

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для практичної роботи з дисципліни

«Довгострокові прогнози погоди»

на тему «Розрахунки індексів циркуляції»

ОДЕСА – 2012

Методичні вказівки для практичної роботи з дисципліни «Довгострокові прогнози погоди» для студентів 5 курсу, напрям підготовки – «Гідрометеорологія», спеціальність «Метеорологія» / Укладач: к.геогр.н., доц. Нажмудінова О.М.; укр., 30 стор.

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Довгострокові прогнози погоди» - складова частина державного стандарту освіти на рівні спеціаліста. Цей курс є обов'язковим для освітньо-професійної підготовки студентів за спеціальністю «Метеорологія», 7.04010501.

**Метою дисципліни** є надання студентам знань та практичних навичок, необхідних для роботи у наукових та виробничих підрозділах з метою якісного метеорологічного забезпечення різноманітних споживачів та організацій України при складанні довгострокових прогнозів погоди.

Дані методичні вказівки спрямовані на організацію самостійної роботи студентів під час вивчення тем: «Типізація макропроцесів за допомогою індексів циркуляції», «Розрахунки індексів циркуляції» і при виконанні практичних завдань за вказаними темами - завдання складає 7 годин аудиторних занять і 10 годин СРС.

Оцінювання завдання проводиться за кредитно-модульною системою відповідно до робочої програми.

Після вивчення теми студент повинен:

**знати:**

- принципи типізації синоптичних процесів за допомогою індексів циркуляції;
- методи аналізу циркуляційних характеристик.

**вміти:**

- проводити розрахунки і аналіз індексів циркуляції різними методиками;
- визначати типи циркуляції відповідно різних класифікацій макропроцесів;
- встановлювати зв'язок між формою циркуляції і виникненням аномалій погоди.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1985. - 341 с.
2. Бауман И.А., Кондратович К.В., Савичев А.И. Практикум по ДПП. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - 104 с.
3. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978. - 343 с.
4. Івус Г.П., Іванова С.М. Довгострокові прогнози погоди: Конспект лекцій. - Одеса: Екологія, 2011. - 113 с.
5. Руководство по долгосрочным прогнозам погоды на 3-10 дней, ч.1. - Л.: Гидрометеоиздат, 1968. - 351 с.

## ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### Індекси циркуляції атмосфери

#### Типи атмосферної циркуляції та принципи їх встановлення

В режимі атмосферної циркуляції великих регіонів відбувається чергування зональних і меридіональних процесів. Визначені макропроцеси розвиваються впродовж декількох днів, іноді протягом кількох тижнів, потім настає відносно швидка перебудова і розпочинається новий макропроцес з іншим варіантом географічної локалізації і характером переміщення баричних утворень, у тому числі і центрів дії атмосфери. Зміна макропроцесу невинно супроводжується істотними змінами макропогоди великих районів. В окремі періоди макропроцеси стають надзвичайно стійкими, внаслідок чого створюються циркуляційні умови для формування значних аномалій погоди.

Безперервні зміни атмосферної циркуляції дозволяють виявити різні за часом і простором форми або типи атмосферної циркуляції.

*Типом циркуляції атмосфери* називають тривалий на певному відрізку часу розподіл у просторі основних баричних утворень та напрямків їх переміщення.

Типи циркуляції встановлюються шляхом класифікації безперервної послідовності синоптичних процесів на ряд стійких станів за допомогою *критеріїв класифікації*. Така класифікація повинна базуватися на врахуванні основних факторів, що обумовлюють характер загальної циркуляції атмосфери і її зміни у часі. Про роль цих факторів можна судити по ряду якісних і кількісних параметрів, сукупність яких може розглядатися як комплексний критерій поділу макропроцесів за типами циркуляції.

До теперішнього часу ще не існує класифікації макропроцесів, в якій би при встановленні різних типів враховувалися усі діючі фактори і параметри, що їх характеризують. Однією з основних причин цього є відсутність необхідних даних про багатьох з відомих факторів і параметрів. Переважна більшість існуючих класифікацій опирається на облік лише окремих параметрів, які не можуть повною мірою відобразити діючі фактори і основні особливості макропроцесів, що віднесені до кожного з типів. Цим пояснюється наявність значної кількості класифікацій, істотно відмінних одна від одної як за характером встановлених типів, так і за факторами, на врахуванні яких побудовані самі класифікації.

Усі класифікації макропроцесів засновані на *принципі аналогічності* - стосовно атмосфери припускається, що після подібних початкових умов розвиток процесів і зміни погоди у майбутньому також будуть подібними або аналогічними. Розробка повної класифікації атмосферних процесів при відповідній організації синоптичного архіву дозволяє підбирати аналогічні випадки з минулого і використовувати їх для обґрунтування прогностичних рішень. Проте, такі класифікації представляють інтерес лише як характеристики типових синоптичних ситуацій, що спостерігаються у даному районі і є структурними елементами кліматичних полів.

Сучасні класифікації, як правило, базуються на використанні статистичної процедури розпізнавання образів.

Основні недоліки якісних класифікацій пов'язані з недосконалістю використовуваної системи критеріїв. Для успішного встановлення типів циркуляції дуже важливий правильний вибір критеріїв класифікації. Він не повинен бути занадто

*жорстким*, оскільки при цьому далеко не всі синоптичні процеси можна буде віднести до того чи іншого типу циркуляції, а, отже, безперервного архіву типів не сформується, але критерій класифікації не повинен бути і занадто *розпливчастим*, адже в такому випадку в один і той же тип можуть потрапити принципово різні між собою синоптичні процеси.

Один з найбільш значущих критеріїв пов'язаний з вибором *району локалізації макропроцесу*. Більшість синоптичних класифікацій обмежується аналізом процесів характерного часового масштабу (порядку однієї доби) і відповідного просторового масштабу.

Важливу роль відіграють критерії, зручні для діагнозу макропроцесів за синоптичними картами. До них відносяться: *характер переважаючого руху і стаціонування баричних систем в окремому районі, структура баричного поля, арктичні вторгнення, виходи південних циклонів, чергування зональних і меридіональних переносів*, тощо. Приземні і висотні карти погоди дозволяють з більшою чи меншою точністю встановити тип циркуляції за траєкторіями баричних утворень або за характерним розташуванням висотних улоговин і гребенів. Не менш важливою є також характеристика інтенсивності процесу з одним і тим же типом циркуляції.

Поділ усіх синоптичних процесів на два основних класи – з *меридіональним і зональним станом циркуляції* – є лише перша узагальнена класифікація. Після такої класифікації необхідно розрізнити меридіональні процеси за географічною локалізацією основних особливостей баричного поля кожного з процесів, якими виступають гребені і улоговини висотно-фронтальної зони (ВФЗ).

*Інтенсивність зональної циркуляції, обумовленої градієнтом температури екватор-поліс, і меридіональної циркуляції, обумовленої градієнтом океан-материк, знаходиться у складному взаємозв'язку*. В результаті, окремо за однією з складових (зональною чи меридіональною) неможливо отримати правильну уяву про справжній стан циркуляції атмосфери і про відношення того чи іншого процесу до зонального або меридіонального.

*Кількісними показниками інтенсивності зональної та меридіональної циркуляції повітряних мас над північною півкулею або над окремими її регіонами є індекси циркуляції*. Іноді у вигляді індексів циркуляції використовують *чисельні характеристики форми баричного поля атмосфери: лапласіани тиску або величини, що характеризують інтенсивність циклонічної або антициклонічної діяльності над певним районом*. Такі показники дозволяють отримати додаткові характеристики типів макропроцесів.

*Зональний стан* циркуляції, об'єктивно встановлений за допомогою кількісних показників, майже остаточно визначає райони виникнення і напрям переміщення циклонів та антициклонів над даною територією, а, отже, і характеристики розподілу багатьох метеорологічних величин.

*Меридіональний стан* циркуляції характеризує лише значне збурення зонального потоку, при якому спостерігається чергування висотних улоговин і гребенів, а також меридіональні циклонічні і антициклонічні поля уздовж паралелей біля поверхні землі. Сама по собі інтенсивність меридіонального обміну не передбачає географічну локалізацію цих особливостей баричного поля: за однієї і тієї ж інтенсивності меридіональної циркуляції можливе протилежне розташування гребенів і улоговин, що зумовлює, в свою чергу, протилежні характеристики метеовеличин в одних і тих же географічних районах. Цей факт виступає ще однією з причин наявності великого числа класифікацій і ще більшого числа різних типів процесів.

Класифікації синоптичних процесів можуть бути *регіональними* (Арктика, Антарктика, Європа, Далекий Схід, Північна Америка та ін.) Оскільки атмосферні процеси мають велику мінливість і рідко бувають стаціонарними впродовж місяця та сезону, усі класифікації створюють для відносно коротких інтервалів часу. Це – *природно синоптичний період, елементарний синоптичний процес, елементарний циркуляційний механізм*. Для характеристики особливостей циркуляції атмосфери впродовж тривалих строків (місяць, сезон, рік, циркуляційна епоха) використовується повторюваність типів циркуляції в абсолютних значеннях та у відхиленнях від норми.

Існує численність інших, частинних класифікацій окремих метеорологічних полів: тиску, температури повітря, кількості опадів і т.п., усі вони побудовані для вирішення конкретних задач досліджень або прогнозу атмосферних процесів.

Значного поширення набула *узагальнена класифікація атмосферних макропроцесів для позатропічних широт північної півкулі*, розроблена у 40-х роках ХХ ст. *Б.Л. Дзердзівським* спільно з *В.М. Курганською* і *З.М. Вітвицькою*. Типізація заснована на врахуванні циркуляційного зв'язку між північчю і півднем північної півкулі, який характеризується кількістю та напрямком *арктичних вторгнень* у помірні широти.

Це цілісна синоптична класифікація, в якій атмосферні процеси на півкулі розглядаються як *елементарний циркуляційний механізм – ЕЦМ*. Принципові положення цієї класифікації передбачають, що «...в кожному даному нетривалому періоді часу...» існує конкретний циркуляційний механізм, який забезпечує великомасштабні рухи атмосфери над півкулею, «...не випадкова комбінація окремих синоптичних процесів...», а «...реальний цілісний макропроцес...» на півкулі. Існує кінцеве, порівняно невелике число визначених ЕЦМ, у кожному з яких існують свої особливості основних тропосферних переносів. Перехід від одного ЕЦМ до іншого відбувається швидко, шляхом перебудови термобаричних полів і зміни орієнтації повітряних потоків.

Головний «порушник» зонального переносу – *вторгнення антициклонів* із полярних, а іноді і з південних широт (субтропічні зони дії атмосфери), та процеси блокування. У якості ще однієї ознаки меридіональності атмосферної циркуляції розглядається *вихід південних циклонів* у помірні широти, який певною мірою відображує сполученість циркуляції у позатропічних широтах з процесами у субтропічній зоні.

Всього визначено 13 різних типів ЕЦМ. Усі ЕЦМ об'єднані в 4 великі групи:

1. Зональна циркуляція - арктичні вторгнення відсутні.
2. Циркуляція з порушенням зональності - одне арктичне вторгнення (в різних районах).
3. Меридіональна північна циркуляція з двома і більше одночасними вторгненнями антициклонів з півночі.
4. Меридіональна південна циркуляція при відсутності полярних вторгнень але з виходом 2-4 південних циклонів.

Середня тривалість типів коливається від 3,6 до 5,3 діб.

Оскільки в цій класифікації не були встановлені закономірності зміни типів макропроцесів, то безпосередньо у прогностичній роботі її не використовують, проте, вона знайшла застосування у кліматологічних дослідженнях та при вивченні багаторічних коливань циркуляції атмосфери у північній півкулі.

*Типізація Вангенгейма Г.Я. – Гірса О.О.* доведена до прогнозу і лежить у основі *макроциркуляційного методу* довгострокових прогнозів погоди. Макропроцеси спочатку класифікувалися за знаком географічної локалізації основних виносів тепла і

холоду, а також головних баричних утворень впродовж *елементарного синоптичного процесу - ЕСП*.

*Елементарний синоптичний процес* – це процес, упродовж якого в межах атлантико–європейського сектору північної півкулі зберігається географічний розподіл знаку баричного поля і напрям основних переносів повітря. Тривалість ЕСП зазвичай складає 2 – 4 дні. Кожний процес має свою назву і типову карту-схему, на якій представлені циклонічні і антициклонічні поля і траєкторії баричних утворень. Для встановлення меж ЕСП існують кількісні і якісні прийоми. При кількісних прийомах вираховують індекси циркуляції різними методами, при переході до іншого ЕСП тип циркуляції змінюється. Зміна ЕСП визначається напрямом перетворення діючої форми атмосферної циркуляції.

Один з принципів класифікації макропроцесів Вангенгейма полягає в *аналізі процесів меншого просторово-часового масштабу на фоні більш великомасштабних процесів*.

Використовуючи збірні критерії аналогічності, Вангенгейм Г.Я. звів усі типи ЕСП (26) в *три форми атмосферної циркуляції* за ознакою переваги певних напрямків тропосферного переносу повітряних мас: *західну W, східну E та меридіональну C*.

В якості критерію класифікації використано конфігурацію ВФЗ на картах АТ-500. Ця типізація була побудована в основному за приземними картами погоди для атлантико-європейського сектору. Розвиток мережі спостережень і поява глобальних карт надали змогу О.О. Гірсу розповсюдити класифікацію атмосферних процесів на усю північну півкулю. Це дуже важлива якість класифікації, оскільки синоптичні процеси в західній та східній півкулях, особливо у довгочасні періоди, виявилися тісно пов'язані між собою.

В американсько-тихоокеанському секторі також було визначено три форми циркуляції, тобто розподіл улоговин та гребенів над відповідними континентами і океанами, практично схожі з формами *W, E, C* в атлантико-європейському секторі – *один зональний (З) і два меридіональних (М1 і М2)*. Таким чином, циркуляція над усією північною півкулею характеризується сполученням форм в обох секторах, що дає *дев'ять основних форм макропроцесів: W3, Wm1, Wm2, E3, Em1, Em2, C3, Cm1, Cm2*.

Форми атмосферної циркуляції *W, E, C* і їх різновиди у північній півкулі не є статистичними шаблонами, а виступають як стадії безперервного процесу перебудови одних форм в інші. Розвиток і перетворення цих форм пов'язане з перерозподілом повітряних мас, зміною локалізації основних тропосферних осередків холоду та основних виносів тепла.

На рис.1 представлено географічне положення основних гребенів і улоговин в середній тропосфері *H500* при кожній зі вказаних 9 форм циркуляції на північній півкулі у холодну та теплу пору року. Схеми демонструють, що форми атмосферної циркуляції зафіксують визначений характер довгих термобаричних хвиль у тропосфері і нижній стратосфері. Відмінність цих форм полягає, насамперед, у амплітуді хвиль та географічній локалізації основних гребенів і улоговин, включаючи сезонні особливості.

Найбільше застосування на практиці знайшла *регіональна класифікація* макропроцесів А.Л. Каца.

Класифікація розроблена з метою опису синоптичних умов впродовж *природно синоптичного періоду (ПСП)* та використовується в методах середньострокових, місячних і сезонних прогнозів.

*Природно синоптичний період* – це відрізок часу, впродовж якого зберігаються певним чином орієнтовані синоптичні процеси при збереженні знаку основних баричних полів на просторі природно синоптичного району (*ПСР*).

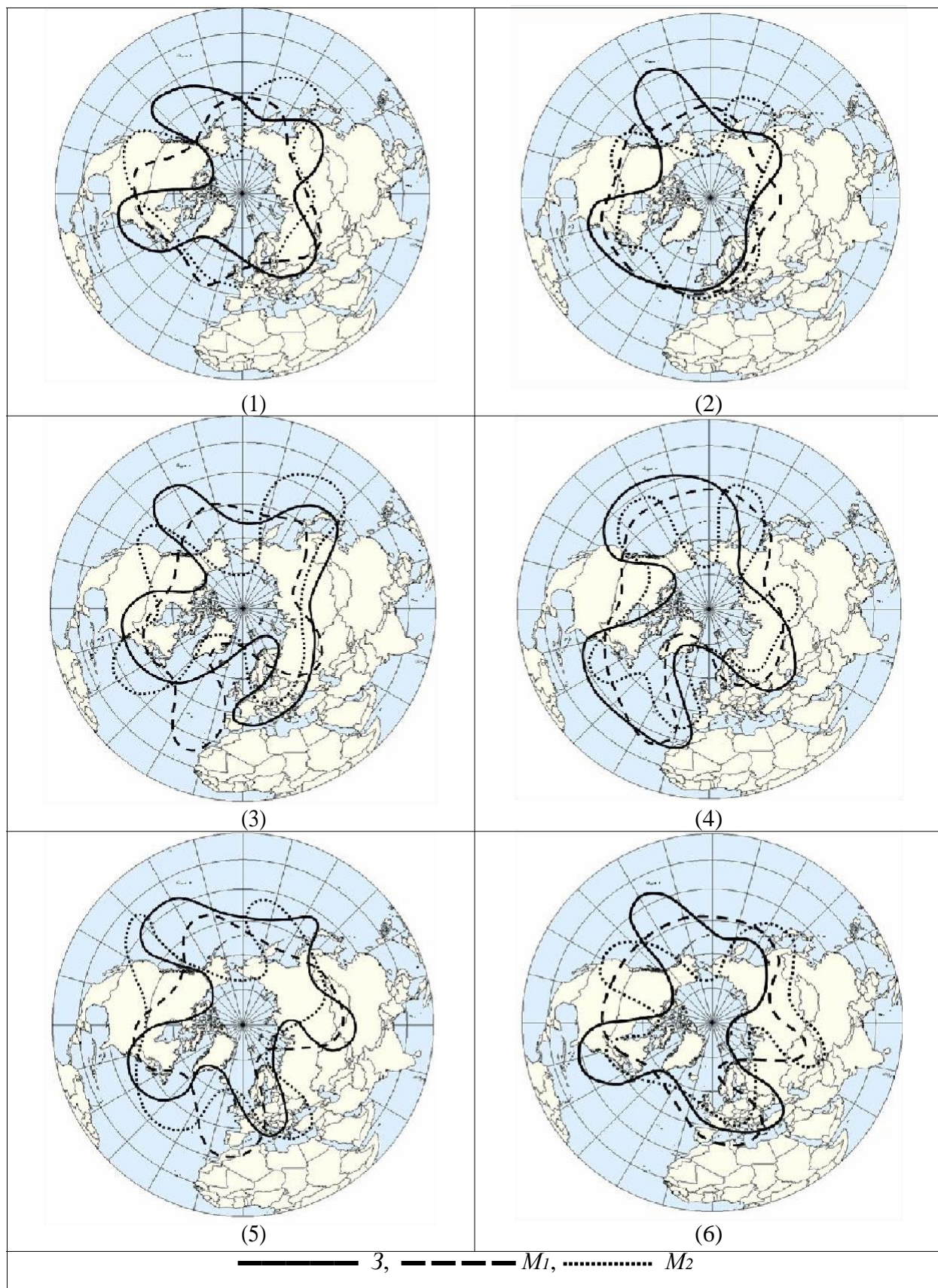


Рис. 1. Схеми положень висотних улоговин і гребенів (AT-500) при різновидах форм атмосферної циркуляції: (1) – W зима, (2) – W літо; (3) – C зима, (4) – C літо; (5) – E зима, (6) – E літо.



*Природно синоптичний район* – сектор північної півкулі Землі, в якому зміна ПСП здійснюється одночасно на всьому його просторі. На північній півкулі визначено три ПСР: перший включає Атлантичний океан і Євразію до р. Єнісей (50° зах.д. – 90° сх.д.), другий - східний Сибір, Примор'я та західну половину Тихого океану (90° сх.д. - 165° зах.д.), третій охоплює східну частину Тихого океану і Північну Америку (165° зах.д. - 50° зах.д.).

Природно синоптичний період (ПСП) може тривати від 4 до 10 днів, при цьому напрямок переміщення основних циклонів та антициклонів залишається постійним, а межі географічних осередків, в яких переважають циклонічна і антициклонічна циркуляції, змінюються незначно. Доведене *прогностичне значення поняття ПСП: якщо за перші дві доби ПСП (які називають тенденцією ПСП) буде встановлено, в якому напрямку зміщуються баричні утворення, то з великим ступенем вірогідності у тому ж напрямку вони будуть рухатися впродовж останньої частини ПСП.* При цьому розподіли осередків тепла та холоду, надлишку та дефіциту опадів також будуть майже незмінними.

Класифікація макропроцесів А.Л. Каца призначена для характеристики умов циркуляції атмосфери на просторі Європи та західного Сибіру. Критерієм визначення типів циркуляції є географічне положення висотних улоговин і гребенів на карті *АТ-500*.

Для об'єктивізації виділення типів використовується розрахунок *індексів циркуляції А.Л. Каца* в північній (52...70° півн.ш.) та південній (35...52° півд.ш.) зонах усього району класифікації.

Класифікація містить 5 типів циркуляції: *зональну форму циркуляції та 4 меридіональних.*

*Зональний тип циркуляції.* В зональних процесах географічна локалізація гребенів і улоговин через їх значну рухливість і малу амплітуду не має вирішального впливу на загальні характеристики макропроцесу. Протягом року на картах *АТ-500* виділяється добре виражений циклонічний вихор в районі північного полюсу – циркумполярний вихор з майже круговими ізолініями. Різниця між зимовими і літніми картами полягає лише в інтенсивності зональної циркуляції: меридіональні градієнти геопотенціалу при зональних процесах в холодне півріччя значно перевищують такі ж самі для теплої частини року. Ця відмінність обумовлена зменшенням меридіонального температурного градієнту внаслідок суттєвого підвищення до літа температури повітря в помірних і високих широтах (рис. 2 – 3).

В холодну пору року сибірський антициклон значно послаблений і займає положення над крайніми районами східного Сибіру, ісландська депресія розповсюджується на Баренцове і Карське моря, а її улоговини - на Європу. В тепле півріччя субтропічні антициклони займають більш північне положення, при цьому осередок від'ємної аномалії тиску розташовується у центральних районах європейського сектору і західному Сибіру, а на півдні євразійського континенту простежується чітко оформлена і витягнута вздовж паралелей смуга високого тиску, всередині якої виділяються самостійні антициклонічні ядра.

При зональній циркуляції *послаблюється міжширотний обмін*, що обумовлює *аномалії температури*. В холодне півріччя в помірних широтах Євразії формується додатна аномалія температури з осередком над центральним Сибіром. В приполярних районах виникає від'ємна аномалія температури в результаті від'ємного радіаційного балансу. В субтропічних широтах відбувається охолодження повітря за рахунок тиллових затоків в системах західних циклонів, а також при нічному радіаційному вихолодженні в розвиненій зональній смузі високого тиску субтропіків.

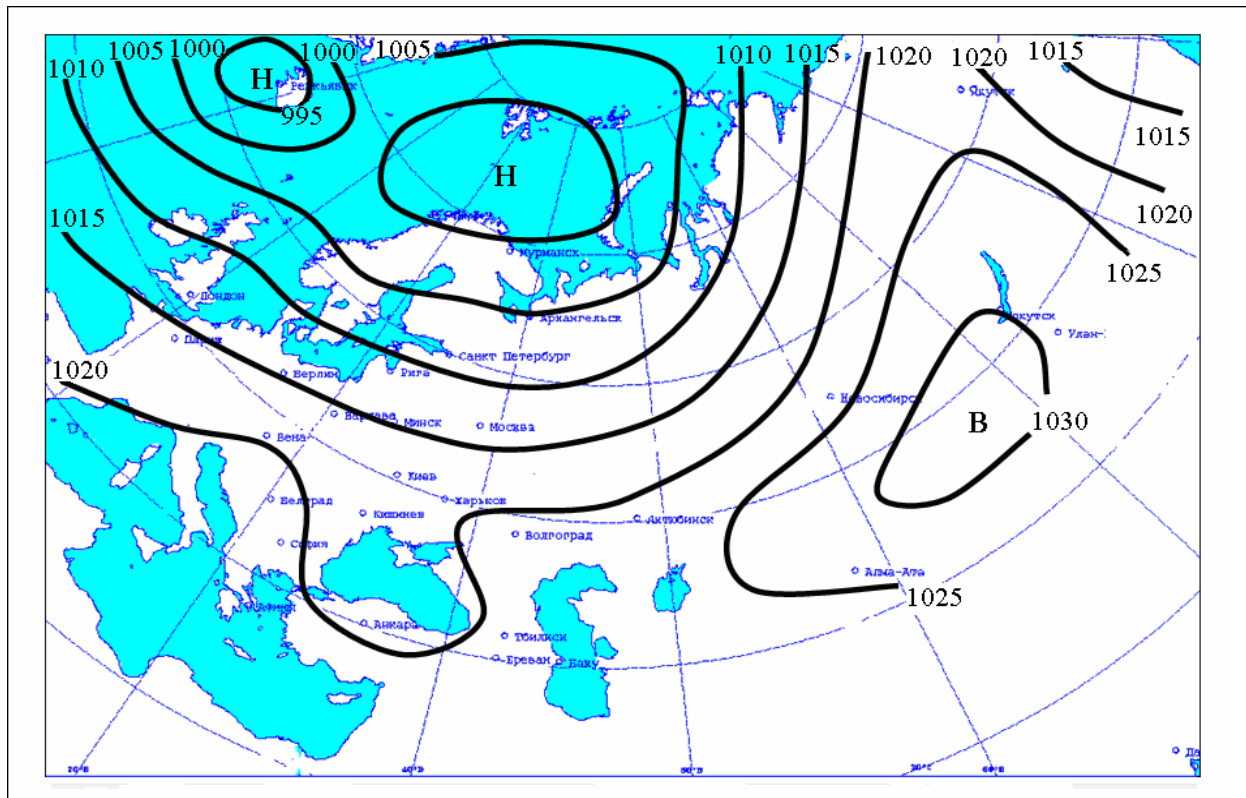


Рис. 2. Середній тиск біля поверхні землі при зональній циркуляції в холодне півріччя.

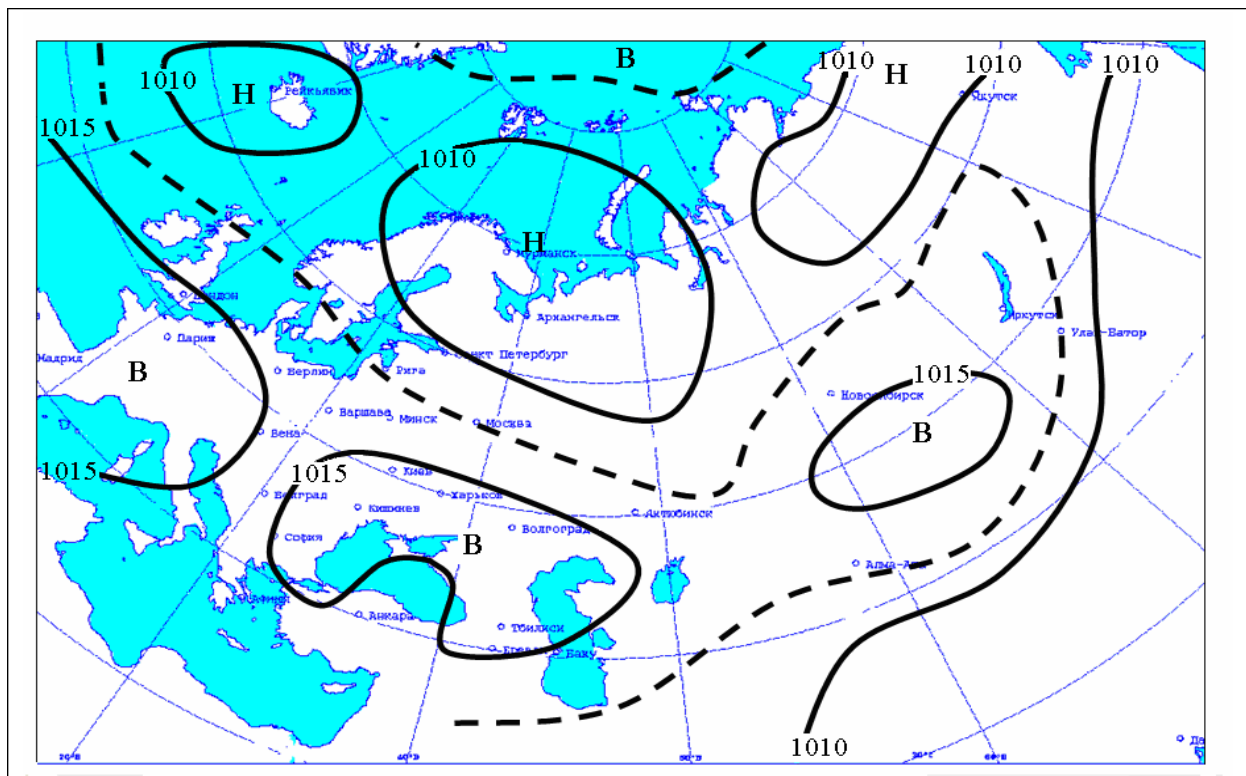


Рис. 3. Середній тиск біля поверхні землі при зональній циркуляції в тепле півріччя.

Для літніх місяців над європейською територією Росії (ЄТР), за винятком крайнього півдня, знак температурної аномалії змінюється на протилежний. Ця від'ємна аномалія, насамперед, обумовлена перенесенням відносно холодного у літній період океанічного повітря, яке не встигає трансформуватися над континентом. Додатні відхилення температури у холодне і тепле півріччя в Сибіру при зональних процесах пояснюються відсутністю або різким зменшенням повторюваності арктичних вторгнень.

Зональність також відзначається у розподілі *аномалій опадів*: у південній частині Європи, охопленій антициклонічною циркуляцією, виділяються зони з дефіцитом опадів. Винятком є прибережні райони Середземного, Чорного і Каспійського морів, де в холодну пору року розміщуються циклонічні центри термічного походження. Інша територія євразійського континенту знаходиться в зоні нормального та збиткового зволоження, лише з тією різницею, що у холодний період року максимальна кількість опадів зміщена у більш північні райони у порівнянні з теплим.

Для меридіональних процесів характеристика географічної локалізації гребенів і улоговин є такою ж важливою, як і ступінь збурення зонального потоку, що характеризує, по суті, інтенсивність меридіональних висотних гребенів і улоговин.

Розрізняють *центральне положення гребеня (тип Цт), західне положення (тип Зх), східне положення (тип Сх) і змішане положення, коли на визначеній території існує два гребені – один на схід, а другий на захід від центру східної Європи (тип Зм).*

Висотний гребінь може розташовуватися *симетрично* відносно меридіанів, а також мати *нахил* на схід чи захід від його основи, тобто для кожної з форм існують різновиди процесів. Простежуються і сезонні різниці погоди при одному і тому ж типі циркуляції (рис. 4 – 5).

*Меридіональні процеси західного положення висотного гребеня.* До форми Зх відносяться процеси, при яких висотний гребінь або антициклон розташований над Британськими о-вами чи західною Європою, а на схід від цього району знаходиться висотна улоговина, вісь якої проходить через крайній схід європейського континенту або західний Сибір. Основні особливості тропосферного поля практично ідентичні для холодної і теплої половини року. Незначні розбіжності між ними полягають лише в тому, що в тепле півріччя висотний гребінь здвигнутий дещо більше на схід.

В холодне півріччя частота процесів Зх збільшується практично вдвічі. Майже вся Європа і західний Сибір охоплені від'ємною аномалією температури з осередком над європейським континентом. В той же час Середня Азія і крайній схід європейської території перебувають у зоні підвищених, у порівнянні з нормою, температур.

Влітку цей тип менш інтенсивний, проте знак аномалії температури над Європою зберігається і простирається упритул до Приуралля, а над західним Сибіром виникає осередок додатної аномалії температури повітря.

Характерні особливості процесів форми Зх знаходять чітке відображення і на картах опадів. При цьому смуги з підвищеним і зниженим зволоженням чергуються уздовж паралелей. На східній частині антициклонічно вигнутої ВФЗ здійснюється активний антициклогенез, що призводить взимку до дефіциту опадів практично на всій європейській території. Активізація чорноморських і каспійських термічних циклонів на південному сході європейського континенту і півдні західного Сибіру обумовлює збиткове зволоження. В тепле півріччя у північній частині європейського сектору область дефіциту опадів переривається зональною смугою нормального зволоження, яка є наслідком значних конвективних опадів на східній і північно-східній периферії антициклонів, що переміщуються на центральну і східну Європу.

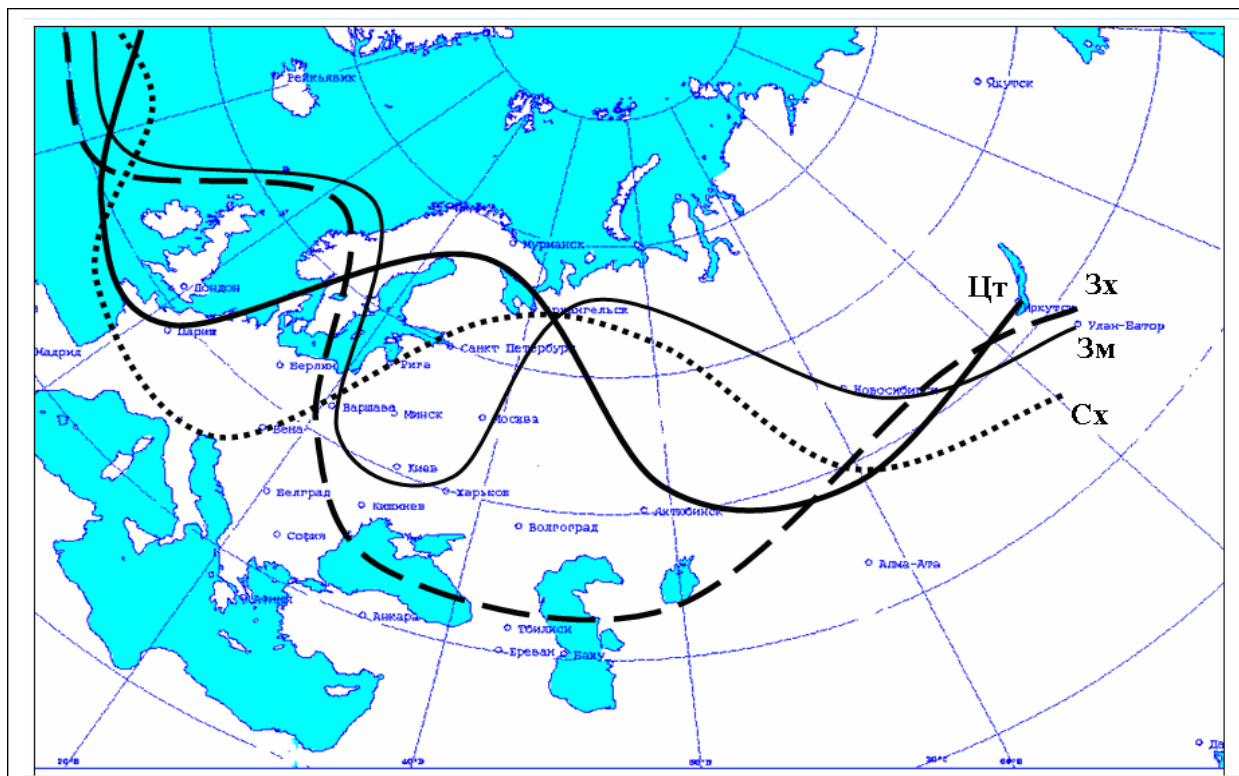


Рис. 4. Середнє положення ПВФЗ в меридіональних процесах західної (Зх), центральної (Цт), східної (Сх) і змішаної (Зм) форми циркуляції в холодну пору року.

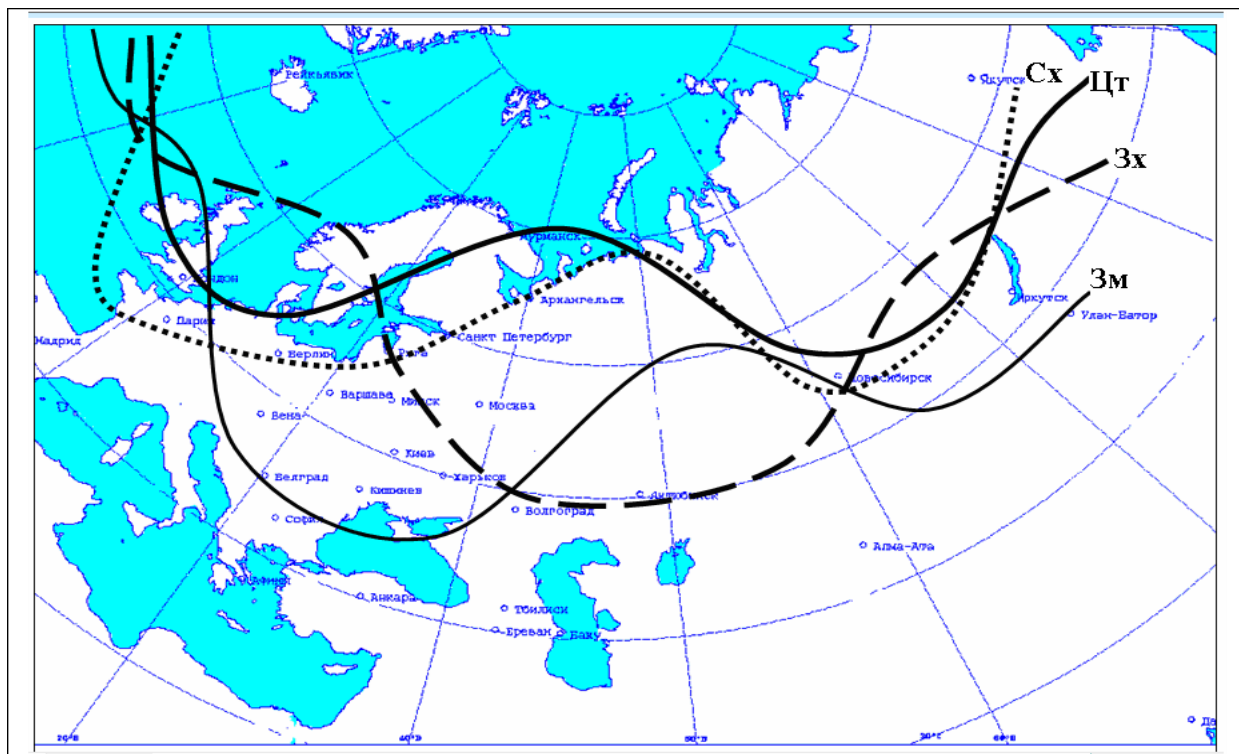


Рис. 5. Середнє положення ПВФЗ в меридіональних процесах західної (Зх), центральної (Цт), східної (Сх) і змішаної (Зм) форми циркуляції в теплу пору року.

*Меридіональні процеси східного положення висотного гребеня.* Процеси форми *Sx* характеризуються крайнім східним положенням висотного гребеня. Його вісь проходить взимку по лінії: Тбілісі – Куйбишев – Нар'ян-Мар, влітку - ще східніше: Гур'єв – Нар'ян-Мар. Над північною Атлантикою формується другий гребінь, менш інтенсивний, який у холодну пору року, завдяки відносно теплій океанічній поверхні, виражений більш чітко, ніж у тепле півріччя; райони центральної Європи зайняті улоговиною холоду.

В холодне півріччя форма *Sx* є нестійкою, оскільки континентальна підстильна поверхня не сприяє підтриманню висотного гребеня над східною частиною ЄТР і західним Сибіром, внаслідок чого процеси цієї форми взимку мають повторюваність рідше інших форм. Осередки від'ємних аномалій температури повітря в холодну частину року розташовані на південному сході Казахстану і над центральним Сибіром. Район розповсюдження цієї аномалії на захід обмежений крайнім південним сходом ЄТР, більша частина якої охоплена додатними відхиленнями температури від норми.

В тепле півріччя осередок додатної аномалії повітря знаходиться у східній половині ЄТР, при цьому величина аномалії майже вдвічі вища, що пояснюється виносом тропічного повітря з районів Малої Азії і швидкою трансформацією холодного повітря, яке циркулює у системах приземних антициклонів.

Меридіональні процеси *Sx* у холодне півріччя обумовлюють найбільш поширений по території Росії і суттєвий за величиною дефіцит опадів за рахунок посилення сибірського антициклону.

В літній період на північному заході та півночі ЄТР спостерігається збиткове зволоження, а Середня Азія, майже весь Казахстан і південна частина західного Сибіру охоплена дефіцитом опадів.

*Меридіональні процеси змішаної форми - Зм.* Цей тип циркуляції над Атлантикою і західною Європою майже повністю повторює конфігурацію висотного поля типу *Zx*, а на схід від цієї території – типу *Sx*. В результаті він однаково часто повторюється як в холодне, так і в тепле півріччя.

Взимку вісь висотної улоговини проходить по лінії о. Шпіцберген – Санкт-Петербург – Ялта, а влітку вона дещо зміщується на захід: Ян-Майєн – Мінськ – Кишинів, тобто у бік більш холодної підстильної поверхні. По східній частині висотного гребеня, яка в районі роздвоєння над Скандинавією є циклогенетичною, зміщуються циклони. Тилові затоки холоду за циклонами посилюють гребінь теплового азорського антициклону, тому осередок від'ємної аномалії температури значно обмежений у порівнянні з процесами форми *Zx*, і займає лише територію центральної Європи і крайнього заходу ЄТР. Подібні затоки холоду призводять до активізації середземноморських циклонів, що, в свою чергу, веде до формування додатної аномалії температури повітря і значного збиткового зволоження над ЄТР.

Гілка ПФВЗ на східній периферії східного висотного гребеня є антициклогенетичною: вздовж неї зміщуються з півночі на південь і південний схід холодні антициклони. Внаслідок цього на території західного Сибіру і Казахстану меридіональні процеси форми *Zm* у холодне півріччя визначають аномалії опадів і температури майже рівнозначні з процесами форми *Sx*.

Аналогічні термодинамічні особливості ПФВЗ мають місце і у літніх меридіональних процесах змішаної форми. Над західним Сибіром, Казахстаном і Середньою Азією формується дефіцит опадів і додатна аномалія температури повітря.

*Меридіональні процеси центрального положення висотного гребеня - Цт.* В процесах цієї форми відповідно до інтенсивності розвитку баричного гребеня і сполученої з ним улоговини біля поверхні землі можуть спостерігатися різновиди конфігурації поля. Гребінь найчастіше розміщується симетрично відносно меридіану 30° сх.д. У зимовий період вісь гребеня проходить по лінії Бухарест – Мінськ –

Мурманськ. Влітку, завдяки активному прогріву континентальної підстильної поверхні, гребінь ПВФЗ розповсюджується дещо східніше над ЄТР: вісь його зміщена на лінію Харків – Москва – Архангельськ. Сполучені висотні улоговини займають відповідно територію крайнього сходу Атлантики, західної і центральної Європи та західний Сибір.

Меридіональні процеси типу *Цт* у теплу пору року за особливостями впливу на них підстильної поверхні є стійкими і ця форма може бути пануючою навіть кілька місяців підряд. На території східної Європи формуються осередки додатних відхилень температури. Області від'ємних аномалій температури повітря відзначаються над центральною та західною Європою і, більш інтенсивні, над Казахстаном і західним Сибіром.

Взимку формується аномалія температури протилежного знаку. З меридіональними процесами форми *Цт* пов'язані найбільш холодні зими на південному сході ЄТР, в Середній Азії і західному Сибіру.

Розподіл аномалій у полях опадів при даній формі циркуляції не має чіткого сезонного прояву. Як у холодну, так і у теплу половину року на величезному просторі ЄТР спостерігається дефіцит опадів, а в районах західного і центрального Сибіру та на південному сході Казахстану - надлишок опадів.

#### Індекси циркуляції Росбі, Блінової, Вітельса.

*Індекс зональної циркуляції Росбі* являє собою середнє значення геострофічної зональної складової швидкості руху  $u$  для великих секторів або широтних зон півкулі. Величина  $u$  може бути обчислена за різницею тиску між визначеними широтами і переведена за формулою геострофічного вітру у швидкість, виражену в  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Росбі встановив, що процеси загальної циркуляції атмосфери (ЗЦА) можна узагальнити в двох типах: *тип процесів з високим індексом* і *тип процесів з низьким індексом*.

Для процесів з *високим індексом* характерні наступні *особливості*:

- наявність нероздільних і добре розвинених алеутського та ісландського мінімумів;
- наявність добре розвинених субтропічних антициклонів – азорського та гавайського;
- відсутність потужних полярних антициклонів;
- типові положення сибірського антициклону при незначному поширенні у західному напрямку на ЄТР;
- на висотах добре виражені зональні рухи повітря при наявності довгих хвиль малої амплітуди.

Для процесів з *низьким індексом* характерно:

- роздвоєння алеутського та ісландського мінімумів, між якими встановлюються гребені субтропічних антициклонів;
- розвиток на значному просторі полярного антициклону;
- суттєве поширення сибірського антициклону на захід;
- наявність на висотах стаціонарних хвиль великої амплітуди.

Виявлені періодичні коливання і цикл індексу Росбі тривалістю 3 – 4 тижні.

В чотирьох стадіях циклу індексу Росбі здійснюється закономірне чергування зонального (з високим індексом) і меридіонального (з низьким індексом) стану атмосферної циркуляції:

1. *Перша стадія (високий індекс)* характеризується сильними західними потоками на рівні моря, які відмічаються північніше їх нормального положення, наявністю довгих хвиль у тропосфері. Приземні баричні поля орієнтовані зі сходу на захід. Значна циклонічна діяльність відзначається лише у високих широтах. Меридіональні термічні і баричні градієнти мають максимальні значення, а міжширотний обмін повітрям послаблений.
2. *Друга стадія пов'язана з початком зниження індексу.* Відмічається: зменшення швидкості західних вітрів і розповсюдженням їх на більш низькі широти; скорочення довжини хвиль у тропосфері; поява континентальних антициклонів у високих широтах; посилення циклонічної діяльності у середніх широтах; сильний міжширотний обмін в тропосфері помірного поясу.
3. *Третя стадія пов'язана з низьким значенням індексу.* Стадія характеризується повним розпаданням хвильових систем приземних зональних західних вітрів на замкнені осередкові центри і відповідним розпадом хвильових систем на висотах; максимальним динамічним антициклогенезом у полярних широтах і глибокою оклюзією стаціонарних циклонів у середніх широтах; орієнтацією з півночі на південь осередків тиску і фронтальних систем; посиленням широтних і послабленням меридіональних температурних контрастів; наявністю процесів ізоляції у високих широтах теплих центрів високого тиску від основних гребенів та ізоляцією у південних широтах холодних центрів низького тиску від основних улоговин.
4. *Четверта стадія пов'язана з початком росту індексу.* Для неї є типовим: послідовне посилення зональних західних вітрів на рівні моря при наявності системи відкритих (незамкнених) хвиль на висотах у північних широтах; поступове заповнення циклонів у низьких широтах і втягнення антициклонів високих широт у субтропічний пояс високого тиску; поступове охолодження повітря у полярних районах і нагрівання повітря у низьких широтах, що призводить до відновлення нормального, спрямованого до полюса, температурного градієнту у високих широтах; руйнування циклонічних і антициклонічних осередків у верхніх шарах.

Таким чином, індексні цикли Росбі відображують циклічну природу зміни сили західних вітрів помірних широт. З різними стадіями циклів пов'язані визначені фази ЗЦА, що характеризуються відповідними макросиноптичними процесами. У загальному, індексний цикл показує періоди коливань інтенсивності зональної циркуляції між її максимальним і мінімальним значенням.

*Індекс циркуляції О. М. Блінової*, як і індекс Росбі, характеризує інтенсивність зональної циркуляції, але розраховується для північної півкулі в цілому, і являє собою кутову швидкість обертання атмосфери, яка розглядається як тверде тіло, відносно поверхні землі:

$$\alpha = \frac{u(\varphi)}{a \cos \varphi}, \quad (1)$$

де  $u$  - осереднена вздовж кола широти  $\varphi$  зональна швидкість геострофічного вітру;

$a$  - радіус Землі.

На практиці обчислення індексу циркуляції  $\alpha$  можна виконувати за даними поверхні 500 гПа відповідно до формули:

$$H_{\varphi} = H(90^{\circ}) + \frac{\alpha}{\omega} + \left( \frac{\alpha \alpha}{10} \right)^2 \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

де  $H_{\varphi}$  - осереднене за колом широти значення геопотенціалу поверхні 500 гПа;

$H(90^{\circ})$  – значення геопотенціалу 500 гПа на полюсі;

$\omega$  - кутова швидкість обертання землі.

Величина індексу безперервно змінюється, проте на кривій індексів завжди можна виділити періоди (у декілька днів), коли має місце зменшення чи збільшення індексу. Порівняльний аналіз індексів Блінової і Росбі показав, що у періоди підйому і спаду індексів Блінової на півкулі спостерігаються макропроцеси, аналогічні тим, які відзначаються у періоди з високим та низьким індексами Росбі. Отже, від прогнозу величини індексу за О.М. Бліновою можна перейти до прогнозу характеру макросиноптичних процесів на півкулі і пов'язаних з ними режимів погоди на значних територіях.

Індекс був використаний при розробці гідродинамічного методу довгострокового прогнозу О. М. Блінової для ряду фізико-статистичних схем прогнозу в якості предиктора; ведеться безперервний каталог індексу, який дає змогу оцінювати ступінь зональності та меридіональності глобальної циркуляції атмосфери для будь-якого відрізка часу у минулому.

Регіональні оцінки інтенсивності цикло- і антициклонічної діяльності отримані І.А. Белінським і Л.А. Вітельсом. Белінський виділив на просторі північної півкулі велике число районів з урахуванням характеру підстильної поверхні; за щоденними картами погоди проводилося оцінювання в балах баричного поля на рівні моря та його інтенсивність. Такий підхід дозволив надати надійну кількісну характеристику цикло- і антициклонічності за місяцями для північної півкулі.

Для європейського сектору Л.А. Вітельс виділив 8 районів і отримав для них багаторічні ряди оцінок цикло- і антициклонічності та запропонував у якості індексів, що характеризують інтенсивність циркуляції у даному районі, приймати *середню глибину циклонів  $I_z$  і середню потужність антициклонів  $I_a$* .

Сумарний індекс  $I_s = I_z + I_a$  надає уяву про загальне збільшення чи зменшення інтенсивності баричних утворень.

Індекси циркуляції Белінського та Вітельса використовуються у ряді схем довгострокових метеорологічних і гідрологічних прогнозів.

### Індекси циркуляції А.Л. Каца

З метою детальної та різнобічної характеристики великомасштабних рухів в атмосфері А.Л. Кацем запропонована система індексів, яка дозволяє окремо оцінити зональну і меридіональну циркуляцію, а також їх співвідношення як над півкулею в цілому, так і для будь-якого заданого району. У якості ступеню циркуляції в умовному одиничному шарі атмосфери прийнята середня інтенсивність перенесення маси повітря відповідно у зональному та меридіональному напрямках над районом, обмежованим

широтами  $\varphi_1, \varphi_2$  та довготами  $\lambda_1, \lambda_2$ . Для визначеного району зміна зонального потоку маси на обраній ділянці, при середньому для цього району значенні параметру Коріоліса, залежить тільки від коливань середнього градієнту тиску на відрізках меридіанів, включених у цю зону, а меридіонального потоку маси – від середнього



градієнту тиску на відрізках паралелей. Ці градієнти практично можуть виступати індексом зональної  $I_z$  і меридіональної  $I_M$  циркуляції відповідно.

Індекси А.Л. Каца – це універсальний інструмент для оцінки інтенсивності циркуляції. Вони дозволяють обчислити окремі переноси з півдня на північ та з півночі на південь, а також сумарний меридіональний обмін повітрям.

Робочі формули для розрахунків зональної та меридіональної циркуляції за картами приземного тиску або картами абсолютної топографії наступні:

$$I_z = \frac{bn}{(\varphi_2 - \varphi_1) i},$$

$$I_M = \frac{bm}{(\lambda_1 - \lambda_2) j \cos \varphi}, \quad (3)$$

де  $b$  - різниця тиску між двома сусідніми ізобарами (ізогіпсами);

$n$  - число перетинів ізоліній з меридіанами між широтами  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$  ;

$i$  - число меридіанів;

$m$  - число перетинів ізоліній з паралелями між довготами  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  ;

$j$  - число паралелей;

1

$\cos \varphi$  - множник, який враховує зміну довжини відрізка паралелей між меридіанами на різних широтах.

Розмірність індексів – гектопаскаль на 1 градус екватора (гПа/град.екв.) або геопотенціальний декаметр на 1 градус екватора (гп.дам/град.екв.).

При розрахунках індексів  $I_z$  і  $I_M$  враховують напрям перенесення повітряних мас. Для встановлення  $I_z$  напрям потоків з заходу на схід вважається додатним, а зі

сходу на захід – від'ємним. При визначенні кінцевого індексу  $I_M$  потоки як із півночі на південь, так і з півдня на північ рахуються додатними, оскільки у зворотному випадку (потоки з півдня на північ повинні прийматися від'ємними) в граничному варіанті – для широтної зони, що охоплює півкулю, цей індекс буде наближатися до нуля, хоча його південна і північна складові можуть проявлятися досить інтенсивно. Таким чином, для характеристики інтенсивності міжзонального обміну на великих територіях не враховують напрям перенесення, а обчислюють загальну суму числа перетинів ізобарами (ізогіпсами) паралелей як з півдня, так і з півночі:

$$I_M = I_{мпівд} + I_{мпівн}. \quad (4)$$

Запропоновані різні сполучення індексів, в тому числі і так званий загальний індекс  $I' = \frac{I_M}{I_z}$ . Безрозмірний індекс  $I'$  показує, в якій мірі інтенсивність зональної циркуляції західно-східного перенесення перевищує інтенсивність міжширотного обміну.

Для розрахунку індексів спочатку за значенням загального індексу  $I'$  визначають відношення синоптичного процесу до зонального типу або до меридіонального. Критерієм відношення процесу до зонального типу (ЗОН) є нерівність  $I' < 0,75$ .

## Питання для самоперевірки студентів

1. На яких принципах базуються різні типізації макропроцесів?
2. Основні положення класифікації макропроцесів Вангенгейма Г.Я. – Гірса О.О.
3. Основні положення класифікації макропроцесів А.Л. Каца.
4. Індекси атмосферної циркуляції Росбі, Блінової, Вітельса.
5. Індекси атмосферної циркуляції Каца.
6. Зональна циркуляція атмосфери. Сезонні особливості.
7. Меридіональна циркуляція, формування аномалій погоди.

## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### Завдання 1.

Використовуючи методику, розроблену А.Л. Кацем для атлантико-європейського сектору північної півкулі, розрахувати індекси циркуляції атмосфери у I-му ПСР для двох синоптичних ситуацій, запропонованих викладачем.

#### Вихідні матеріали:

Висотні карти погоди *AT-500* - додаток А, рис. А.1 – А.10.

#### Техніка розрахунку:

1. Індекси циркуляції обчислюються для зони, обмеженої координатами за широтою: 35 – 70 ° півн.ш., за довготою: 20 ° зах.д. – 80 ° сх.д.
2. Для підрахунку  $I_3$  доцільно у визначеному секторі виділити 6 ділянок меридіанів: 20 ° зах.д., 0 °, 20 °, 40 °, 60 °, 80 ° сх.д. Після цього необхідно підрахувати число перетинів -  $n$  ізогіпсами кожної ділянки 6-ти вказаних меридіанів між 35 і 70 ° півн.ш. з урахуванням напрямку ізогіпс: напрям потоків з заходу на схід вважається додатним, а зі сходу на захід – від'ємним. Робоча формула для обчислення  $I_3$  має вигляд:

$$I_3 = \frac{\sum_{i=1}^6 (n_{зах} - n_{сх}) b}{6 \cdot 35}, \quad (5)$$

де  $b = 4$  гп.дам на карті *AT-500*.

3. Для підрахунку  $I_m$  у визначеній розрахунковій області виділяють 3 ділянки паралелей: 45°, 55°, 65 ° півн.ш. Далі підраховують число перетинів –  $m$  ізогіпсами цих паралелей довжиною в 120 ° з півночі на південь і з півдня на північ, при чому: обидва напрями вважати додатними. Робоча формула для обчислення  $I_m$  має вигляд:

$$I_M = \left[ \frac{(m_{\text{неод}} + m_{\text{нієн}}) \cdot \frac{1}{\cos 45^\circ}}{120} + \frac{(m_{\text{неод}} + m_{\text{нієн}}) \cdot \frac{1}{\cos 55^\circ}}{120} + \frac{(m_{\text{неод}} + m_{\text{нієн}}) \cdot \frac{1}{\cos 65^\circ}}{120} \right] \cdot \frac{b}{3} \quad (6)$$

4. Визначити тип циркуляції: меридіональний або зональний, шляхом вираховання

загального індексу циркуляції:  $I' = \frac{I_M}{I_3}$ .

Звітні матеріали:

Дані розрахунків індексів циркуляції. Загальний аналіз типів циркуляції по відібраним випадкам.

**Завдання 2.**

Встановити тип меридіональної циркуляції для запропонованих викладачем синоптичних ситуацій.

Вихідні матеріали:

Висотні карти погоди AT-500 - додаток А, рис. А.1 – А.10.

Техніка розрахунку:

З метою об'єктивного визначення форм меридіональної циркуляції за типізацією А.Л. Каца, розраховують знаки зональних градієнтів AT-500 на ділянках: Лондон-Київ і Київ-Самара: Лондон –  $H_2$ , Київ –  $H_3$ , Самара –  $H_4$ .

Використовуючи наступні комбінації різниць  $H_{500}$ , встановлюють відповідну форму меридіональної циркуляції:  $Zax$ ,  $Cx$ ,  $Zm$ ,  $Cm$ :

- 1)  $H_2 - H_3 > 0$  і  $H_3 - H_4 > 0$  діагностується форма  $Zax$ ;
- 2)  $H_2 - H_3 < 0$  і  $H_3 - H_4 > 0$  діагностується форма  $Cm$ ;
- 3)  $H_2 - H_3 < 0$  і  $H_3 - H_4 < 0$  діагностується форма  $Cx$ ;
- 4)  $H_2 - H_3 > 0$  і  $H_3 - H_4 < 0$  діагностується форма  $Zm$ .

Звітні матеріали:

Письмовий огляд встановлених форм циркуляції по відібраним випадкам з характеристикою можливих аномалій у полях температури та опадів.

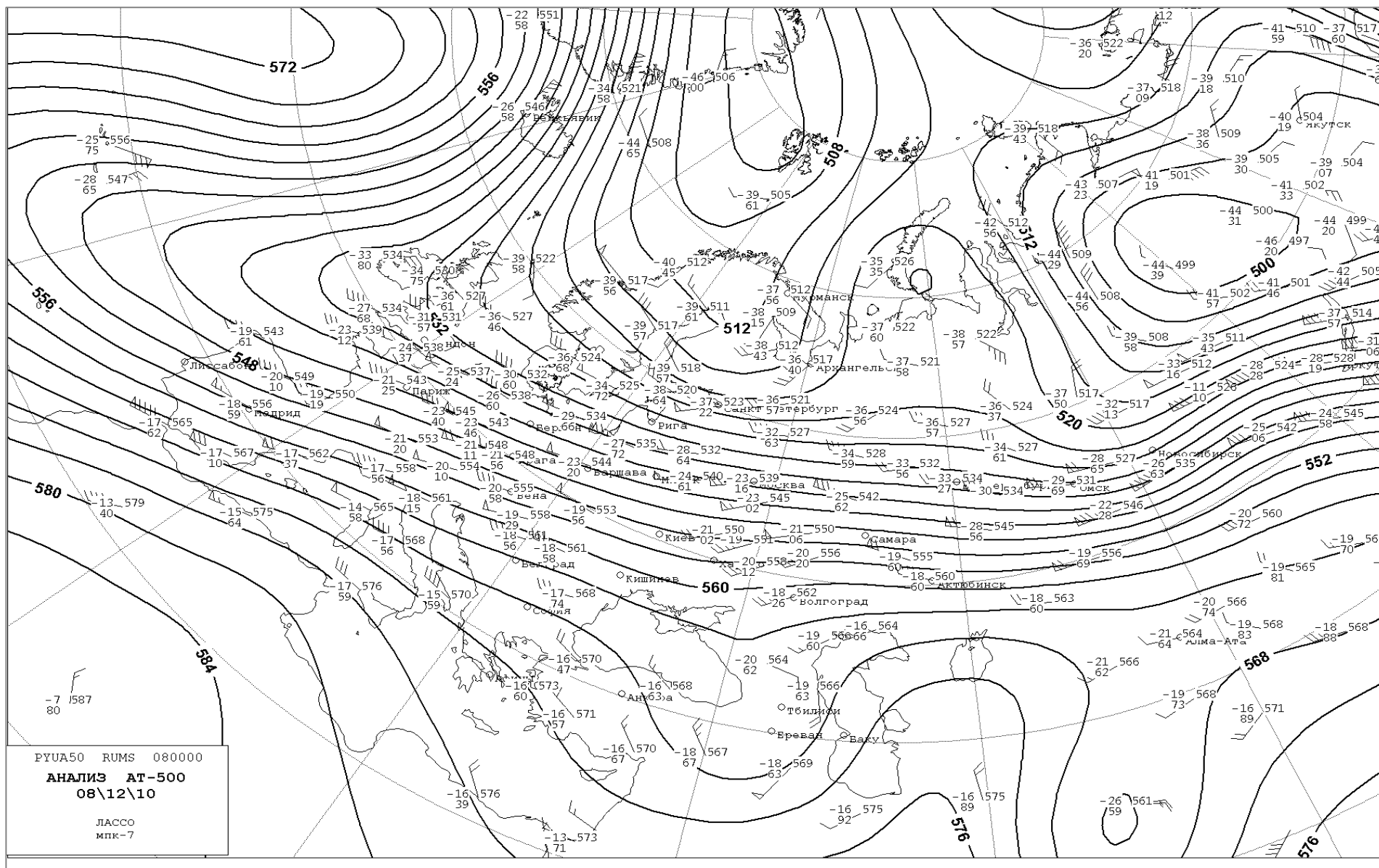


Рис. А.1. Карта АТ-500 08.12.2010, 00 ВСЧ.

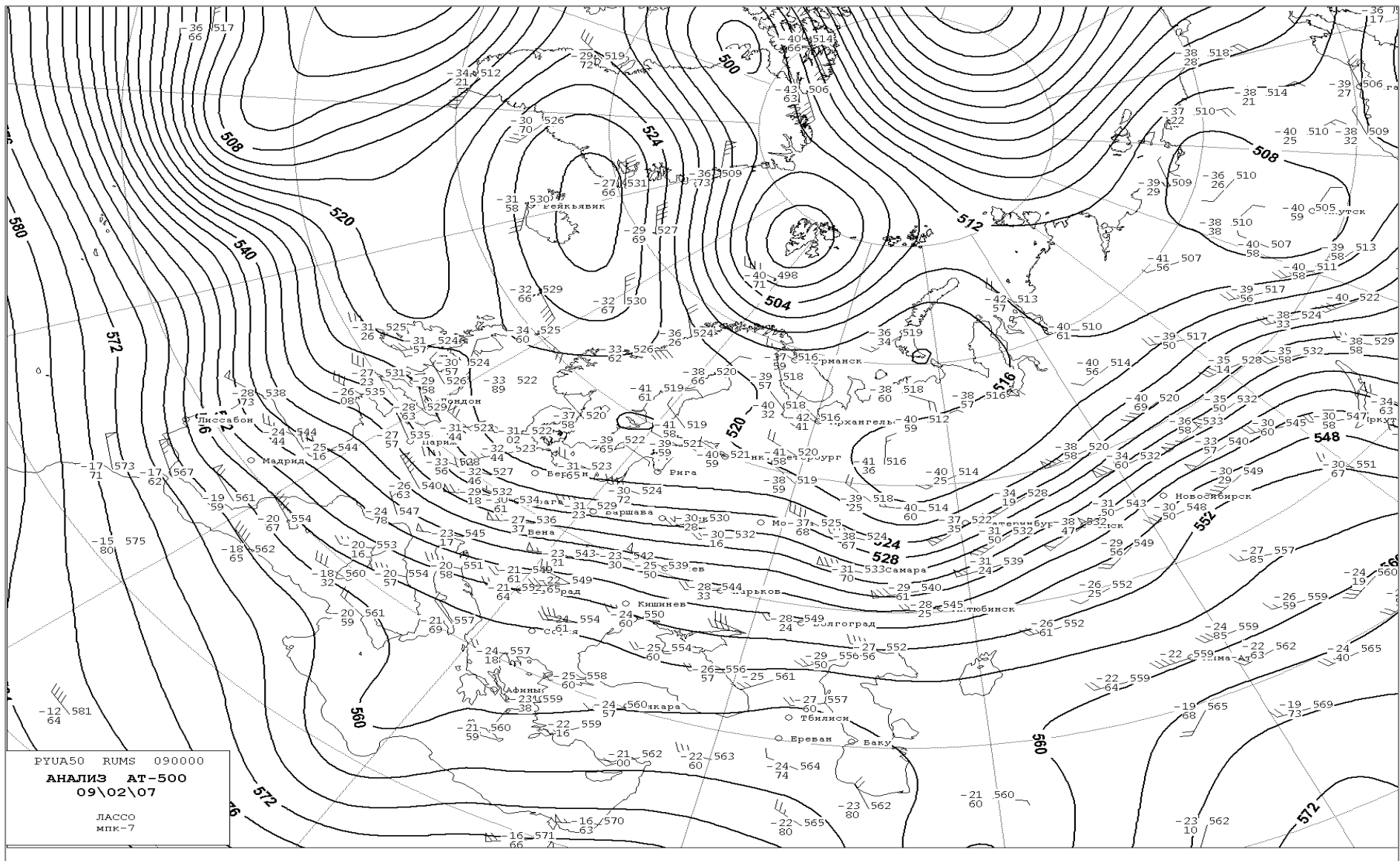


Рис. А.2. Карта АТ-500 09.02.2007, 00 ВСЧ.

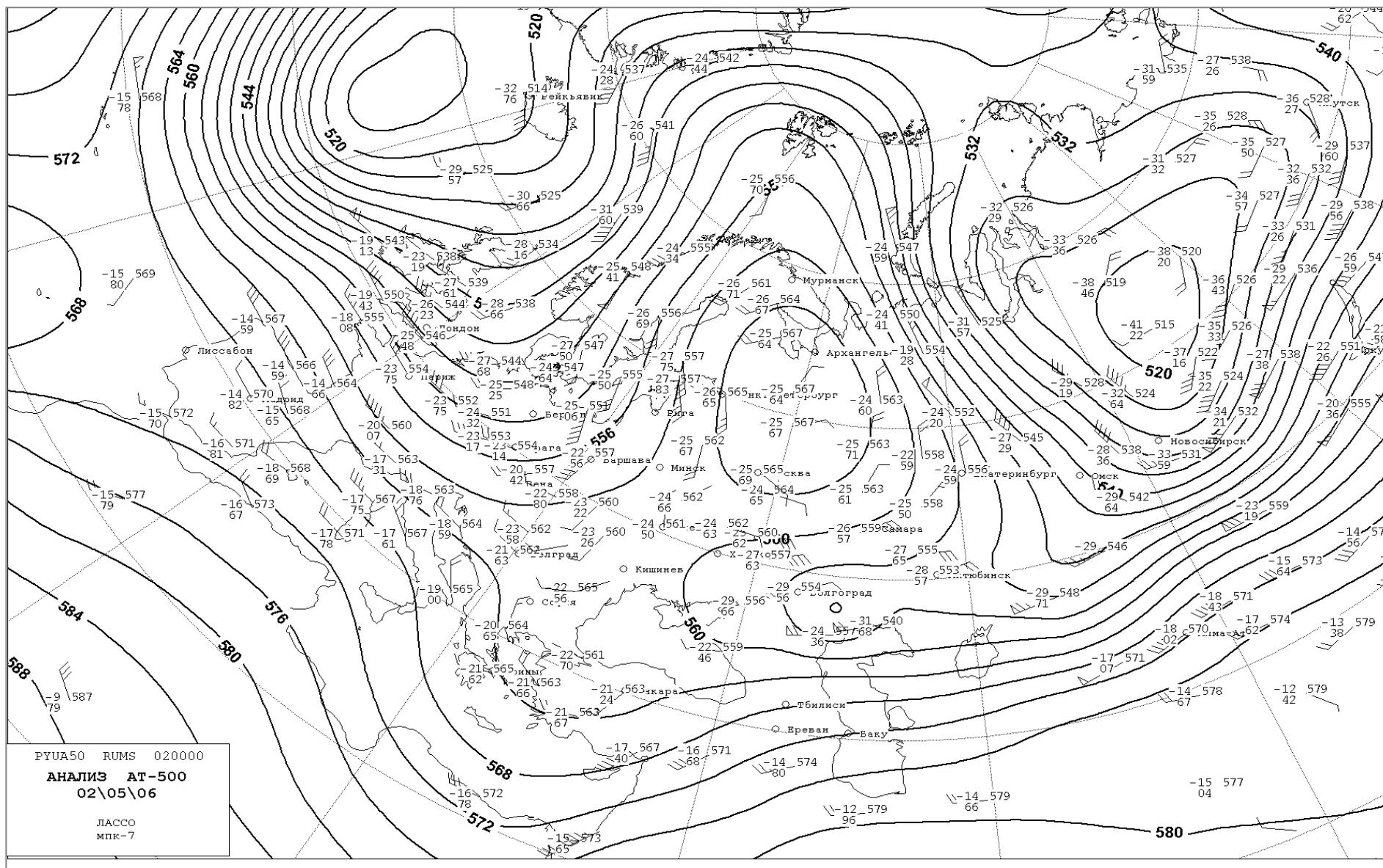


Рис. А.3. Карта АТ-500 02.05.2006, 00 ВСЧ.

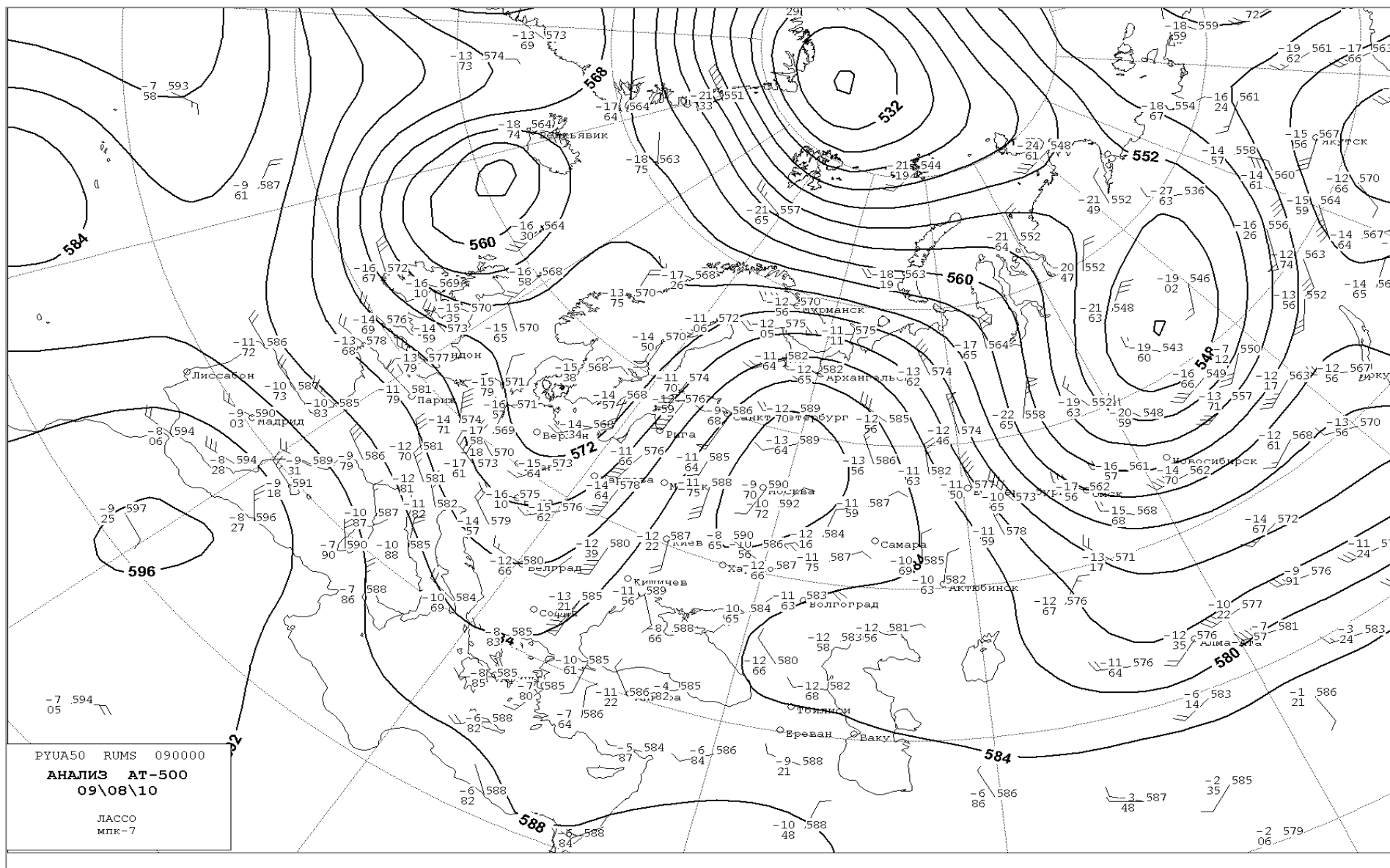


Рис. А.4. Карта АТ-500 09.08.2010, 00 ВСЧ.

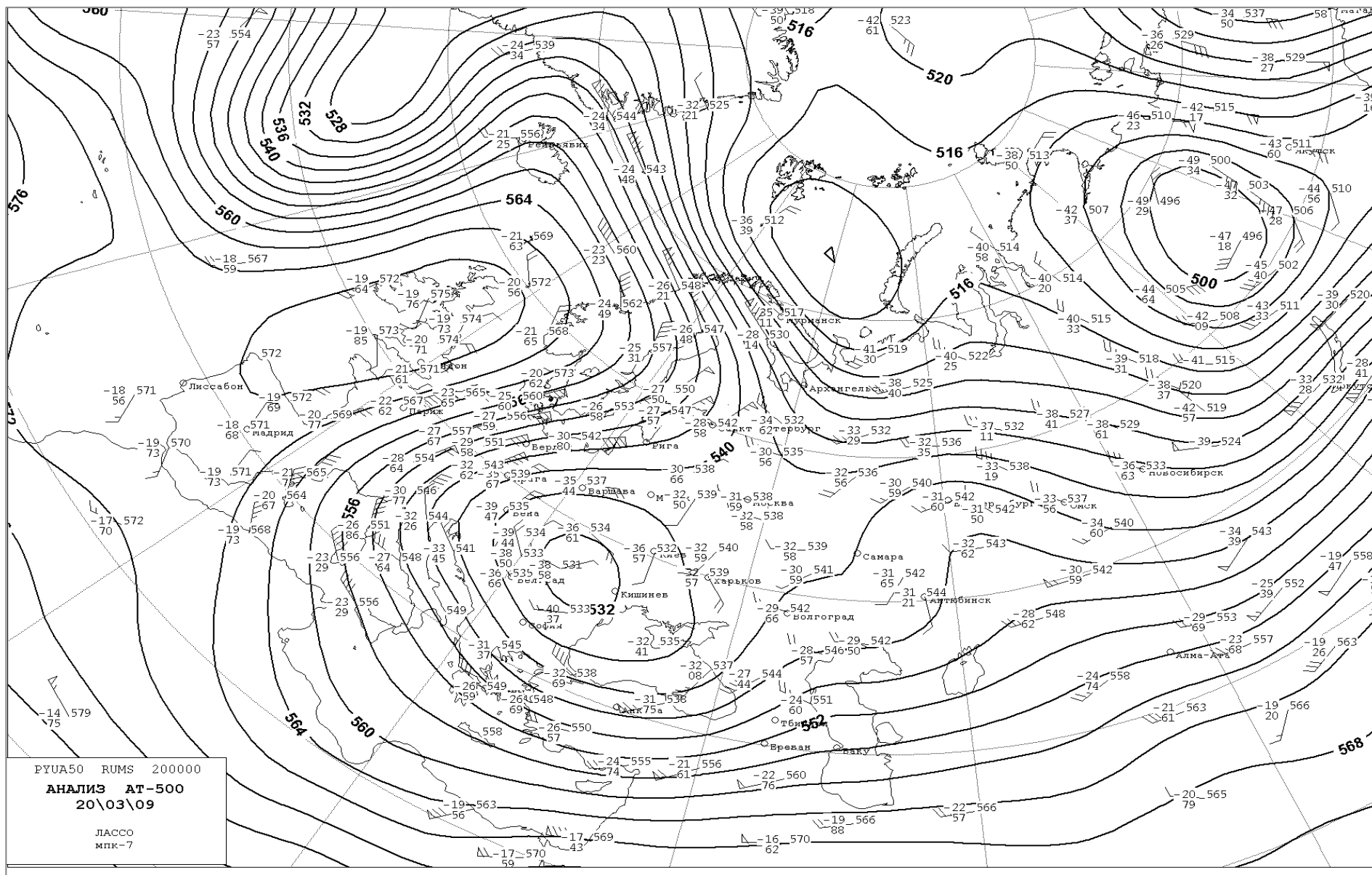


Рис. А.5. Карта АТ-500 20.03.2009, 00 ВСЧ.



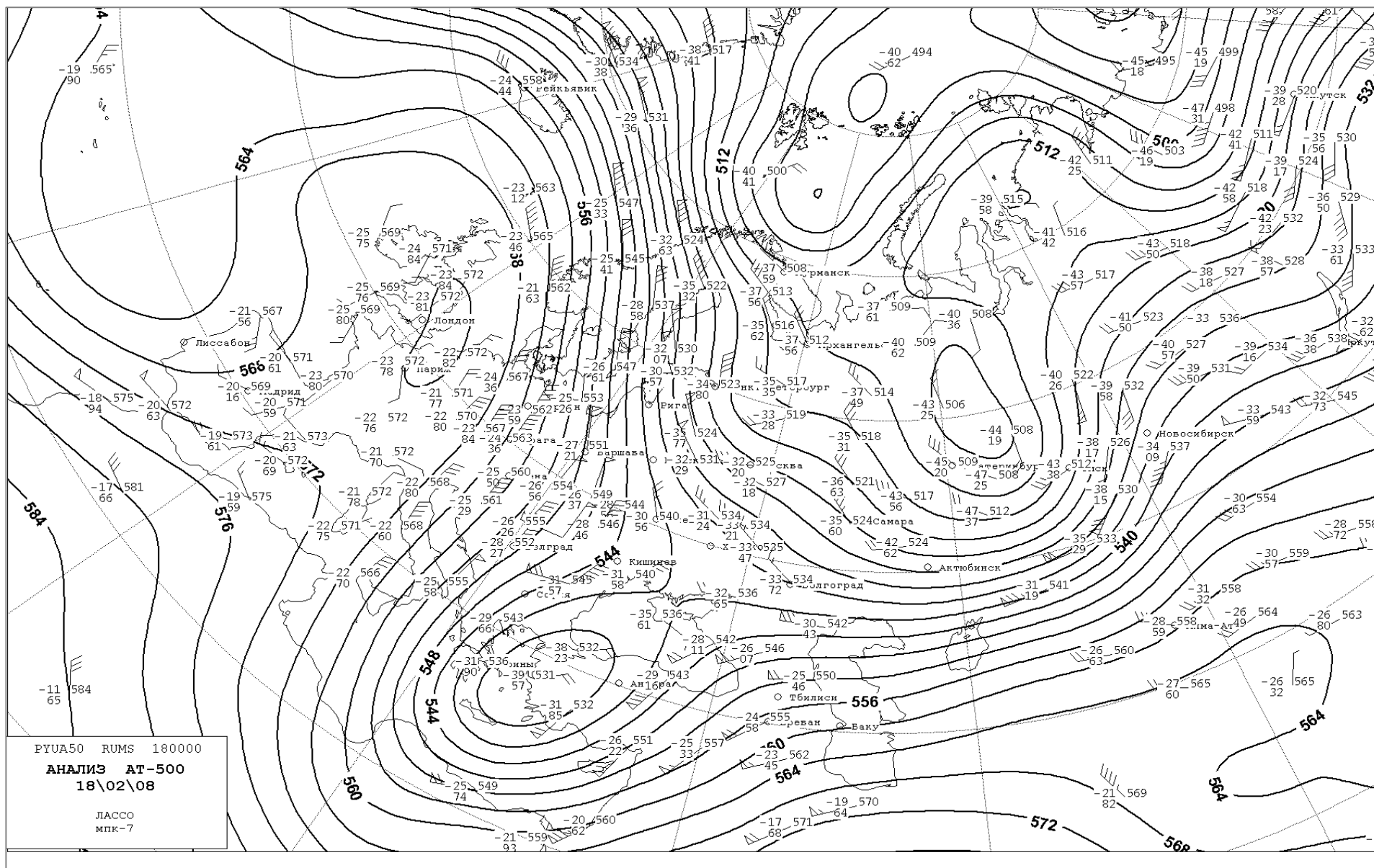


Рис. А.6. Карта АТ-500 18.02.2008, 00 ВСЧ.

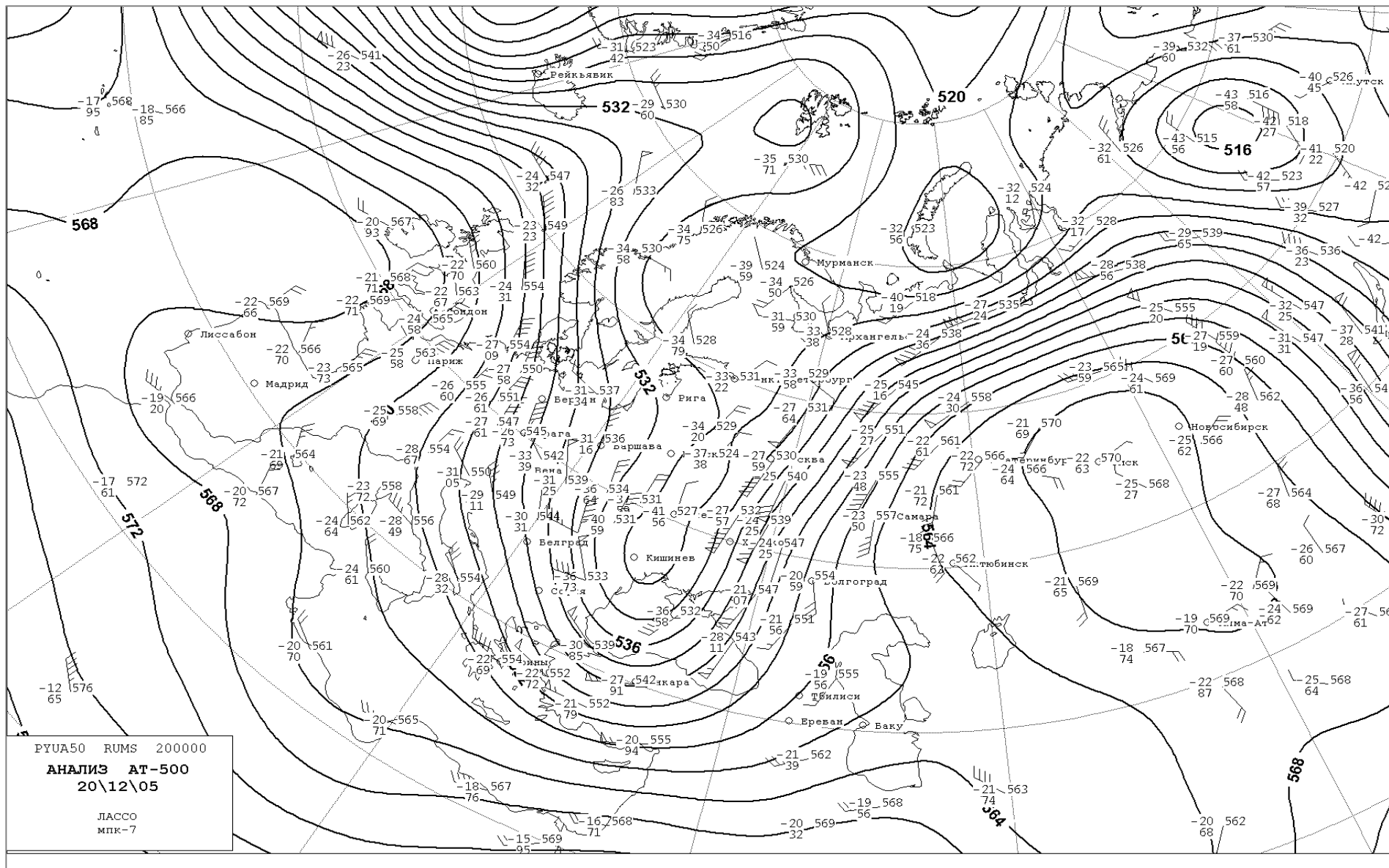


Рис. А.7. Карта АТ-500 20.12.2005, 00 ВСЧ.

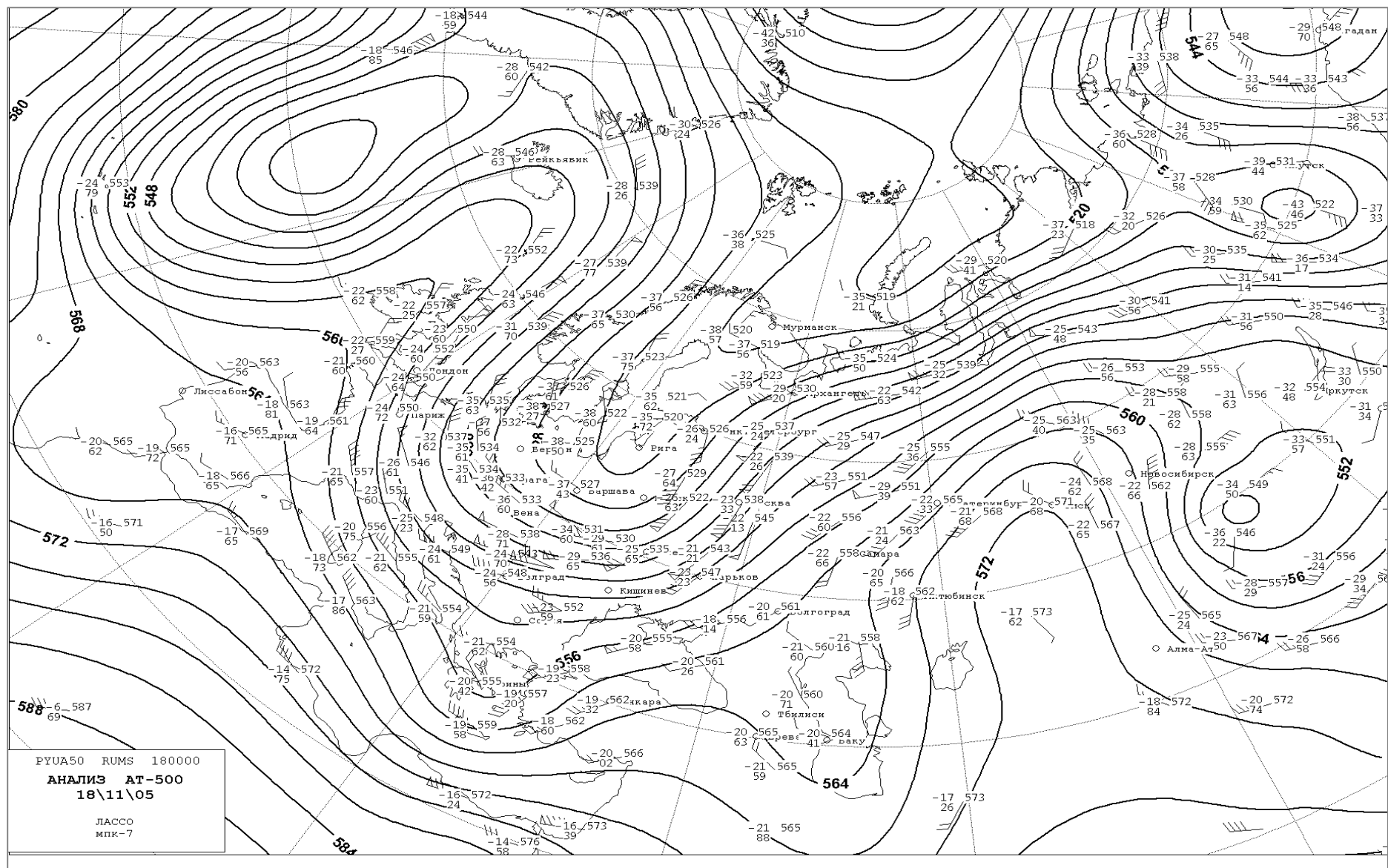


Рис. А.8 Карта АТ-500 18.11.2005, 00 ВСЧ.

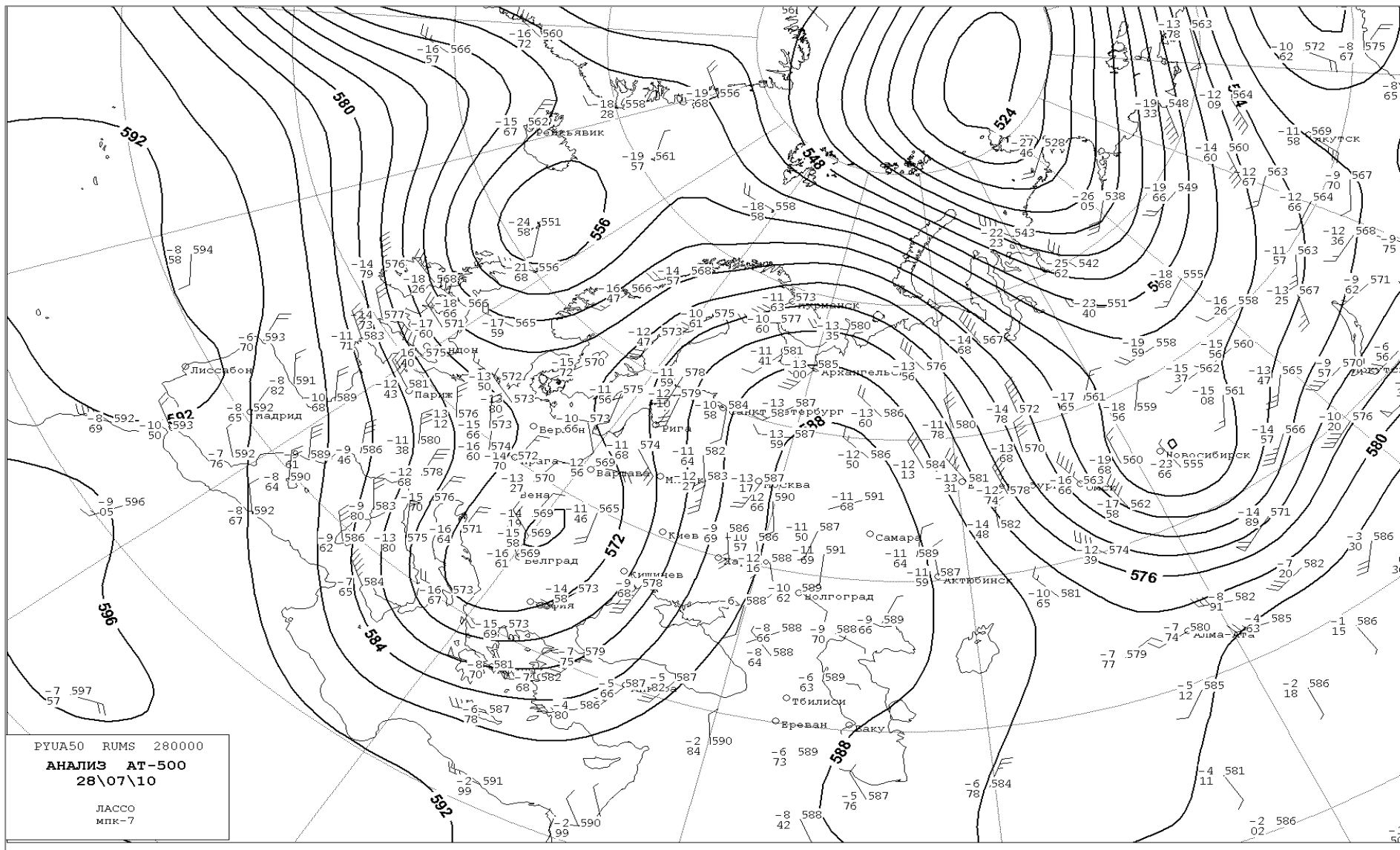


Рис. А.9. Карта АТ-500 28.07.2010, 00 ВСЧ.

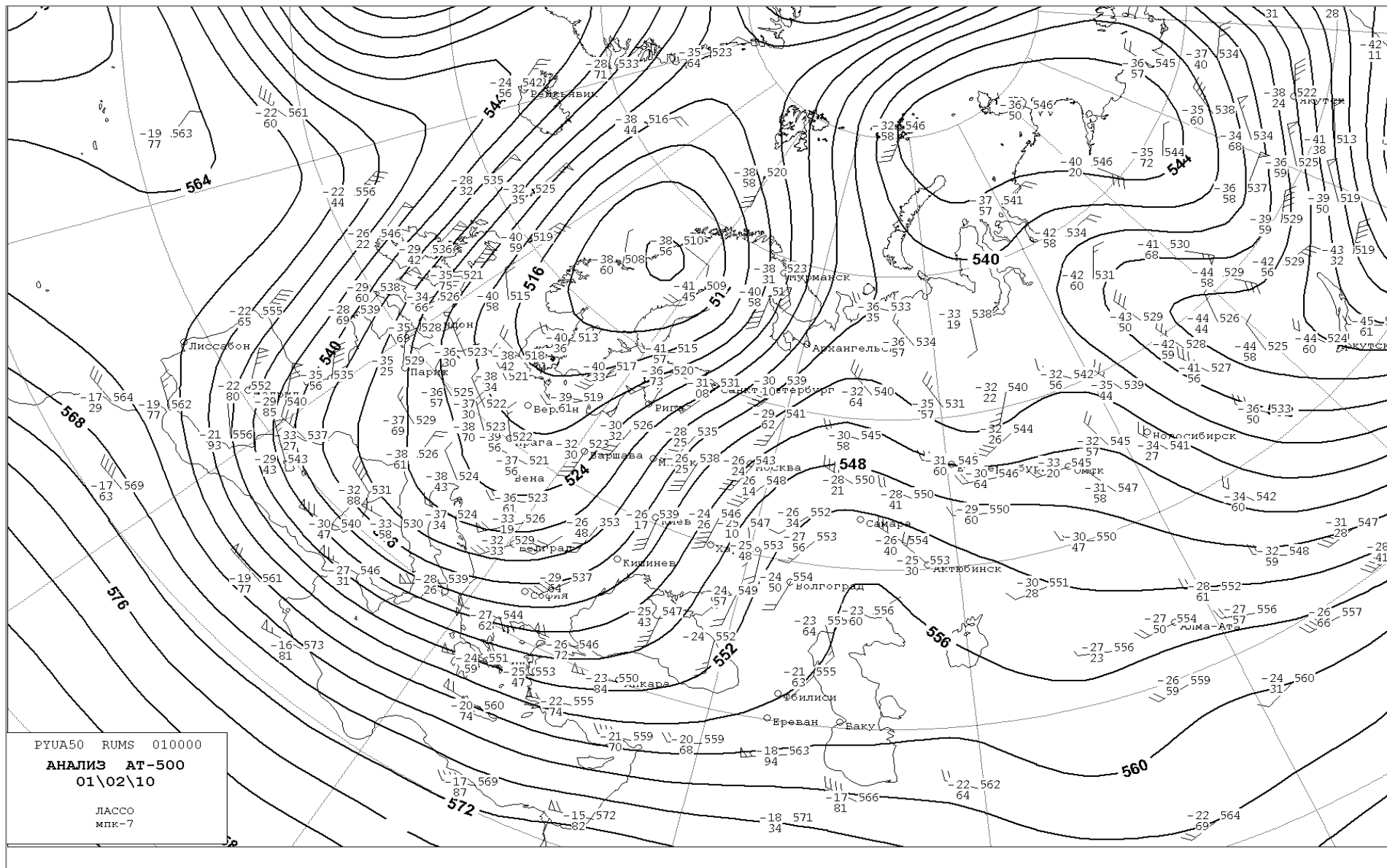


Рис. А.10. Карта АТ-500 01.02.2010, 00 ВСЧ.

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для практичної роботи з дисципліни  
«Довгострокові прогнози погоди»  
на тему «Розрахунки індексів циркуляції»

Укладач: к.геогр.н., доц. Нажмудінова О.М.

Підп. до друку \_\_\_\_\_ Формат \_\_\_\_\_ Папір офсетний

Умовн.друк.арк. \_\_\_\_\_ Тираж \_\_\_\_\_ Зам.№ \_\_\_\_\_

Надруковано з готового оригінал – макета

---

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