

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для лабораторних робіт з дисципліни
«Спеціалізовані прогнози погоди» на тему:
«Прогноз граду»

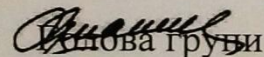
для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності «Науки про Землю»
(ОПП «Метеорологія та кліматологія»)

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення
спеціальності

від « 25 » 11 2020 року

протокол № 5



Шакірманова Ж.Р.

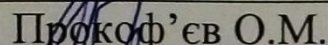
ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри метеорології
та кліматології

від « 17 » 11 2020 року

протокол № 4

Зав. кафедрою


Прокоф'єв О.М.

ОДЕСА – 2020 р.

Методичні вказівки для лабораторних робіт з дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди» на тему: «Прогноз граду» для магістрів 1 року навчання, спеціальність «Науки про Землю», ОПП «Метеорологія та кліматологія» / Укладач: к. геогр.н., доц. Агайар Е. В.; укр., 22 стор.

ЗМІСТ

Передмова	4
1.Прогноз граду	5
1.1 Загальні теоретичні відомості	5
1.2 Синоптичні умови виникнення градової хмарності.....	5
1.3 Методи прогнозу граду.....	6
Додаток А.....	16

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Спеціалізовані прогнози погоди» належить до професійно-орієнтованих і є обов'язковою з підготовки магістра зі спеціальністю 103 «Науки про Землю» за освітньо-професійною програмою «Метеорологія та кліматологія».

Мета дисципліни: формування у магістрів теоретичних знань та практичних навичок, необхідних для роботи у наукових та виробничих підрозділах, для якісного обслуговування різних галузей господарства.

Методичні вказівки спрямовані на організацію лабораторної роботи під час вивчення теми: «Прогноз граду», яка є складовою частиною змістовного практичного модуля: «Прогнози для сільського і лісового господарства».

Методичні вказівки містять лабораторну роботу завдання якої складає – 5 годин занять і 3 години СРС. Оцінювання завдання проводиться за кредитно-модульною системою відповідно до силлабусу навчальної дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди».

При вивченні теми студент повинен:

Знати:

- особливості просторо-часового розподілу граду в Україні;
- синоптичні та метеорологічні умови, що сприяють градоутворенню ;
- оцінювати вплив градових процесів на різні галузі господарства.

Вміти:

- прогнозувати імовірність виникнення граду та його інтенсивність.

Перелік літератури

1. Івус Г.П. Практикум зі спеціалізованих прогнозів погоди. Одеса: Екологія. 2007. 321 с.
2. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди: Підручник./ Одеськ. Держ. Екологічний Університет. Одеса: ТЕС. 2012. 407с.
3. Настанова з метеорологічного прогнозування
URL: https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/.pdf
4. Convective Season Environmental Parameters and Indices [Електронний ресурс] – Режим доступу URL: <http://wx.awcolley.com/Meteorology/ConvParmsIndices#LIFTED>.
5. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

1 ПРОГНОЗ ГРАДУ

1.1 Загальні теоретичні відомості

Град – округлі або неправильної форми частинки льоду, що випадають в основному у теплий період року з потужних купчасто-дощових хмар, для яких характерний значний вертикальний рух і високий вміст вологи. Швидкість падіння градин досягає 25-27 м/с. Градоутворення зумовлено розвитком потужної конвективної хмарності, а також внутрішньомасовими процесами, які розвиваються внаслідок прогрівання повітряної маси від підстильної поверхні. У разі збігу термічної конвекції та внутрішньо масового прогрівання відбувається найінтенсивніше випадання граду.

Розвиток граду відбувається під впливом атмосферних факторів різного масштабу. До них відносяться циркуляційні фактори від макро- до мезомасштабу, що визначають потенційні енергетичні можливості повітряної маси та термодинамічні умови формування і розвитку градових процесів різної інтенсивності, а також мікрофізичні параметри, які обумовлюють механізми зародження і росту граду. Велике значення на розподіл повторюваності граду по території має висота місця над рівнем моря [2].

Град (для НЯ I – діаметр градин 6-19 мм, СМЯ II – 20-39 мм, СМЯ III – ≥ 40 мм) [3] – явище локальне, частіше за все він випадає окремими ізольованими плямами на площах від декількох десятків до декількох сотень квадратних кілометрів, рідше – у вигляді градових доріжок. Максимум повторюваності великого граду припадає на літній сезон. Розмір збитку залежить від розміру градин, їх щільності, інтенсивності випадіння. Градини діаметром понад 30 мм можуть абсолютно знищити посіви, пошкодити дахи будівель, побити птахів та дрібну худобу. Для території України характерне випадіння невеликого інтенсивного граду. Великий град відмічається з кінця квітня до середини вересня. Частіше за все град спостерігається один день (55%). Іноді 2 – 3 доби. Збереження градової ситуації 5 діб і більше не перевищує 4 %. Випадіння граду виникає переважно в 15 – 18 ч. Найбільш схильні до випадання граду гірські і передгірні території Українських Карпат і Криму. Тут щорічно спостерігається град, а великий град 1 раз в 2,5 - 3 роки.

1.2 Синоптичні умови виникнення градової хмарності

Численні небезпечні метеорологічні явища такі, як сильний дощ, град, сильний вітер, шквал і смерч як правило спостерігаються при грозах. Гроза

та перераховані явища є наслідком нестійкості атмосфери, що проявляється у виникненні значних вертикальних рухів дуже вологого повітря при великих градієнтах температури та утворенні потужних купчастих і купчасто-дощових хмар. Головним процесом, що зумовлює утворення гроз всередині однорідних повітряних мас, є термічна конвекція у чистому вигляді або в поєднанні з динамічною, чи під впливом орографії місцевості.

Внутрішньомасові грози та зливи утворюються над континентом головним чином влітку в післяполуденні години, коли температура повітря біля поверхні землі максимальна; над морем ці явища спостерігаються найчастіше взимку та в нічні години. Типовими синоптичними ситуаціями виникнення внутрішньомасових гроз є тилова частина циклону та циклон, що заповнюється. В південних областях України вертикальна потужність хмар сягає 8...10 км, тобто майже до тропопаузи. На решті території України ці грози проявляються мляво, тому що хмари вертикально розвиваються до 4...5 км, а вище існують затримуючі (інверсійні) шари.

Фронтальні грози утворюються внаслідок витіснення теплого вологого повітря наступаючим валом холодного. Зона грозової діяльності (значної горизонтальної протяжності) звичайно розміщується вздовж фронту на декілька сот, а впоперек фронту на декілька десятків кілометрів. Найбільш сприятливі умови для потужного розвитку купчасто-дощових хмар з сильними грозами та зливами утворюються при дивергенції висотних повітряних течій. Грозові хмари на холодних фронтах часто досягають висоти тропопаузи, а іноді перевищують її.

Грози теплих фронтів виникають над Україною значно рідше, їх найбільша активність у вечірні та нічні години, коли циклони рухаються з півдня та південного заходу, а в їх теплі сектори виносяться маси вологого тропічного повітря.

На особливу увагу заслуговують сильні грози, які супроводжуються одночасно зливами з градом, шквалами та іноді смерчами. Утворення подібних надзвичайних явищ погоди спостерігається поблизу чи в центрі невеликого хвильового збурення, де існують зони з досить контрастними температурами. В теплій повітряній масі денні температури звичайно перевищують 30...35 °С, а в холодному повітрі вони коливаються в межах 16...22 °С. Потужні грозові хмари із зливами виникають поблизу центра збурення в післяполуденні години.

1.3 Методи прогнозу граду

Град, в тому числі і сильний град діаметром 20 мм і більше, є одним з найбільш небезпечних метеорологічних явищ, характерних для території України. Він представляють загрозу безпеці людей і здатний завдати значної шкоди галузям економіки. Підвищення справджуваності і

завчасності штормових попереджень про виникнення граду є однією з основних задач, що виникають при оперативному метеорологічному забезпеченні. Складність її вирішення обумовлена недостатньою точністю модельних прогнозів метеорологічних параметрів атмосфери, що характеризують конвективні явища погоди за інтенсивністю, неточності визначення часу і місця їх виникнення, а також рідкісної мережею спостережень і відсутністю, в результаті цього, бази даних небезпечних явищ, що відповідає вимогам щодо повноти і прив'язці до місця виникнення явища.

При прогнозі граду насамперед аналізуються синоптичні умови, сприятливі утворенню градових хмар: у 90...95% випадків їх розвиток над рівнинною місцевістю відбувається на холодних атмосферних фронтах та фронтах оклюзії з боку теплого повітря. Імовірність випадіння граду збільшується, якщо на карті АТ-500 спостерігається адвекція холоду, а на карті АТ-850 - адвекція тепла. Особливо уважно необхідно стежити за положенням і динамікою осередків холоду на АТ-500 [1].

Для прогнозу розвитку конвекції в цілому, і, наприклад, грози практикується використання значень індексів, що характеризують конвекцію за рядом параметрів [4,5].

В першу чергу це індекси, які описують стійкість атмосфери - SHOW, Lifting. Параметр **SHOW** визначається по різниці температур оточуючого середовища на поверхні АТ-500 гПа і частинки, що піднімається по сухоадіабатичному закону з рівня АТ-850 гПа до рівня конденсації, а потім по вологадіабатичному закону до рівня АТ-500 гПа.

Інтенсивні грози формуються в атмосфері з додатною енергією нестійкості у всьому шарі хмароутворення, коли в середній і верхній тропосфері температурні градієнти значно перевищують величину вологадіабатичного. Цю характеристику стану атмосфери описує значення індексу **LIFT**, або індекс підйом:

$$LIFT = T_{500} - T_{\text{parcel}},$$

де T_{500} – температура оточуючого середовища на рівні 500 гПа, °С;

T_{parcel} – температура частинки на рівні 500 гПа, що піднімається з рівня 500 над земною поверхнею при середньому тиску, температурі точки роси.

Величини індексу $LIFT < -9$ є ознакою критичної нестабільності атмосфери, в інтервалі від -6 до -9 характеризують атмосферу як нестабільну, в інтервалі $-6 < LIFT < -3$, як помірно нестабільну, $-3 < LIFT < 0$ як ту, що знаходиться на межі зі стабільністю. Якщо $LIFT > 0$, то атмосфера вважається стійкою, але при цьому потрібно пам'ятати, що слабка конвекція можлива і при значеннях $LIFT$, що змінюються в інтервалі від 0 до 3.

Іншим параметром, що оцінює не тільки статичну стабільність атмосфери, але і вологість на рівні 850 гПа (важливий фактор для розвитку блискавок в конвективних хмарах), є параметр **TOTL** :

$$\text{TOTL} = (T_{850} - T_{500}) + (T_{D850} - T_{500})$$

де T_{850} – температура на рівні 850 гПа, °C; T_{D850} – температура точки роси на рівні 850 гПа.

Індекс **TOTL** одночасно характеризує і стійкість і вологозабезпеченість атмосфери в шарі від 850 до 500 гПа. Якщо значення індексу **TOTL** змінюється в межах 45-50 – можливий розвиток грози; 50-55 – ймовірність розвитку грози висока і можливі інтенсивні грози; 55-60 – над територією прогнозу найбільш ймовірні дуже сильні грози.

Параметр **SWET** є комплексним і об'єднує характеристики вологості і температури, а також швидкість, напрямок і зсув вітру на висотах 1,5 і 5,5 км (850 і 500 гПа):

$$\text{SWET} = 12 \times T_{D850} + 20 \times \text{TERM}_2 + 2 \times \text{SKT}_{850} + \text{SKT}_{500} + \text{SHEAR}$$

де - SKT_{850} і SKT_{500} - швидкість вітру в вузлах (1 вузол = 0,5 м/с) на рівнях 850 і 500 гПа відповідно. **SHEAR** – зсув вітру між рівнями 850 гПа і 500 гПа.

По європейським розрахункам при значеннях індексу **SWET**, що перевищує 300 спостерігаються грози, а при значеннях більше 400 можливий розвиток торнадо; значення індексу **BRCH** від 10 Дж/кг до 45 Дж/кг асоціюється з розвитком обширної конвективної «суперкомірки».

Одним із параметрів, що оцінюють ступінь розвитку конвекції, основаної на вертикальному градієнті температури і вертикальної протяжності шарів високої вологості є параметр **K_{INX}**:

$$K_{\text{INX}} = (T_{850} - T_{500}) + T_{D850} - (T_{700} - T_{D700})$$

де T_{700} – температура на рівні 700гПа, °C; T_{D700} – температура точки роси на рівні 700 гПа.

Якщо **K_{INX}** приймає значення менші ніж 30 °C, можливі з невисоким ступенем ймовірності грози. Значення **K_{INX}** > 30 °C свідчить про наявність потенціалу для розвитку грози. Якщо **K_{INX}** ≥ 40 °C – ймовірність гроз велика.

Величина енергії нестійкості є незмінним предиктором в прогнозі небезпечних явищ, пов'язаних з конвекцією. Високий рівень потенціальної енергії атмосфери є невідмінною умовою того, що частинка, яка піднімається досягне значно більших висот, чим рівень вільної конвекції.

Цю характеристику стану атмосфери достатньо ефективно характеризує параметр **CAPE**.

Вважається, що атмосфері характерна помірна нестійкість, якщо значення CAPE змінюється в межах від 0 до 1000 Дж/кг. Якщо значення CAPE знаходиться в межах від 1000 до 2500 Дж/кг, то атмосфера нестійка (вертикальні швидкості при цьому складають 50 м/с) і можна очікувати значний розвиток конвекції і пов'язаних з нею небезпечних явищ погоди. І тільки при значеннях енергетичного потенціалу більших ніж 2500 Дж/кг атмосферу можна вважати вкрай нестійкою і здатною з високою ймовірністю породжувати грози.

SB CIN (Дж/кг) (Convective Inhibition, CIN) Енергія протидії конвекції. Енергія протидії конвекції записується негативним числом. Значення CIN < -200 Дж / кг досить для припинення конвекції в атмосфері.

Boyden I Міра середньої термодинамічної стабільності в шарі під 700 мб. Індекс Бойдена визначається IZT-200, де I - індекс Бойдена, Z - товщина шару 1000-700 мбар, а T - температура 700 мбар в ° С. Від 99,4 сильна нестабільність.

SRH в шарі 0-3 км ($\text{м}^2/\text{с}^2$) Відносна завихреність шторму (Storm Relative Helicity, SRH).

Відомо більше 20 методів прогнозу граду, наприклад метод П.Г. Пантелєєва (Молдова), метод Г.Д. Решетова та інші, але універсальної методики, яка давала б добрі результати в будь-якому географічному регіоні, не існує. Розглянемо методи, розроблений в Гідрометеорологічному центрі Росії (ГМЦ). Загальним для зазначеного методу є врахування синоптичних умов, побудова та аналіз фактичної або прогностичної кривих стратифікації T і Td.

В основі методу, *розробленого в ГМЦ*, лежить обчислення параметрів конвекції, розрахованих на час її максимального розвитку, а при наявності фронту – на час його проходження. Визначаються та розглядаються такі параметри:

1. Товщина конвективно-нестійкого шару (КНШ, гПа). При наявності декількох КНШ розглядається їх сума.

2. Потужність конвективної хмари $h_k = h_2 - h_1$ (км), де h_2 - висота рівня конвекції, h_1 - висота рівня конденсації для часток, які підіймаються з нижньої межі КНШ.

3. Висоти ізотерм 0, -10, -20, -30, -40 °С.

4. Середня вертикальна швидкість конвективних токів $\bar{w}_k$ (м с^{-1}), для часток висхідних з КНШ. $\bar{w}_k$ розраховується за формулою 1, або за графіками (рис.1.1) з урахуванням тиску на нижній межі КНШ та середньої різниці ($T' - T$), які визначають в хмаровій масі через кожні 50 гПа.

5. Середня вертикальна швидкість в купчасто-дощових хмарах, ($\bar{w}$, см с^{-1}) розраховується за формулою 2.

6. Інтенсивність зливових опадів (I , мм год⁻¹) визначається за формулою 3:

$$\bar{w}_k = \sqrt{R(T' - T) \ln \frac{p_0}{p}}, \quad (1)$$

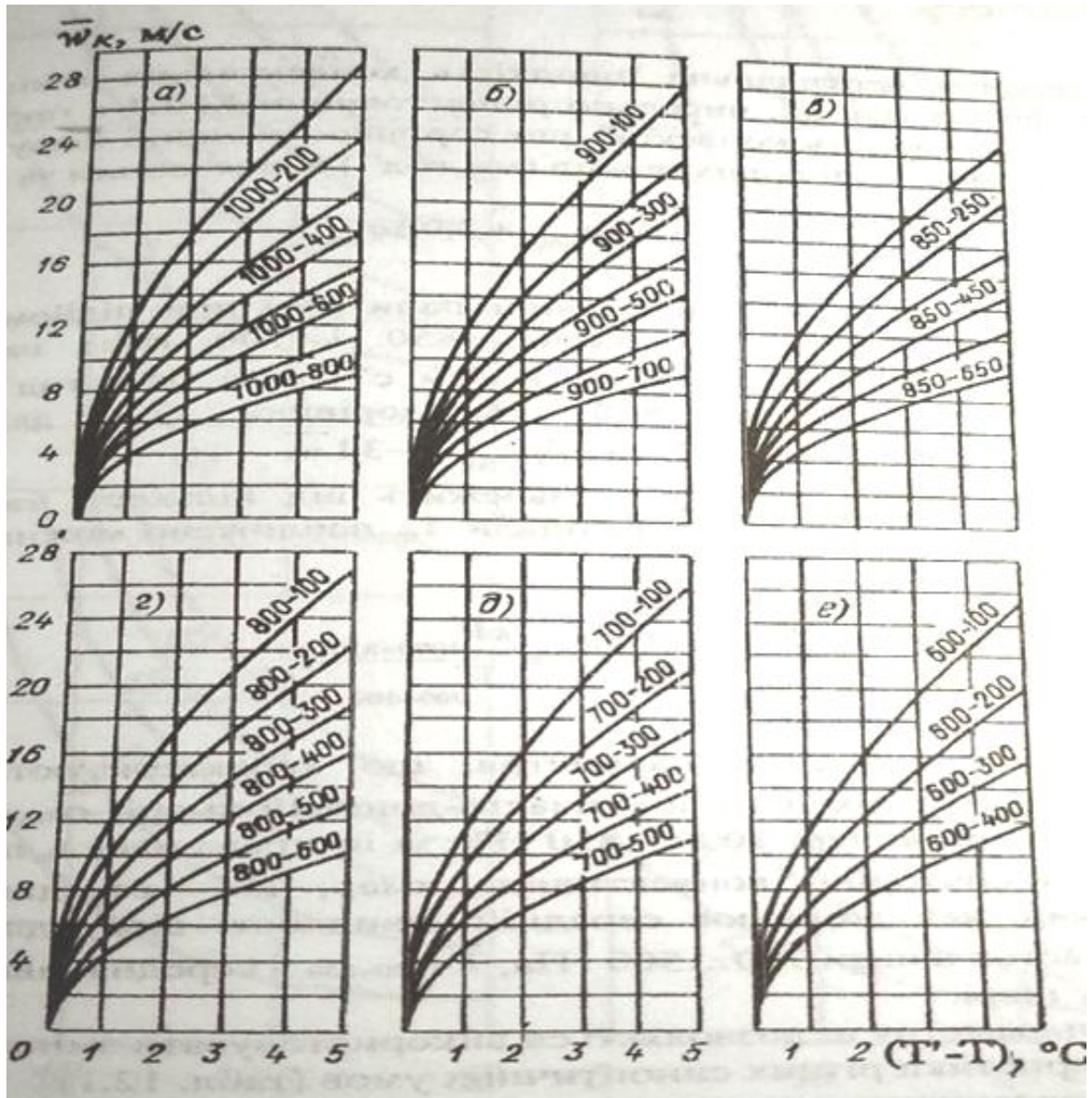


Рис. 1.1 – Графіки для розрахунку конвективної вертикальної швидкості на рівнях 1000, 900, 850, 800, 700, 600 гПа.

Формула для розрахунку $\bar{w}_k$ має вигляд:

$$\bar{w} = \sum_{i=1}^{i=n} 0,33 \cdot 10^{-4} m \bar{w}_k h, \quad (2)$$

де $\bar{w}$ - середня вертикальна швидкість конвективних потоків в см с^{-1} ,
 m - маса КНШ в грамах, чисельно рівна товщині КНШ в гектопаскалях;
 $h = h_1 - h_2$ - потужність конвекції, що дорівнює товщині шару атмосфери в гПа. Інтенсивність зливових опадів (мм год^{-1}) визначається за формулою:

$$I_{\text{зл}} = 1,5\Delta q_{850} + 3,0\Delta q_{700}, \quad (3)$$

де Δq - зміна масової частки водяної пари (‰) при підйомі повітря з відповідних ізобаричних поверхонь (850 і 700 гПа) на величину $\bar{w}$ (гПа год^{-1}). Коефіцієнт переведу $\bar{w}$ (см с^{-1}) в $\bar{w}$ (гПа год^{-1}) у теплий період року для поверхні 850 гПа дорівнює -3,7; для поверхні 700 гПа = -3,1, тобто $\delta p_{850} = -3,7 \bar{w}$, $\delta p_{700} = -3,1 \bar{w}$.

При прогнозі граду необхідно додатково враховувати висоту ізотерм -30°C (h_{-30}) та -40°C (h_{-40}), а також висоту верхньої межі хмар h_2 (км.) У 82 % випадків при $h_2 < h_{-30}$ спостерігались зливи без гроз, при $h_{-40} > h_2 > h_{-30}$ у 87 % відмічались грози без граду, град спостерігався у 77 % випадків при $h_2 > h_{-40}$.

Порядок розрахунків та їх результати пояснимо на прикладах. На рис. 1.2 представлені криві стратифікації T і T_d , які побудовані за даними радіозондування м. Києва за 00 СГЧ 23 червня 1999 року (табл. 1.1). 23 червня очікується максимальна температура повітря біля поверхні землі - 28°C .

Таблиця 1.1 - Дані зондування атмосфери. Київ, 00 СГЧ 23.06.1999р.

Н, м	p, гПа	T, °C	Td, °C
000	991	16,6	14,7
380	967	20,4	15,8
900	934	18,8	13,6
1492	850	14,2	11,0
3102	700	1,4	-2,1
3380	679	0,0	-6,0
5730	500	-14,1	-19,1
7390	400	-26,3	-32,2
9400	300	-43,1	-49,1
9720	287	-46,1	-50,7
10610	250	-52,5	-57,5
11190	230	-53,2	-58,2
12050	200	-51,9	-58,1
13930	150	-52,5	-62,5

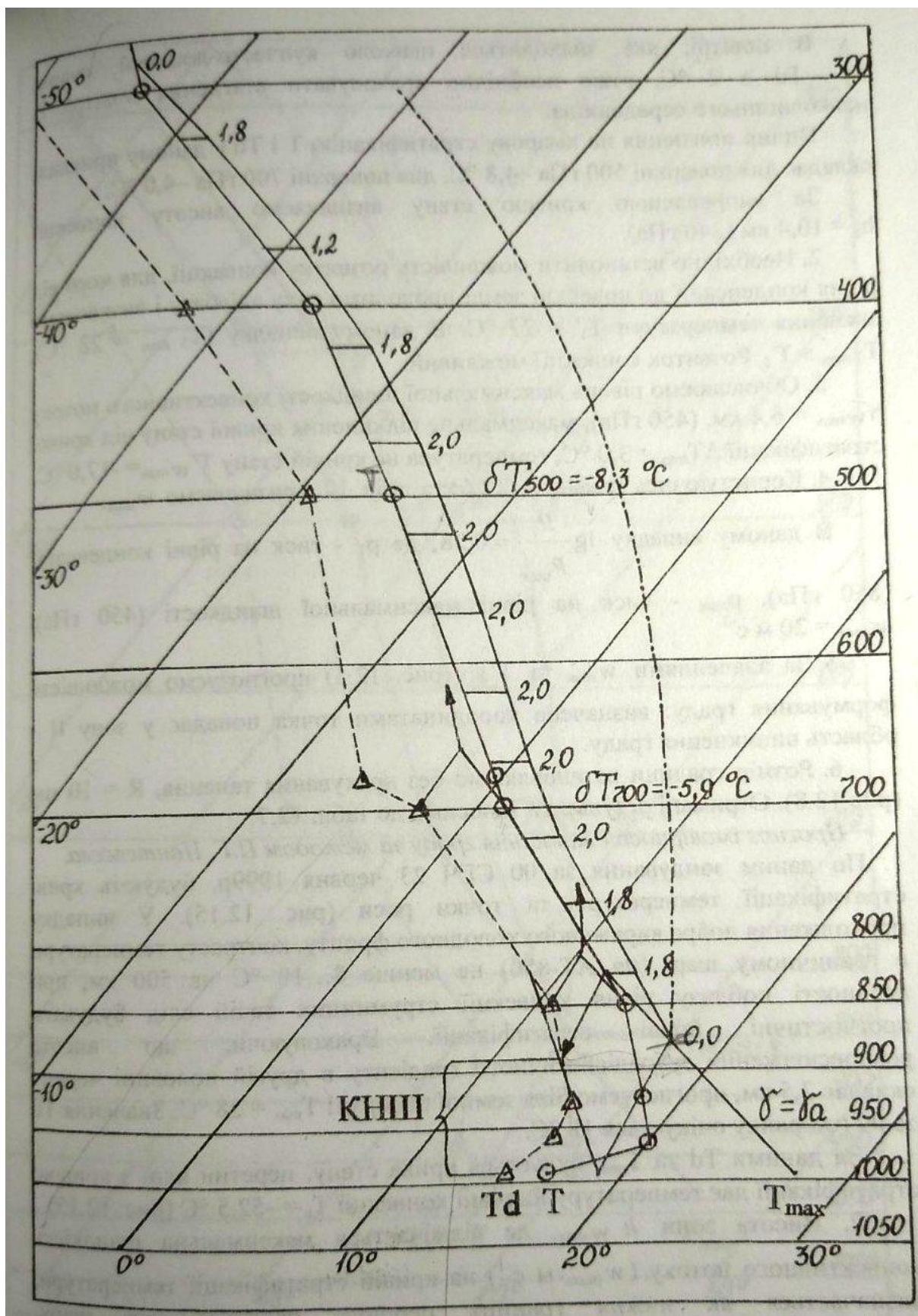


Рис. 1.2 – Прогноз граду за методом ГМЦ.

Прогноз граду за методом ГМЦ.

1. Визначимо можливість розвитку термічної конвекції та побудуємо криву стану для часток повітря, які підіймаються від нижньої межі КНШ.

2. Повітря, що оточує Сб, не знаходиться в стані насичення ($T - T_d > 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), тому адіабатична крива розподілу T та T_d в хмарі виправляється з врахуванням втягнення.

3. За методикою побудови моделі конвекції для часток, які підіймаються від поверхні землі, визначаємо:

товщина КНШ = $990 - 890 = 100$ гПа;

висота рівня конденсації $h_1 = 1,2$ км (880 гПа);

висота рівня конвекції $h_2 = 9,4$ км (290 гПа);

потужність конвекції $h = 9,4 - 1,2 = 8,2$ км ($880 - 290 = 590$ гПа).

4. Висоти ізотерм: $0 \text{ }^{\circ}\text{C} = 3,2$ км, $-10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 4,8$ км, $-20 \text{ }^{\circ}\text{C} = 6,3$ км, $-30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 7,5$ км, $-40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 8,7$ км.

5. Розраховуємо середні значення $(\overline{T'-T})$ в хмарному шарі. Різницю $(T'-T)$ визначаємо через кожні 50 гПа. В даному випадку $(\overline{T'-T}) = 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. За графіком (рис.1.1) визначаємо швидкість конвективних течій $\overline{w_k}$. У цьому прикладі конвекція розвивається в шарі 880...290 гПа, тому $\overline{w_k}$ можна віднести до шару 900...300 гПа; $\overline{w_k} = 12 \text{ м с}^{-1}$.

7. За формулою (2) розраховуємо середню конвективну швидкість в хмарі

$$\overline{w} = 0,33 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 12 \cdot 700 \approx 28 \text{ см с}^{-1}.$$

8. За формулою (3) розраховуємо інтенсивність зливових опадів, для чого від $\overline{w}$, см с^{-1} переходимо до аналогу індивідуальних змін тиску за одну годину (δp , гПа год $^{-1}$).

$$\delta p_{850} = -3,7 \cdot 28 = -104 \text{ гПа год}^{-1};$$

$$\delta p_{700} = -3,3 \cdot 28 = -92 \text{ гПа год}^{-1}.$$

На аерологічній діаграмі визначимо прирощення Δq , використовуючи значення δp_{850} і δp_{700} :

$$\Delta q_{850} = 9,4 - 8,1 = 1,3 \text{ г кг}^{-1};$$

$$\Delta q_{700} = 4,5 - 3,7 = 0,8 \text{ г кг}^{-1}.$$

Інтенсивність зливових опадів:

$$I_{\text{зл}} = 1,5 \cdot 1,3 + 3,0 \cdot 0,8 = 4,4 \text{ мм год}^{-1}.$$

Результати розрахунків параметрів конвекції (заповнена табл. 1.3) порівнюють з даними табл. 1.2. Більшість параметрів конвекції вказують на значну імовірність випадіння граду. Висота ізотерми -40°C знаходиться нижче висоти температури на верхньому рівні хмарності -45°C , тобто $h_2 > h_{-40}$, що вказує на значну імовірність випадіння граду.

Завдання

Зміст завдання.

Визначення можливості формування і випадіння граду (дата за вказівкою викладача).

Вихідні матеріали.

1. Приземна карта і карти АТ-850 та АТ-500 за ранковий строк (Дод. А., рис. А.1-А.3).
2. Дані радіозондування (пункт зазначений викладачем, приклад вихідної інформації в дод. А, табл. А.1-А.2, рис. А.4).
3. Знімок хмарності ШСЗ (дод. А, рис. А.5).

Рекомендації щодо виконання завдання.

Належить керуватися прикладом, наведеними у в пункті «Методи прогнозу граду» на сторінці 13.

Звітні матеріали.

1. Бланки аерологічних діаграм з побудованими стратифікаціями та розрахунками.
2. Розрахунки та текст прогнозу (у робочому зошиті). Результати розрахунків та прогностичні висновки заносять до табл. 1.4.
3. Аналіз параметрів конвективної нестійкості для розглянутого випадку. Параметри конвективної нестійкості атмосфери проаналізувати за даними радіозондування, представленими на сайті University of Wyoming :

URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Питання для самоперевірки

1. Дати визначення явища «град». [2, 244-246]
2. Як поділяють град за інтенсивністю? [3]
3. Яка стратифікація атмосфери сприятлива для виникнення граду? [2, 246-248]
4. Дати характеристику комплексу метеорологічних умов при виникненні шквалів? [2, 244-246]
5. Які синоптичні умови є найсприятливішими для виникнення граду? [2, 244-246].

Таблиця 1.2 – Повторюваність різних значень параметрів конвекції при градових процесах

m _{кнш} , Г		Рівень конвекції h ₂ , км		Висоти ізотерм, км								$\overline{w}_k$, м с ⁻¹		$\overline{w}$, см с ⁻¹		I _{зл} , мм год ⁻¹			
				0,°C	-10,°C	-20,°C	-30,°C	-40,°C											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
Градації параметрів конвекції																			
100-300	301-600	4,0-9,0	9,1-11,5	1,0-2,9	≥3,0	2,0-4,0	>4,0	4,0-6,0	>6,0	h ₂ <h ₃₀	h ₄₀ >h ₂	h ₂ >h ₄₀	10-15	>15	10-70	>70	3-20	>20	
Імовірність градових процесів, %																			
18,8	81,2	9,7	90,3	12,6	87,4	4,2	95,8	18,8	81,2	Град мало імовірний	13,0	77,0	10,8	89,2	8,2	91,8	17,5	82,5	

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків параметрів конвекції та прогноз граду. Київ, 23.06.1999 р.

m, г, ΔН, гПа	h ₁ , км, гПа	h ₂ , км, гПа	h, км, гПа	Висота ізотерм, км					$(T^* - T)$, °C	$\overline{w}_k$, м/с	$\overline{w}$, см/с	I _{зл} , мм/год	Висновок
				0, °C	-10, °C	-20, °C	-30, °C	-40, °C					
100 100	1,2 880	9,4 290	8,2 590	3,2	4,8	6,3	7,5	8,7	1,5	12	28	4,4	Значна імовірність граду

Таблиця 1.4 – Результати розрахунків параметрів конвекції та прогноз граду.

m, г, ΔН, гПа	h ₁ , км, гПа	h ₂ , км, гПа	h, км, гПа	Висота ізотерм, км					$(T^* - T)$, °C	$\overline{w}_k$, м/с	$\overline{w}$, см/с	I _{зл} , мм/год	Висновок
				0, °C	-10, °C	-20, °C	-30, °C	-40, °C					

ДОДАТОК А

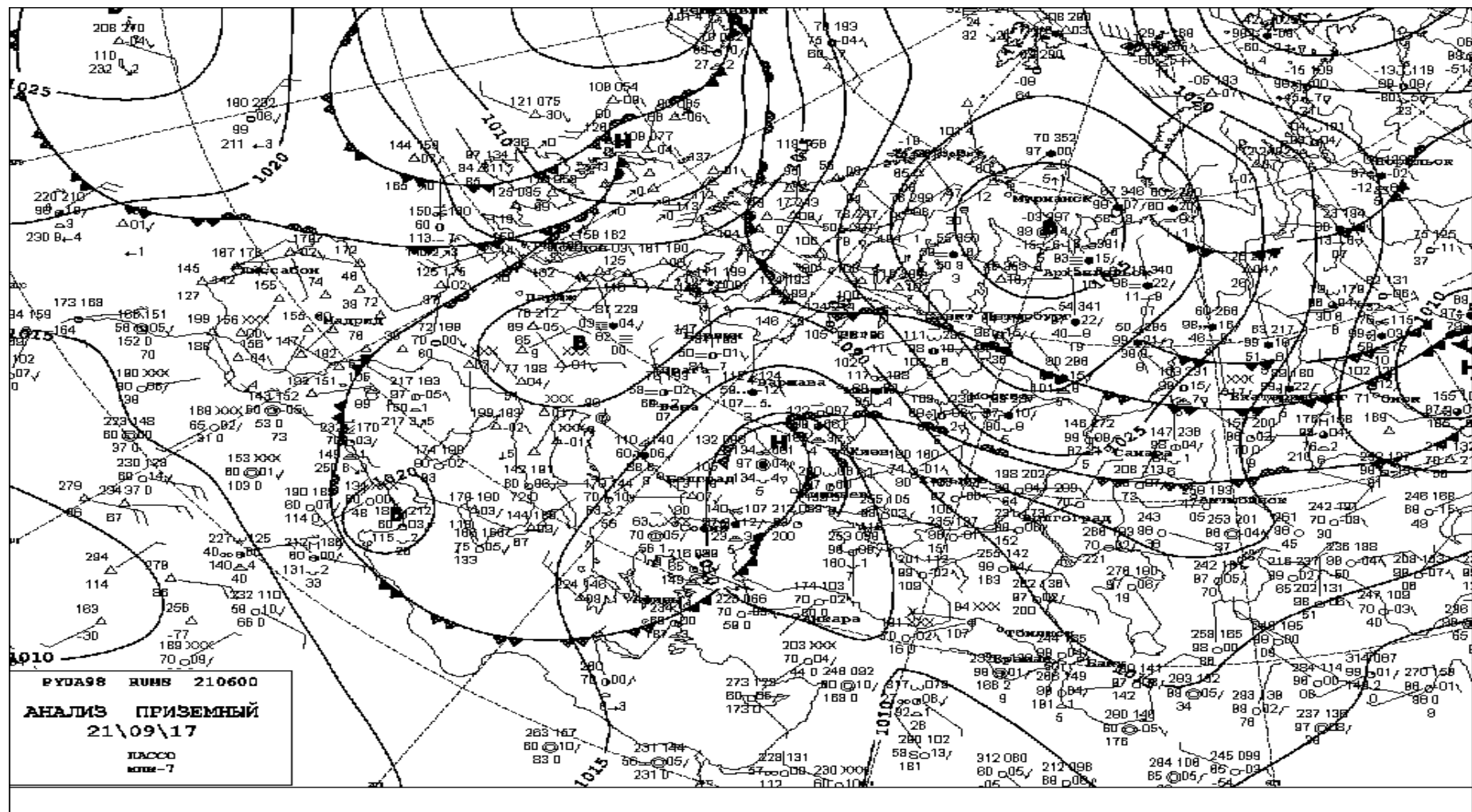


Рис. А.1. Аналіз приземний за 21.09.2017 р., 00 UTC

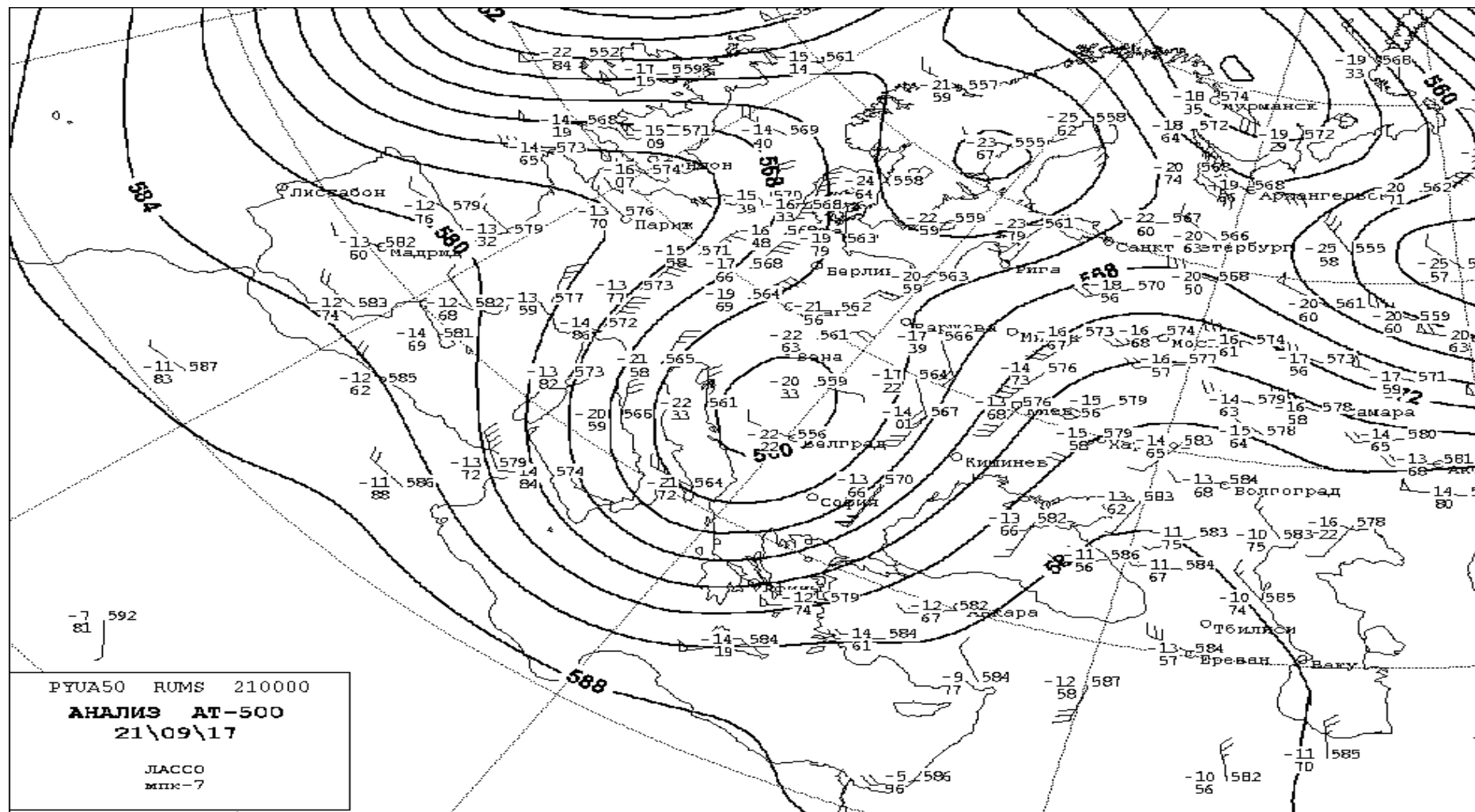


Рис. А.2. Анализ АТ-500 за 21.09.2017 р., 00 UTC

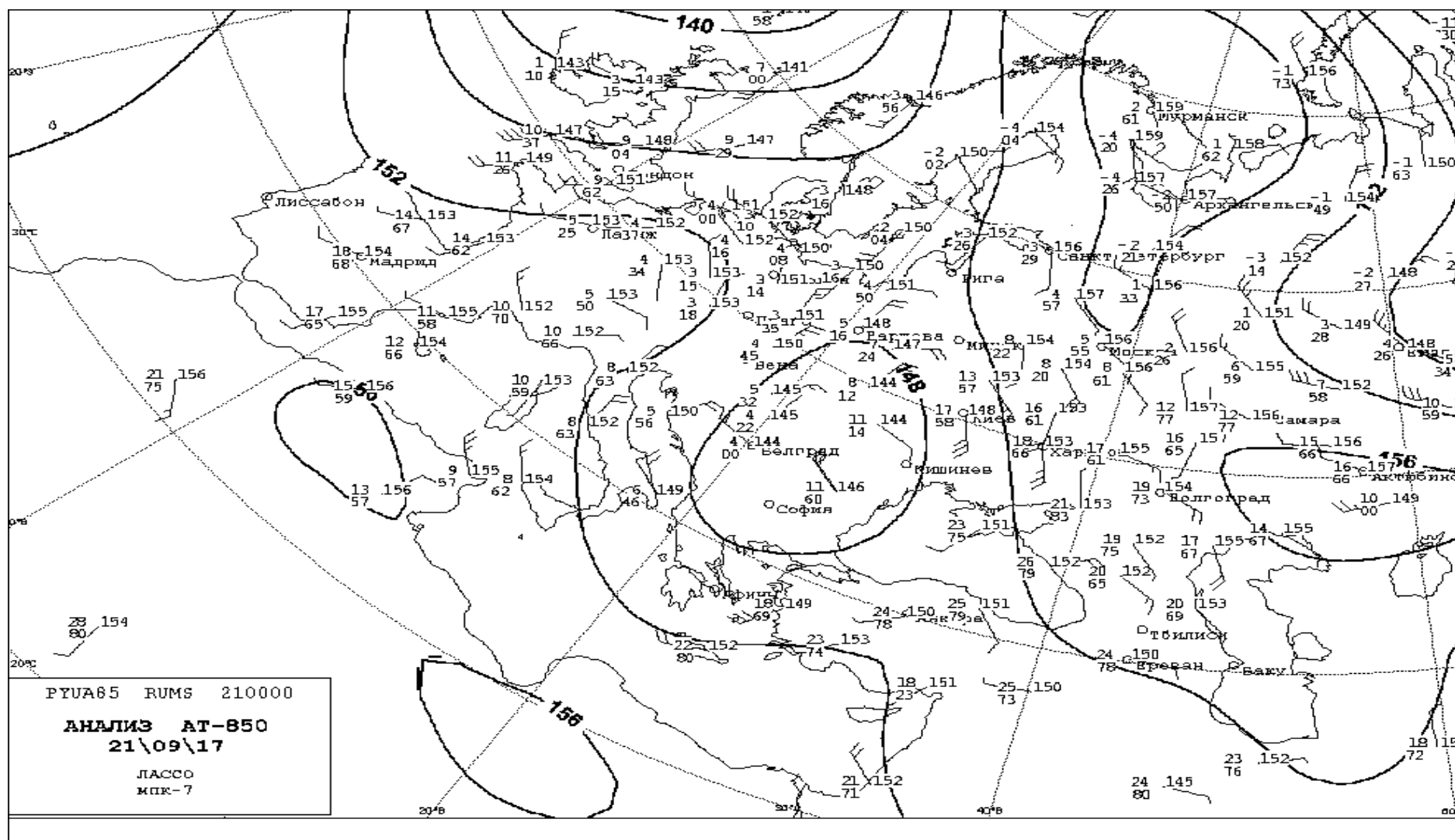


Рис. А.3. Анализ АТ-850 за 21.09.2017 р., 00 UTC

Таблиця А.1 - Дані радіозондування ст. Київ, строк 00(03) год., 21.09.2017р.

PPP	TTT	TdTd	DD	dd	FF	HHH
1000						92 ²⁰⁰
991	14.0	9.6	4.4	100	3	0
940	16.0	8.0	8.0	115	18	
925	18.0	10.0	8.0	135	16	754
905	21.0	13.0	8.0			
850	16.8	8.8	8.0	155	14	1475
848	17.0	10.0	7.0			
834	16.0	10.0	6.0			
818	16.8	0.2	17.0	175	12	
795	15.4	-2.6	18.0			
700	6.6	-5.4	12.0	185	12	3109
564	8.1	-12.4	4.3			
552	9.3	-13.7	4.4			
504	-12.7	-29.7	17.0			
500	-13.3	-31.3	18.0	195	18	5760
499	-13.3	-31.3	18.0			
400	-26.5	-37.5	11.0	195	21	7400
391	-28.5	-37.5	9.0			
313	-40.5	-44.6	4.1			
300	-42.5	-46.9	4.4	205	17	9420
275	-46.5	-51.5	5.0			
250	-53.1	-59.1	6.0	215	21	10620
212	-63.3	-69.3	6.0			
200	-62.3	-68.3	6.0	210	27	12030
160	-55.9	-61.9	6.0			
150	-55.5	-61.5	6.0	220	21	13820
144	-54.5	-61.5	7.0			
101	-59.7	-67.7	8.0			
100	-39.9	-48.9	9.0			16380

33345 UKKK Kyiv

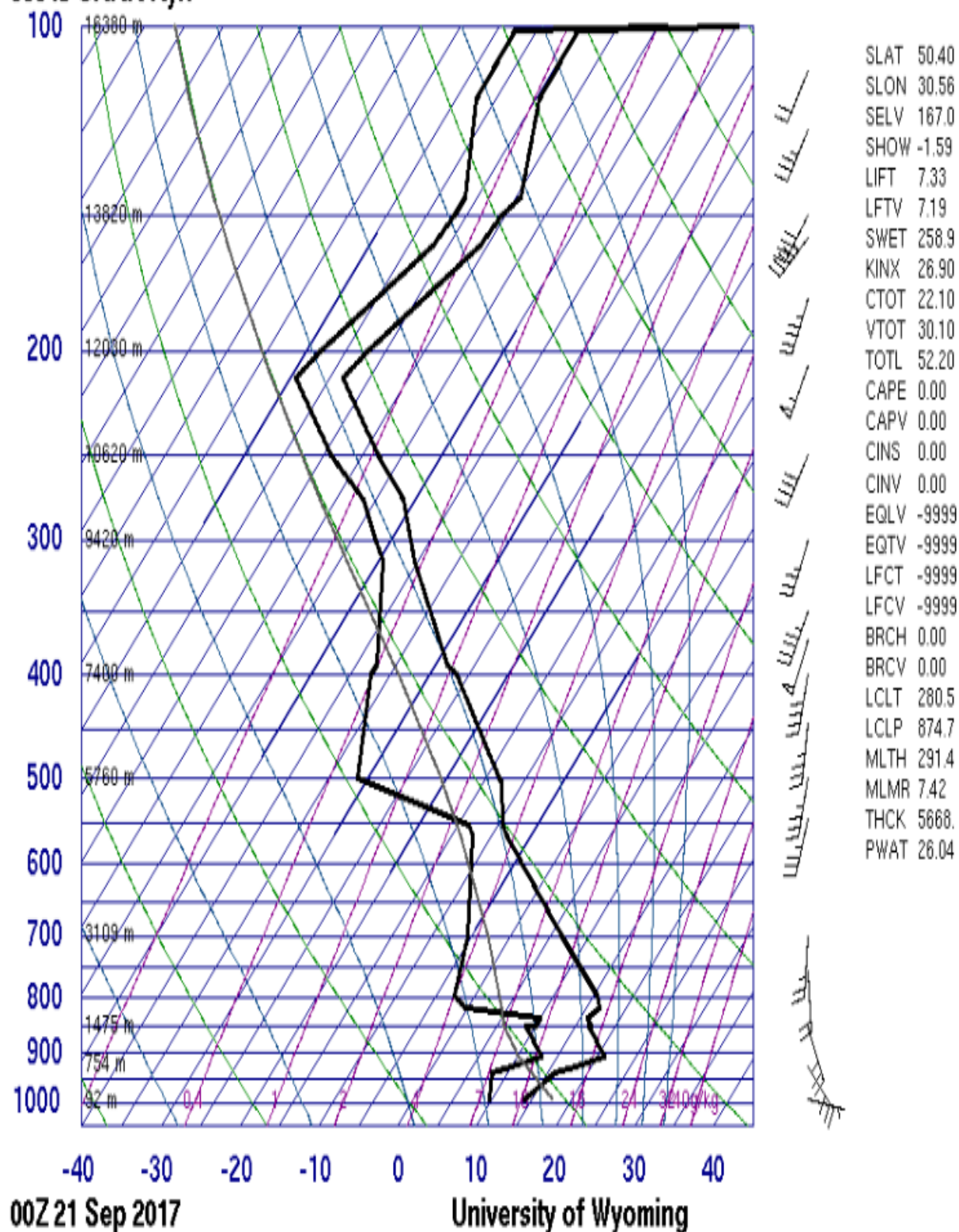


Рис. А. 4. Аерологічна діаграма за 21.09.2017 р. [5]

Station information and sounding indices

Station identifier: UKKK
Station number: 33345
Observation time: 170921/1200
Station latitude: 50.40
Station longitude: 30.56
Station elevation: 167.0
Showalter index: 3.50
Lifted index: -0.23
LIFT computed using virtual temperature: -0.57
SWEAT index: 102.95
K index: 15.70
Cross totals index: 11.90
Vertical totals index: 32.90
Totals totals index: 44.80
Convective Available Potential Energy: 4.56
CAPE using virtual temperature: 21.98
Convective Inhibition: -503.84
CINS using virtual temperature: -426.68
Equilibrium Level: 444.00
Equilibrium Level using virtual temperature: 429.02
Level of Free Convection: 522.00
LFCT using virtual temperature: 542.37
Bulk Richardson Number: 0.04
Bulk Richardson Number using CAPV: 0.18
Temp [K] of the Lifted Condensation Level: 279.01
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level: 760.83
Mean mixed layer potential temperature: 301.69
Mean mixed layer mixing ratio: 7.76
1000 hPa to 500 hPa thickness: 5693.00
Precipitable water [mm] for entire sounding: 19.63

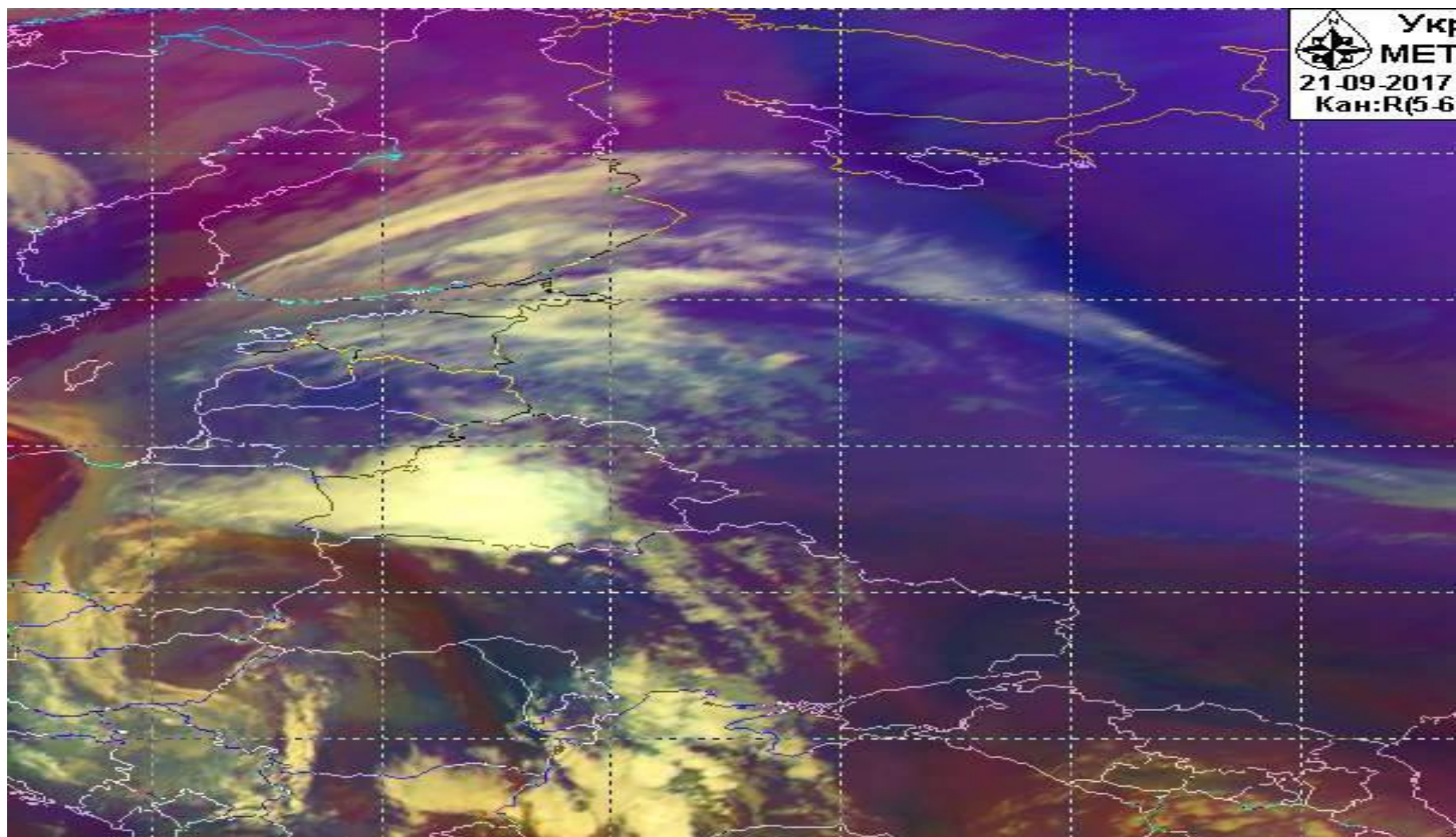


Рис. А.5. RG-снимки, 21.09.2017 р. 18 UTC