічні відхилення



5.

4.4 Питання до практичної частини модуля ЗМ-П2

Питання до теми «Параметри хвиль Россбі» ([4], стор. 78-87)

1. Дайте визначення таким параметрам хвиль як швидкість повширення, період, фазова швидкість, довжина?
2. Які хвилі Россбі називають стаціонарними/довгими/короткими? Чим вони відрізняються?
3. Що являє собою Азіатський (Сибірський) антициклон? Як він пов'язаний з хвилею Россбі?
4. Яка довжина стаціонарної хвилі в потоці швидкістю $10^\circ/\text{доб}$ на широті 35° ? Розрахувати скільки таких хвиль Россбі укладається вздовж широтного кола.
5. Знайти швидкість поширення хвиль Россбі з періодом 6 діб на широті 45° в потоці швидкістю 20° довготи за добу.
6. Знайти період хвиль, що поширюються зі швидкістю 5° довготи за добу, в потоці швидкістю 10° довготи за добу на широті 40° .

Питання до теми «Число Рейнольдса і число Річардсона» ([4], стор. 14-20)

1. Число Рейнольдса та його фізичний сенс.
2. Число Річардсона та його фізичний сенс.
3. Чому для атмосфери має сенс використовувати число Річардсона?
4. Які критичні значення чисел Рейнольдса і Річардсона для переходу ламінарної течії в турбулентну?

Питання до теми «Зміна напрямку і швидкості вітру з висотою в ГША» ([6], стор. 29-34)

1. Які сили діють в умовах стаціонарного горизонтально-однорідного граничного шару атмосфери?
2. При яких припущеннях будується модель Екмана?
3. Від яких величин залежать значення складових швидкості вітру у вільному граничному шарі?
4. Якій профіль вітру спостерігається в екманівському граничному шарі?
5. Як змінюється напрямок вітру з висотою в граничному шарі атмосфери?
6. Що таке кут нахилу вітру? Чому він дорівнює біля поверхні землі (на верхній границі ГША)? Чому дорівнює його максимальне значення?
7. Як впливає на висоту граничного шару атмосфери зміна його зовнішніх параметрів?

4.3 Тестові завдання до залікової контрольної роботи

Рівняння гідротермодинаміки атмосфери		
1	Якими метеорологічними величинами можна вичерпно охарактеризувати стан сухого атмосферного повітря, що рухається?	[3], стор. 177
2	Функцією яких аргументів є будь-яка метеорологічна величина?	[3], стор. 177–178
3	Дайте визначення градієнта поля скалярної величини ϕ .	[3], стор. 178–179
4	Яким чином градієнт поля скалярної величини ϕ спрямований до ізолінії цієї величини?	[3], стор. 178–179
5	Градієнт поля скалярної величини ϕ спрямований у бік зростання чи у бік зменшення цієї величини?	[3], стор. 178–179
6	Дайте визначення дивергенції, вихору вектора швидкості.	[2], стор. 21
7	Дайте визначення дифузії.	[1], стор. 113
8	Дайте визначення імпульсу (кількості руху).	[3], стор. 182
9	Яке рівняння є математичним записом закону збереження маси?	[3], стор. 180
10	Яку рідину називають нестисливою?	[3], стор. 182
11	Запишіть рівняння нерозривності для нестисливої (стисливої) рідини? Чим вони відрізняються?	[3], стор. 181–182
12	Яке рівняння є математичним записом закону збереження енергії?	[2], стор. 15
13	Яке рівняння є математичним записом закону збереження кількості руху (імпульсу)?	[3], стор. 182–183
14	Визначення інерціальної системи відліку.	[3], стор. 183
15	Які додаткові члени з'являються в неінерціальній системі координат?	[3], стор. 185
16	Якою системою координат є Земля – інерціальною чи неінерціальною?	[3], стор. 183
17	Які додаткові сили виникають на Землі внаслідок її неінерціальності?	[3], стор. 185
18	Чим відрізняється сила тяжіння від сили притягання?	[3], стор. 186
19	Чим відрізняються рівняння Ейлера від рівнянь Нав'є–Стокса?	[3], стор. 183, 191
20	Які сили діють в атмосфері?	[3], стор. 182–191
21	Яка сила є основною рушійною силою в атмосфері?	[3], стор. 183
22	Як спрямована сила баричного градієнта відносно градієнта тиску?	[3], стор. 183
23	Відцентрова сила впливає тільки на тіла, що рухаються, чи тільки на нерухомі тіла, чи на ті та інші?	[3], стор. 185
24	Сила Коріоліса впливає тільки на тіла, що рухаються, чи тільки на нерухомі тіла, чи на ті та інші?	[3], стор. 185
25	Який фізичний процес називають в'язкістю рідини або газу?	[3], стор. 188
26	Що являє собою сила плавучості?	[2], стор. 51
27	Що характеризує індивідуальна похідна?	[3], стор. 178–179; [3], стор. 13–14
28	Що характеризує локальна похідна?	[3], стор. 178–179; [3], стор. 15
29	Що характеризує горизонтальна адвекція температури?	[3], стор. 179
30	Перелічить фізичні чинники, що суттєво впливають на зміну потенціальної температури в об'ємі повітря.	[3], стор. 191
31	Які потоки тепла є неадіабатичними?	[3], стор. 191

Рівняння вихору		
32	Для якої складової вихору записують рівняння вихору для великомасштабних процесів?	[5], стор. 86, 88, рівн. 2.1.23, 2.1.24
33	Чому рівняння вихору для великомасштабних процесів записують саме для вертикальної складової вихору?	[5], стор. 86
34	Чинники, які суттєво впливають на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору?	[5], стор. 89, рівн. 2.1.30
35	Яка рідина має назву бароклінної?	[5], стор. 94
36	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору бароклінний фактор?	[5], стор. 94-97
37	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору дивергенція швидкості?	[5], стор. 93
38	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору адвекція вихору?	[5], стор. 90-91
39	Як впливає на зміну вертикальної складової вихору з часом у фіксованій точці простору фактор $-\beta v$, де v - меридіональна складова швидкості, β - параметр Россбі?	[5], стор. 91
40	Абсолютний, планетарний та відносний вихор?	[5], стор. 84
41	Чим обумовлений обертальний рух, який описується відносним вихором?	[5], стор. 84
42	Чим обумовлений обертальний рух, який описується планетарним вихором?	[5], стор. 84
43	Фізичний сенс абсолютного вихору?	[5], стор. 84
Динаміка вільної атмосфери		
44	Визначення вільної атмосфери.	[3], стор. 195
45	Які рухи називають великомасштабними в атмосфері (їх масштаби)?	[3], стор. 195-196
46	Особливості великомасштабних рухів.	[3], стор. 195-196
47	На рухи яких масштабів суттєво впливає сила Коріоліса?	[3], стор. 196
48	Які сили мають найбільший порядок у рівняннях руху?	[3], стор. 199-200
49	Якою силою можна знехтувати у вільній атмосфері?	[3], стор. 199
50	Які сили врівноважуються при великомасштабних атмосферних рухах у горизонтальній площині?	[3], стор. 200
51	Які сили врівноважуються при великомасштабних атмосферних рухах у вертикальній площині?	[3], стор. 201
52	Визначення геострофічного вітру.	[3], стор. 201
53	Зобразіть діаграму сил, які врівноважуються для геострофічної течії в атмосфері.	[3], стор. 202
54	Властивості геострофічного вітру.	[3], стор. 202
55	Як спрямовані вектори геострофічного вітру та горизонтального баричного градієнта один відносно одного?	[3], стор. 202
56	Визначення термічного вітру.	[3], стор. 205
57	Властивості термічного вітру.	[3], стор. 204
58	Як спрямовані вектори термічного вітру та горизонтального градієнта середньої температури в шарі один відносно одного?	[3], стор. 206
59	Що таке висота обертання геострофічного вітру?	[2], стор. 32
60	Як спрямовані горизонтальні градієнти температури та тиску при наявності обертання геострофічного вітру?	[1], стор. 238-240; [2], стор. 32

61	Як змінюватиметься геострофічний вітер з висотою при адвекції холоду (тепла)?	[1], стор. 238-240; [2], стор. 30-31
62	Як змінюється геострофічний вітер з висотою при горизонтальних градієнтах тиску та середньої температури, спрямованих в одну й ту саму сторону (в протилежні сторони)?	[1], стор. 238-240; [2], стор. 30-31
63	Визначення градієнтного вітру при кругових ізобарах?	[3], стор. 206
64	Зобразіть діаграму сил, які врівноважуються для градієнтного вітру в циклоні (антициклоні).	[3], стор. 206
65	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в західній (східній) частині циклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [2], стор. 40-42
66	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в західній (східній) частині антициклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [2], стор. 40-42
67	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в північній (південній) частині циклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [2], стор. 40-42
68	Як змінюватиметься градієнтний вітер з висотою в північній (південній) частині антициклона при збільшенні температури з півночі на південь?	[1], стор. 240; [3], стор. 40-42
69	Де існує обмеження для градієнтного вітру при кругових ізобарах: в циклоні чи антициклоні?	[3], стор. 230
70	Визначення агеострофічного відхилення.	[1], стор. 245
71	Від яких факторів залежить величина агеострофічних відхилень?	[1], стор. 245
72	Як впливають агеострофічні відхилення на вертикальні рухи в атмосфері?	[1], стор. 246-247
73	Формула зв'язку агеострофічних відхилень та вертикальних рухів в атмосфері.	[1], стор. 246-247
74	Які чинники впливають на зміну вертикальних рухів в атмосфері?	[1], стор. 246-247
Хвильові рухи в атмосфері		
75	Визначення хвильових рухів.	[4], стор. 6
76	Приклади виникнення хвильових рухів.	[4], стор. 6-11
77	Які коливання відносяться до вільних та вимушених?	[4], стор. 6
78	Класифікації хвильових рухів в атмосфері	[4], стор. 34
79	Кінематична класифікація хвиль	[4], стор. 34-35
80	Гідродинамічна класифікація хвиль	[4], стор. 36-40
81	Лінійна модель одновимірних акустичних хвиль	[4], стор. 54-61
82	Лінійна модель одновимірних гравітаційних хвиль на поверхні розділу	[4], стор. 65-74
83	Модель одновимірних хвиль Россбі	[4], стор. 78-87
84	Які хвилі є значущі з метеорологічної точки зору?	[4], стор. 63-64, 76-77, 86-88
85	Якщо відфільтрувати гравітаційні хвилі, то які процеси в атмосфері в цьому випадку не враховуються?	[4], стор. 76-77
86	Фізичні механізми виникнення хвиль Россбі.	[4], стор. 86-87
87	Фізичні механізми виникнення гравітаційних хвиль.	[4], стор. 75-77
88	Фізичні механізми виникнення акустичних хвиль.	[4], стор. 62-64
89	За кінематичною класифікацією до якого класу відносяться хвилі Россбі?	[4], стор. 78

90	За кінематичною класифікацією до якого класу відносяться акустичні хвилі?	[4], стор. 54
91	За кінематичною класифікацією до якого класу відносяться гравітаційні хвилі?	[4], стор. 65
92	Яка швидкість розповсюдження акустичних хвиль?	[4], стор. 62-64
93	Яка швидкість розповсюдження гравітаційних хвиль?	[4], стор. 75-77
94	Від чого залежить швидкість гравітаційних хвиль?	[4], стор. 77
95	Від чого залежить швидкість хвиль Россбі?	[4], стор. 86-87
96	На яких об'єктах в атмосфері спостерігається найбільша швидкість гравітаційних хвиль?	[4], стор. 77
97	Які об'єкти в атмосфері є наочним проявом гравітаційних хвиль?	[4], стор. 77
98	Параметри хвиль та зв'язок між ними.	[4], стор. 11-16
99	Метод малих збурень та його сутність.	[4], стор. 42-45
100	Що таке дисперсійне рівняння?	[4], стор. 61, 74, 83
101	Які характеристики зв'язує дисперсійне рівняння?	[4], стор. 61, 74, 83
102	Якою функцією можна описати форму одновимірної хвилі?	[4], стор. 96-97
103	Якою функцією можна описати форму двовимірної хвилі?	[4], стор. 96-97
104	Якою функцією можна описати форму тривимірної хвилі?	[4], стор. 96-97
105	Що таке стаціонарні хвилі?	[4], стор. 84-86
106	В якому напрямку рухаються короткі та довгі хвилі Россбі?	[4], стор. 84-86
Рівняння гідротермодинаміки для турбулентного середовища		
107	Визначення ламінарної течії.	[3], стор. 210
108	Визначення турбулентної течії.	[3], стор. 210
109	Чим відрізняється турбулентна течія від ламінарної?	[3], стор. 211
110	Що означає термін «турбулентна дифузія»?	[3], стор. 251)
111	Фізичний сенс числа Рейнольдса.	[3], стор. 210-211
112	Як впливає на випадково виникаючи в потоці дрібні неоднорідності полів швидкості сила молекулярної в'язкості?	[3], стор. 210-211
113	Як впливає на випадково виникаючи в потоці дрібні неоднорідності полів швидкості сила інерції?	[3], стор. 210-211
114	Що представляє собою вираз $f = f^- + f'$ за методикою Рейнольдса?	[3], стор. 213
115	Які рівняння використовуються для опису турбулентних рухів?	[3], стор. 221
116	У чому полягає сенс застосування К-теорії турбулентності?	[3], стор. 224
117	Охарактеризуйте основні положення К-теорії турбулентності?	[3], стор. 224
118	Основне положення градієнтної гіпотези.	[3], стор. 224-225
119	Яка величина характеризує інтенсивність обміну різними субстанціями за рахунок перенесення їх турбулентними вихорами?	[3], стор. 225-226
120	Фізичний сенс виразу, що входить у рівняння припливу тепла, $\overline{\theta'v'}$.	[3], стор. 227
121	Який вигляд набуває вираз $\overline{\theta'w'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
122	Який вигляд набуває вираз $\overline{\theta'u'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
123	Який вигляд набуває вираз $\overline{u'w'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
124	Який вигляд набуває вираз $\overline{u'v'}$ на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
125	Який вигляд набуває вираз v'^2 на підставі „К-теорії”?	[3], стор. 227
126	Фізичний сенс числа Річардсона.	[3], стор. 232

127	Для стратифікованої рідини як критерій розвитку турбулентності в течії використовується число Рейнольдса чи число Річардсона?	[3], стор. 232
128	Що означає термін «дисипація»?	[3], стор. 212
129	Як впливає дисипація на турбулентність?	[3], стор. 212
130	Для вихорів якого масштабу процес дисипації є максимальним?	[3], стор. 212
Динаміка граничного шару атмосфери		
131	Визначення граничного шару атмосфери.	[3], стор. 236
132	Чим обумовлено виникнення граничного шару в атмосфері?	[3], стор. 236
133	Що таке шорсткість? Від характеристик підстильної поверхні, атмосфери вона залежить?	[3], стор. 239
134	Фізичні механізми виникнення граничного шару.	[3], стор. 237
135	Як впливає збільшення (зменшення) геострофічного вітру на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
136	Як впливає збільшення (зменшення) бароклінності (горизонтальних градієнтів температури) на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
137	Як впливає збільшення (зменшення) параметру шорсткості на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
138	Як впливає термічна стратифікація на висоту граничного шару?	[3], стор. 238
139	Які фактори сприяють розвитку турбулентності?	[3], стор. 239
140	При якій стратифікації турбулентне перемішування буде більш інтенсивним?	[3], стор. 239?
141	Як змінюється вітер у вільному граничному шарі атмосфери?	[3], стор. 248
142	Який поворот вітру спостерігається у вільному граничному шарі?	[3], стор. 248
143	Спрощення, які вводяться при описі динаміки граничного шару.	[3], стор. 246
144	Якою величиною вважається коефіцієнт турбулентності в моделі Екмана: сталою, несталою чи незмінною?	[3], стор. 246
145	Від чого залежить зміна вітру з висотою у вільному граничному шарі?	[3], стор. 248

5 ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна

1. Динамическая метеорология. Учебное пособие под ред. Д.Л. Лайхтмана. – Л. Гидрометеиздат, 1976, 608 с.
2. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів та практичних занять з дисципліни "Динамічна метеорологія" для студентів III курсу денної форми навчання за напрямом "Гідрометеорологія", спеціальність „Метеорологія”/ Укладачі: доц. Казаков О.Л., ас. Хоменко І.А. – Одеса, ОДЕКУ, 2009. – 63 с.
3. Метеорологія і кліматологія. Підручник під ред. С.М. Степаненка. – Одеса, ТЕС, 2008, 534 с.
4. Хоменко Г.В., Бондаренко В.М. Хвильові процеси в атмосфері. – Одеса, Екологія, 2012, 104 с.
5. Хоменко Г.В., Хохлов В.М. Гідродинамічні методи прогнозу погоди: підручник. – Одеса: Екологія, 2008. – 344 с.

Додаткова

1. Гандин Л.С., Лайхтман Д.Л., Матвеев Л.Т., Юдин М.И. Основы динамической метеорологии. Под редакцией Лайхтмана Д.Л. и Юдина М.И. – Ленинград. Гидрометеиздат, 1955, 642 с.
2. Задачник по динамической метеорологии. Под редакцией Д.Л. Лайхтмана и Л.С. Гандина. – Л. Гидрометеиздат, 1967, 216 с.
3. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів та практичних занять з дисципліни "Динамічна метеорологія" для студентів III курсу денної форми навчання за напрямом "Екологія", спеціальність „Екологія та охорона навколишнього середовища”/ Укладачі: проф. Степаненко С.М., ас. Хоменко І.А. – Одеса, ОДЕКУ, 2009. – 65 с.
4. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів та практичних занять з дисципліни "Фізика граничного шару атмосфери" для студентів IV курсу денної форми навчання за напрямом "Гідрометеорологія", спеціальність „Метеорологія”/ Укладачі: проф. Степаненко С.М., ас. Хоменко І.А. – Одеса, ОДЕКУ, 2009. – 50 с.
5. Тарнопольський А.Г. Фізика граничного шару атмосфери. – Одеса, 2001, 155 с.
6. Шакина Н.П. Динамическая метеорология. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2013. – 160 с.
7. Anders Persson, The Coriolis effect: reply to White, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 10.1002/qj.3066, 143, 706, (2309-2309), (2017).
8. Anders Persson, Is the Coriolis effect an ‘optical illusion’? , Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 10.1002/qj.2477?, 141, 690, (1957-1967), (2015)
9. Holton, J. (2004) An Introduction to Dynamic Meteorology, Volume 88. 4th Edition. Academic Press. 535 p.
10. Електронна бібліотека ОДЕКУ: www.library-odeku.16mb.com
11. Електронна пошта кафедри – geophys@ogmi.farlep.odessa.ua