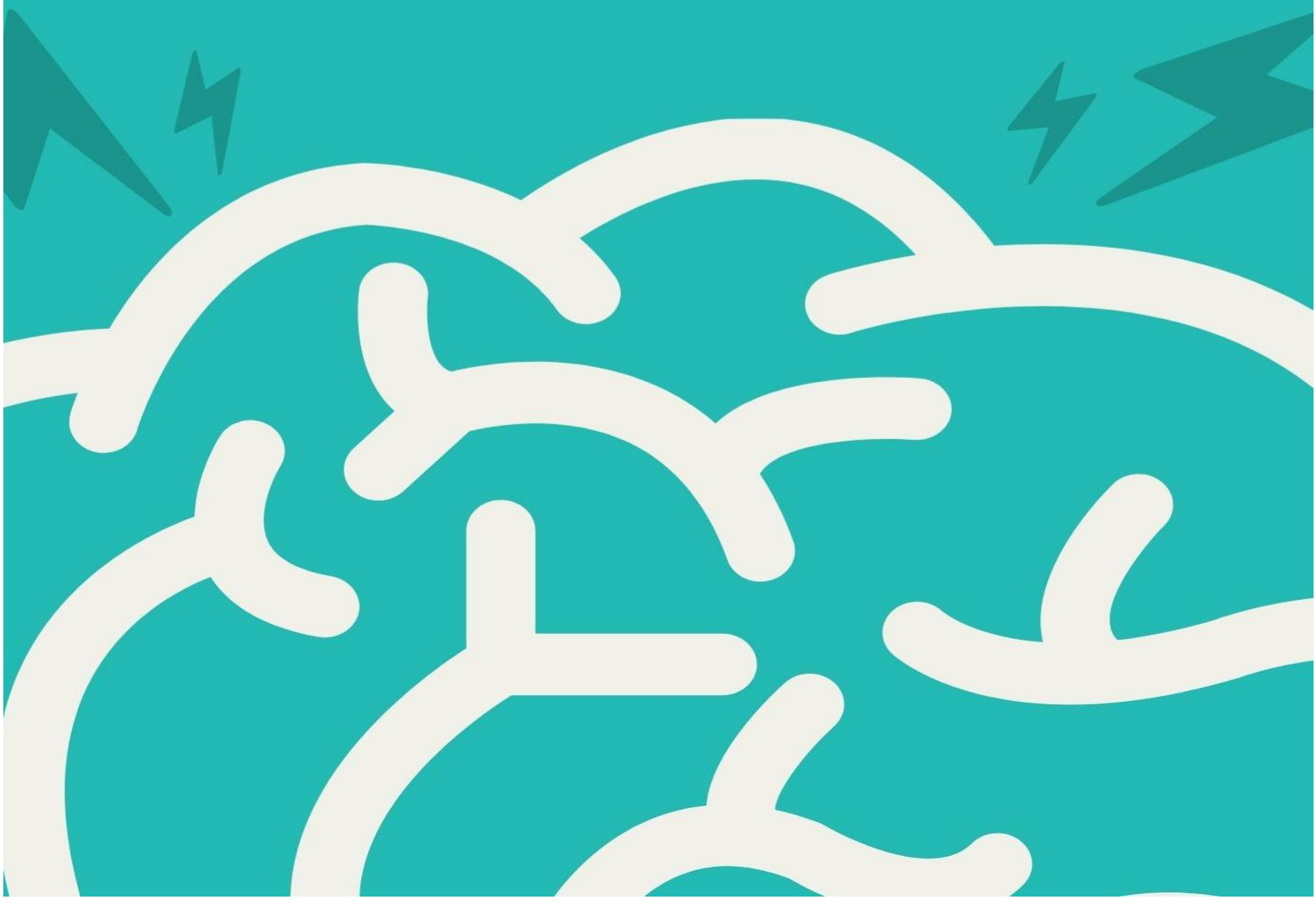


Е. В. АГАЙАР

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ
ПРОГНОЗИ НЕБЕЗПЕЧНИХ
ЯВИЩ ПОГОДИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Е. В. АГАЙАР

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ПРОГНОЗИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЯВИЩ ПОГОДИ

Навчальний посібник

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2021

УДК 551.509.58
А23

Агайар Е. В.

А23 Спеціалізовані прогнози небезпечних явищ погоди: навчальний посібник.
Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2021. 143 с.
ISBN 978-966-186-178-6

Навчальний посібник «Спеціалізовані прогнози небезпечних явищ погоди» призначений для проведення семінарських та лабораторних занять з дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди», для магістрів денної та заочної форми навчання зі спеціальності 103 «Науки про Землю», слухачів курсів і факультетів підвищення кваліфікації, а також для спеціалістів служби погоди. Книга може бути використана широким колом спеціалістів в області метеорології та океанології.

УДК 551.509.58

Р е ц е н з е н т и :

д. ф.-м. н., проф. Мартазінова В. Ф.
д. геогр. н., проф. Ляшенко Г.В.

Затверджено вченою радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як навчальний посібник для здобувачів вищої освіти за спеціальністю «Науки про Землю» (протокол №9 від 28.10.2021 р.)

ISBN 978-966-186-178-6

© Агайар Е. В., 2021
© Одеський державний екологічний університет, 2021

ЗМІСТ

Скорочення	4
Передмова	5
1 Основні положення з метеорологічного прогнозування.....	6
1.1 Національні системи попереджень про небезпечну погоду.....	6
1.2 Попередження про НМЯ I, СМЯ II, СМЯ III та оперативна інформація	28
Література до розділу 1.....	31
2 Прогнози погоди для сільського та лісового господарства.....	32
2.1 Вплив несприятливих явищ погоди на сільське та лісове господарство.....	32
2.2 Прогноз пожежної небезпеки	36
2.3 Прогноз метеорологічних умов забруднення атмосфери.....	52
2.4 Прогноз пилових бур.....	63
2.5 Прогноз граду.....	66
2.6 Прогноз шквалу	78
Література до розділу 2.....	91
3 Прогнози погоди для залізничного та автомобільного транспорт	93
3.1 Вплив несприятливих явищ погоди на транспортну галузь	93
3.2 Прогноз ожеледі та ожеледиці	95
3.3 Прогноз хуртовин.....	105
Література до розділу 3.....	111
4 Прогноз погоди для водного транспорту	112
4.1 Вплив несприятливих явищ погоди на роботу водного транспорту.....	112
4.2 Морські метеорологічні прогнози і попередження про небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища.....	113
4.3 Складання рекомендації по вибору найвигіднішого шляху судна в океані.....	119
Література до розділу 4.....	134
5 Оптимальне використання спеціалізованих прогнозів погоди в різних галузях народного господарства.....	135
5.1 Методи оцінки якості та критерії успішності прогнозів.....	135
5.2 Аналіз справджуваності та економічної ефективності спеціалізованих прогнозів погоди.....	136
Література до розділу 5.....	141
Предметний покажчик.....	142

СКОРОЧЕННЯ

ВМО	– Всесвітня Метеорологічна Організація
ВСЧ	– Всесвітній скоординований час
ГМЦ	– Гідрометцентр
ГСТ	– Глобальна система телезв'язку
ДВК	– дуга великого кола
ЄЦСПП	– Європейський центр середньострокових прогнозів погоди
ІЛПН	– індекс лісової пожежної небезпеки Макарура
ІПНП	– інтегрований показник напруженості природної пожежної небезпеки
ЗД	– забруднюючі домішки
КПН	– комплексний показник пожежної небезпеки
ЛГМ	– лісові горючі матеріали
ЛНШ	– лінії нестійкості (шквалів)
МРЛ	– метеорологічний радіолокатор
МГОА	– метод групового обліку аргументів
МКК	– мезомасштабні конвективні комплекси
МУЗ	– метеорологічні умови забруднення
НМГС	– національні метеорологічні та гідрологічні служби
НМЯ	– небезпечні метеорологічні явища
ОА	– об'єктивний аналіз
ПЛМ	– полулагранжева скінченнорізницева модель
ПН	– пожежна небезпека
СМЯ	– стихійні метеорологічні явища
ТПО	– температуру поверхні океану
ШСЗ	– штучний супутник Землі
ССС	– Copernicus Climate Change Service
ЕWS	– Early warning systems
EUMETSAT	– Європейська оперативна супутникова агенція для моніторингу погоди, клімату та навколишнього середовища з космосу.
ECWMF	– Європейський центр середньострокових прогнозів погоди
ESTOFEX	– The European Experiment on Storm Forecasting
ESWD	– European Severe Weather Database
METEOALARM	– Європейська служба попередження про погоду
NWS	– Національна служба погоди Сполучених Штатів Америки (National Weather Service)
UKMO	– Метеорологічна служба Великобританії (United Kingdom Meteorological Office)

ПЕРЕДМОВА

Прогнози погоди, які складаються з урахуванням особливостей діяльності конкретних галузей народного господарства, називаються спеціалізованими. В залежності від впливу окремих метеорологічних величин і явищ на роботу тих чи інших підприємств та установ вони можуть містити різноманітну прогностичну інформацію, яка використовується при плануванні народно-господарської діяльності на період дії прогнозу.

Навчальний посібник **«Спеціалізовані прогнози небезпечних явищ погоди»** (*Specialized forecasts of severe weather phenomena*) призначений для проведення семінарських та лабораторних занять з дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди». Досвід, накопичений автором за багаторічну оперативну і викладацьку роботу, був використаний при підготовці рукопису.

Мета посібника – освоєння теоретичних знань та практичних навиків щодо методів спеціалізованих прогнозів погоди, приділяється особлива увага небезпечним і стихійним погодним та деяким природним явищам з врахуванням останніх світових досягнень метеорологічної науки.

Дисципліна **«Спеціалізовані прогнози погоди»** належить до циклу професійно-орієнтованих дисциплін підготовки студентів рівня вищої освіти "магістр", зі спеціальності 103- «Науки про Землю», відноситься до обов'язкової компоненти професійно-практичного циклу ОПП.

Навчальний посібник розрахований на студентів-метеорологів університетів, але може бути використаний і студентами інших навчальних закладів, де викладаються дисципліни «Синоптична метеорологія», «Авіаційна метеорологія», «Економічна метеорологія» та інші в меншому обсязі, ніж в Одеському державному екологічному університеті. Матеріали також можуть бути корисними для проведення занять зі слухачами факультету підвищення кваліфікації.

Розділ 4 «Прогноз погоди для водного транспорту» може бути використаний студентами-океанологами та гідрографами.

Технічне редагування та оформлення рукопису здійснено канд. геогр.н., доц. Агайар Е.В.

Глибока вдячність рецензентам д.ф.-м.н., проф. Мартазінової В. Ф., д.геогр.н., проф. Ляшенко Г.В. за ряд корисних практичних порад, які сприяли покращенню рукопису.

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ З МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

1.1 Національні системи попереджень про небезпечну погоду

Щороку вплив суворих гідрометеорологічних явищ на планеті призводить до численних жертв і суттєвого збитку майну та інфраструктурі з несприятливими економічними наслідками для спільнот, які можуть зберігатися протягом багатьох років. Це відбувається незважаючи на той факт, що багато з цих суворих явищ були добре спрогнозовані, а точна попереджувальна інформація була своєчасно поширена відповідальними національними метеорологічними та гідрологічними службами (НМГС).

Причини такої явної розбіжності лежать в розриві, існуючому між прогнозами гідрометеорологічних явищ і попередженнями про них і розумінням потенційних наслідків цих явищ як з боку органів влади, відповідальних за цивільну оборону та управління в надзвичайних ситуаціях, так і з боку населення в цілому. Простіше кажучи, не дивлячись на те, що існує чітке уявлення про те, якою може бути погода, часто відсутнє розуміння того, до чого ця погода може призвести.

Для ліквідації даного розриву необхідно розробити комплексний підхід до спостережень, моделювання та прогнозування суворих гідрометеорологічних явищ та їх наслідків. Вирішення цієї проблеми потребує цілеспрямованих зусиль на міждисциплінарній основі і з високим ступенем інтеграції. Це важливо для забезпечення доступу до найліпших існуючих наукових даних і оптимальному обслуговування для прийняття комплексних заходів сьогодні в зв'язку з багатьма небезпечними явищами, а також для надання найкращої бази даних, на основі яких будуть прийматися витратні рішення щодо інфраструктури, необхідної для захисту населення в майбутньому в умовах зміни клімату.

Чому результатом хороших прогнозів погоди є погане реагування на них?

Є численні приклади того, коли небезпечне метеорологічне явище добре прогнозувалося, однак його наслідки не враховувались і / або було недооцінені, а реагування на цей прогноз було неадекватним. Два випадки ілюструють необхідність виходу за межі метеорологічних попереджень.

Випадок 1 - Тропічний циклони «Хайян» («Йоланда»). Найяскравішим недавнім прикладом є тропічний циклони «Хайян» («Йоланда»), класифікований як шторм категорії 5, який обрушився на Філіппіни 7 листопада 2013 р. Станом на 14 січня 2014 р., згідно з повідомленнями, загинули 6 201 особа, 28 626 були травмовані і 1 785 осіб все ще вважаються зниклими без вести. Постраждало більше 16 млн чоловік, і поточна оцінка збитку, заподіяного інфраструктурі і

сільському господарству, становить понад 827 млн дол. США. Багато людей загинули в результаті штормового нагону, що утворився під впливом вітру, максимальна швидкість якого безперервно становила 275 кілометрів на годину протягом 10 хвилин. Чи можна було врятувати життя людей завдяки кращому знанню конкретних наслідків цього шторму? Найімовірніше, так. Точні попередження були випущені своєчасно метеорологічним агентством - Філіппінська адміністрація атмосферних, геофізичних і астрономічних служб (ПАГАСА) – з повідомленням про зливи і вітрі, а уряд направив літаки і вертольоти в ті райони, які могли бути порушені з найбільшою ймовірністю. Однак цього було все ж недостатньо. Якби була більш точна інформація про ризики, особливо про штормове нагоні, то більш широкомасштабну евакуацію можна було, ймовірно, провести раніше.

Випадок 2 - Тропічний циклон «Фітоу». Хоча тропічний циклон «Фітоу» був не таким сильним, як «Хайян», в результаті його виникнення стали особливо очевидними деякі обмеження метеорологічних попереджень. Тропічний циклон «Фітоу» почав впливати на континентальну частину Китаю 6 жовтня 2013 року і викликав значний збиток і руйнування. В період з 20:00 за місцевим часом 7 жовтня до 14:00 за місцевим часом 8 жовтня в Шанхаї випало в цілому 156 мм опадів, що є найбільшою кількістю опадів за 18-годинний період, зафіксованим після 1961 р. Наслідки виявилися вельми істотними: було затоплено 97 доріг, а також 900 населених пунктів, де завдано збитків безлічі підземних автостоянок і автомашин; деякі протипаводкові стіни були пошкоджені або зруйновані, вийшли з берегів річки затопили чотири райони. До 11 жовтня налічувалося понад 1,2 млн осіб, які зазнали безпосередній вплив, і повідомлялося про один смертельний випадок; майже 28 млн гектар сільськогосподарських земель опинилися під водою. Прямий економічний збиток оцінюється в 890 млн. юанів. У провінції Чжецзян повідомлялося про сім загиблих, а величина прямого економічного збитку склала, за оцінками, понад 33 млрд юанів. Шанхайська метеорологічна служба Китайської метеорологічної адміністрації випустила точні попередження відповідно до стандартних оперативними процедурами та протоколами, підвищуючи при цьому ступінь суворості від синьої до червоної в міру погіршення ситуації. Тривожні повідомлення отримали понад 18 млн осіб. Однак населення реагувало на це словами: «Чому попередження так запізнилися?». Тривожне повідомлення «помаранчевої» ступеня щодо дощу було випущено 8 жовтня в 5:36 за місцевим часом, а тривожне повідомлення «червоної» ступеня - в 7:38. Цей день збігся з першим днем занять в школі і роботи після китайського національного свята. Час випуску тривожних повідомлень надзвичайно збіглося з часом пік, а саме: ранковими поїздками на роботу, які почалися до того, як багато людей дізналися про небезпечний характер даної

ситуації. Пробки на дорогах позбавили людей можливості дістатися до їх пунктів призначення або повернутися додому. Чому це сталося, якщо прогноз був настільки точним? Як і в більшості країн, в Китаї система попереджень заснована, в першу чергу, на порогових значеннях метеорологічних величин. Кожен рівень попередження включає також короткий виклад рекомендованих дій, які необхідно зробити у разі випуску попередження. Ці дії носять, як правило, досить загальний характер і не є конкретними керівними вказівками для конкретних обставин. Прогнозист зазвичай не враховує уразливість і схильність населення даного небезпечному явищу. У випадку з тропічним циклоном «Фітоу» це означало, що попередження вищого рівня не випускалося аж до ранкової години пік, коли вже були перевищені відповідні порогові значення метеорологічних величин.

Небезпечне явище визначається як гідрометеорологічне, геофізичне або зумовлена діяльністю людини подія, яка створює небезпеку будь-якого рівня для життя, власності або навколишнього середовища.

Багато НМГС передають попередження про істотні небезпечні явища, які, як очікується, будуть загрожувати життю або майну. Цей наступний інформаційний рівень включає повідомлення, які передаються на нерегулярній основі і в міру необхідності. В цілому для даної продукції характерні надання повідомлень з відповідними заголовками, наявність системи кольорового кодування або системи нумерації і / або активація національних спеціалізованих систем передачі повідомлень, які використовуються тільки під час екстремальних явищ. Гідрометеорологічні явища, в зв'язку з якими робляться подібні попередження, можуть включати паводки, зимові шторми, інтенсивні конвективні явища погоди, екстремальні температури і погана якість повітря.

НМГС використовують систему порогових значень про попередження різних небезпечних явищ погоди, які можуть відрізнятися в різних країнах.

Так національна служба погоди Сполучених Штатів Америки (NWS-National Weather Service) поділяє попередження про сувору погоду на декілька типів небезпечних / гідрологічних подій:

Сильні місцеві шторми - короткострокові, дрібномасштабні небезпечні погодні або гідрологічні події, спричинені грозами (включаючи великий град, пошкоджуючий вітер, торнадо та повені) (табл.1.1).

Критерії: *Попередження про сильний грози видається, коли вони можливі в районі спостереження та поблизу нього. Це не означає, що вони відбудуться. Це лише означає, що вони можливі.*

Сильні грози визначаються таким чином:

- 1) Вітер 58 миль / год або вище*
- 2) Град діаметром 1 дюйм або більше.*

Таблиця 1.1-Категорії ризику конвективної грози

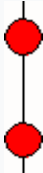
Категорія ризику	Код карти	Опис
Слабкі грози	TSTM	Праворуч від лінії, 10% або більше ймовірності грози протягом дійсного періоду.
Граничний	1-MRGL	Район сильних або локальних короткострокових штормів граничної інтенсивності.
Незначний	2-SLGT	Район організованих сильних штормів, який не має широкого охоплення з різним рівнем інтенсивності.
Підвищений	3-ENH	Район більшого (відносно невеликого ризику) сильного шторму з різним рівнем інтенсивності.
Помірний	4-MDT	Район, де імовірна широкомасштабна суворя погода з декількома торнадо і / або численними сильними грозами, деякі з яких мають бути інтенсивними. Цей ризик зазвичай зберігається протягом днів, коли декілька комірок формують сильні торнадо, дуже сильний град або інтенсивну лінію шквалів з руйнівним вітром.
Високий	5-HIGH	Район, де очікуються стихійні погодні явища, численні інтенсивні і довготривалі торнадо, мезомасштабні конвективні комплекси, що викликають ураганні пориви вітру та повсюдний збиток.

Попередження про сильний вітер видається, коли очікуються такі умови:

1) стійкий вітер швидкістю 40 миль / год або вище протягом однієї години або більше;

2) пориви вітру 58 миль / год або вище для будь-якої тривалості.
або за таблицею 1.2.

Таблиця 1.2- Умови попередження про вітер

Швид- кість вітру	Морське або берегове поперед- ження	Наземне поперед- ження	Поперед- ження про тропічний циклон	Прапори	Вогні	Сила Бофо- рта
25 -38 – миль/год(22 - 33 вузла)	Консультації для малих суден	Інформація про вітер	Консуль- тації для вітрильних або малих суден			6–7
39 -54 - миль/год (34 - 47 - вузлів)	Штормове поперед- ження	Поперед- ження про сильний вітер	Поперед- ження про тропічний шторм			8–9
55 -73 миль/год (48- 63 вузла)	Штормове поперед- ження	Штормове поперед- ження	Штормове поперед- ження			10–11
74–110 миль/год (64 - 99 вузлів)	Поперед- ження про ураганний вітер	Поперед- ження про сильний вітер	Поперед- ження про ураган			12–13
Більше 110 миль/год (100+ вузлів)	Поперед- ження про вітер ураганної сили	Поперед- ження про екстрема- льний вітер	Поперед- ження про ураган та екстрема- льний вітер			14–16

Зимові шторми - небезпека погоди, пов'язана із замерзанням або замороженими опадами (замерзаючий дощ, мокрий сніг або сніг), або поєднаними наслідками зимових опадів та сильного вітру.

Критерії: 5 дюймів і більше снігу або мокрого снігу протягом 12 годин, 7 дюймів або більше снігу / мокрого снігу протягом 24 годин.

Попередження про мороз видається тоді, коли мінімальна температура прогнозується від 33 до 36 градусів Цельсія у ясні та спокійні ночі протягом вегетаційного сезону.

Пожежна небезпека - погодні умови, що сприяють підвищеному ризику та сприяють поширенню лісових пожеж.

Попередження про пожежну небезпеку випускається для повідомлення співробітників пожежної служби про потенційно небезпечні погодні умови протягом наступних 24-36 годин. Вони видаються при дотриманні наступних трьох критеріїв:

- 1) Відносна вологість поверхні (RH) менше 30%;
- 2) Стійкий приземний вітер зі швидкістю 20 миль на годину або більше;
- 3) 10-годинна вологість горючих матеріалів менше 8 %;

Підтоплення - небезпечні гідрологічні події, що призводять до тимчасового затоплення земельних ділянок, які зазвичай не покриваються водою, часто спричинених надмірними опадами.

Критерії: Попередження про раптовій повені видається, коли воно неминуче або вже відбувається.

Попередження про повені видається, коли повинь відбувається або неминучий в одній або декількох прогнозованих точках вздовж річки.

Небезпека на узбережжі / березі озера - гідрологічна небезпека, яка може вплинути на майно, морські чи розважальні заходи в районах поблизу океанських та озерних вод, включаючи сильний прибій та затоплення прибережних або берегів озера.

Критерії: Попередження про повені в прибережних районах видається, коли відбувається або неминуче помірне або велике повені. Це підтоплення представлятиме серйозний ризик для життя та майна.

Морська небезпека - небезпечні події, які можуть вплинути на морські подорожі, риболовлю та судноплавство вздовж великих водойм, включаючи небезпечні моря та замерзаючі бризки.

Критерії: Попередження про потенційно небезпечні погодні умови короткої тривалості (до 2 годин), що зачіпають райони, які недостатньо охоплені існуючими морськими попередженнями, і видає одне або кілька з наступного:

- 1) Стійкі морські конвективні вітри (зливи / грози) або пориви 34 вузла і більше;
- 2) Град діаметром три чверті дюйма або більше;
- 3) Водяні смерчі

Небезпека тропічного циклону - небезпечні події тропічного циклону, які можуть вплинути на майно у внутрішніх районах або морську діяльність у прибережних водах, що призведе до пошкодження вітром, штормових сплесків, торнадо та повені.

Критерії: *Попередження про ураган видається, коли стійкі вітри 64 вузла (74 милі/год) або вище, пов'язані з тропічним циклоном, очікуються через 36 годин або менше. Ці вітри можуть супроводжуватися штормовим сплеском, прибережними повенями та / або затопленнями річок. Попередження про ураган може діяти, коли триває небезпечно висока вода або поєднання небезпечно високої води та надзвичайно високих хвиль, навіть якщо вітер може бути меншим за ураганну силу.*

Небезпечні явища без опадів - небезпека погоди, безпосередньо не пов'язана з будь-яким із перерахованих вище, включаючи сильну спеку чи холод, густий туман, сильний вітер та затоплення річок чи берегів озера.

Критерії: *Попередження щодо густого туману видається, коли очікується, що широко розповсюджений туман зменшить видимість до 1/4 милі або менше на великій території протягом тривалого періоду часу (2 або більше годин).*

Попередження про надмірну спеку видається, коли очікується, що значення теплового індексу досягне або перевищить 110 градусів (на схід від Блакитного хребта) або 105 градусів (на захід від Блакитного хребта) протягом наступних 12-24 годин. Попередження про надмірну спеку може бути видано за нижчими критеріям, якщо це відбувається на початку сезону або під час багатоденної спеки.

Спостереження (**Outlook**) - щодня видається прогноз небезпечних погодних умов, щоб вказати, що в наступні сім днів можуть відбутися небезпечні метеорологічні або гідрологічні явища. Кожен сегмент продукту буде містити розділи, в яких описуються короткострокові (до 1-го дня) і довгострокові (для 2-7-го днів) НМЯ, а також інформація для спостерігачів.

Повідомлення (**Advisory**) - повідомлення видається, коли небезпечне погодні або гідрологічне подія відбувається, неминуче або ймовірно.

Надзвичайна ситуація (**Emergency**)- надзвичайна ситуація видається, коли спостерігається подія, яка сама по собі не може становити загрозу для життя чи майна, але може побічно викликати інші пригоди, які можуть представляти таку небезпеку. Прикладом цього може бути відключення електроенергії, яке, хоча і не становить прямої загрози, може загрожувати громадській безпеці і найважливішим службам.

Годинники (**Watch**) - годинник використовуються, коли ризик небезпечних погодних або гідрологічних явищ значно збільшився, але їх виникнення, місце розташування або час все ще залишаються невизначеними.

Попередження (**Warning**)- попередження видається, коли небезпечні погодні або гідрологічні явища відбуваються, неминучі або вірогідні. Попередження означає, що погодні умови становлять загрозу для життя чи майна.

Бюлетень (**Statement**)- бюлетень випускається в якості подальшого повідомлення для попередження, яке може оновлювати, розширювати або скасовувати повідомлення, яке воно відстежує.

Оповіщення про небезпечні метеорологічні та гідрологічні явища також випускається у вигляді щоденних карт попередження про НМЯ (рис.1.1).

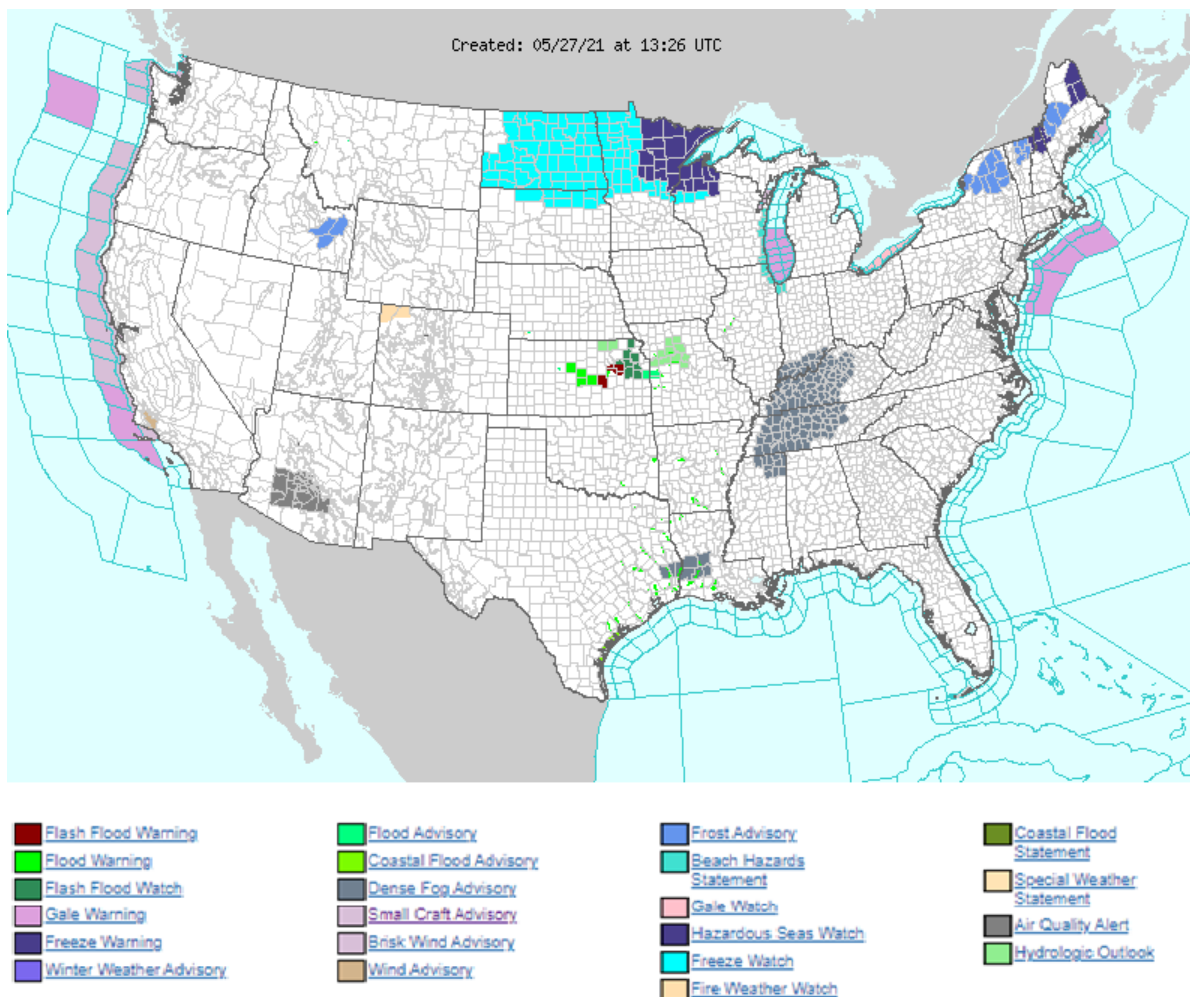


Рисунок 1.1 – Приклад оповіщення про небезпечну погоду від Національної служби погоди США

Японське метеорологічне агентство (ЈМА) якщо очікуються небезпечні погодні умови, видає різноманітні повідомлення, включаючи надзвичайні попередження, попередження, поради та бюлетені, карти

ризик у щоб можна було вжити відповідних заходів для пом'якшення можливих катастроф (рис.1.2).

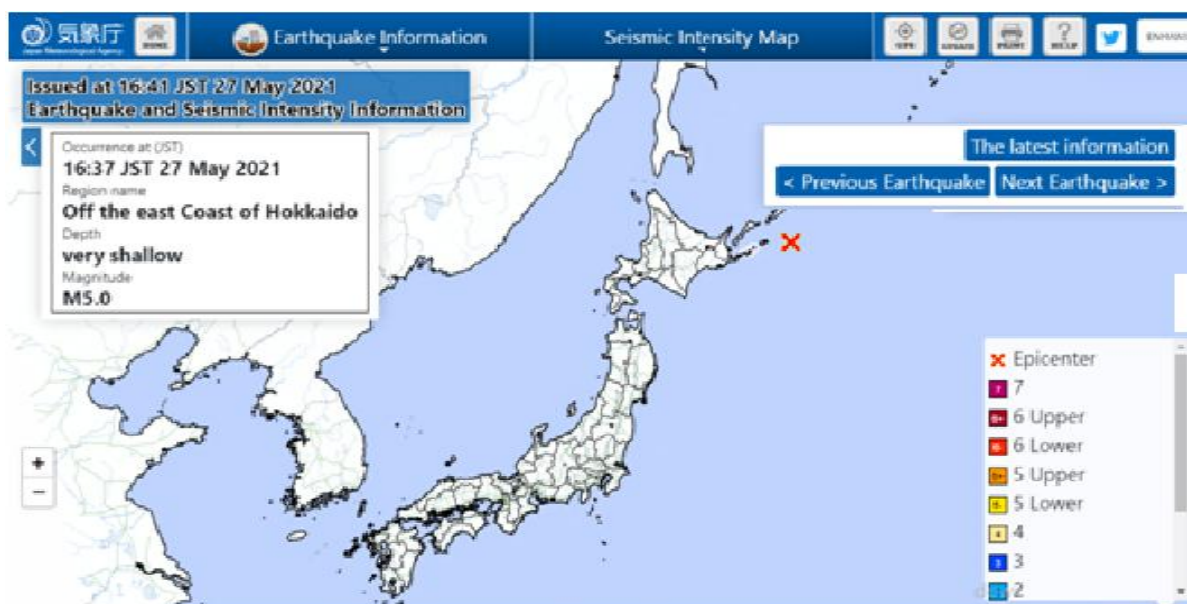


Рисунок 1.2 – Інформація про землетруси та інтенсивність сейсмічних явищ

Ці повідомлення видаються місцевими метеорологічними відомствами (ММВ) своїм відповідним префектурам (табл.1.3).

Таблиця 1.3 –Критерії попереджень про небезпечну погоду випущені JMA

Екстрені попередження

Шторм	Хуртовина	Злива	Сильний сніг
Штормовий нагон	Високі хвилі		

Попередження

Шторм	Хуртовина	Злива	Сильний сніг
Штормовий нагон	Високі хвилі	Повінь	

Повідомлення

Хуртовина	Шторм	Злива	Сильний сніг
Густий туман	Гроза	Посуха	Лавина
Ожеледь	Мороз	Низькі температури	Відлига
Штормовий нагон	Високі хвилі	Повінь	

Екстрені попередження видаються, якщо існує значна ймовірність катастроф природним явищем, яке, як очікується, має масштаби, що значно перевищують критерії попередження. Попередження видаються, якщо погода, яка відповідає відповідним критеріям попередження, може призвести до катастрофи. Консультації видаються, якщо можливий розвиток серйозних несприятливих умов через погодні умови, які відповідають рекомендаційним критеріям, але залишаються нижче критеріїв попередження. Бюлетені містять інформацію, яка доповнює надзвичайні попередження, попередження та рекомендації. Наприклад, інформація просуви ґрунту видається спільно з муніципалітетами, зокрема, коли вони спричинені сильним дощем, очікуються з великою можливістю протягом найближчих кількох годин.

Серйозні збитки, спричинені сильними штормами, включаючи торнадо в 2006 році, спричинили вимоги щодо оповіщення про небезпечні вітри. Щоб задовольнити цю вимогу, ЖМА розпочала випуск «Спостереження за небезпечним вітром» з березня 2008 року на основі обговорення на консультативних нарадах. Всі такі повідомлення поширюються серед громадськості через адміністративні органи та різноманітні засоби масової інформації.

Після потужного цунамі, землетрусу та сильними зливами, викликаними тайфуном Талас в 2011 році, 30 серпня 2013 року ЖМА представило систему аварійних попереджень, щоб визначити критерії таких стихійних явищ (рис.1.3).

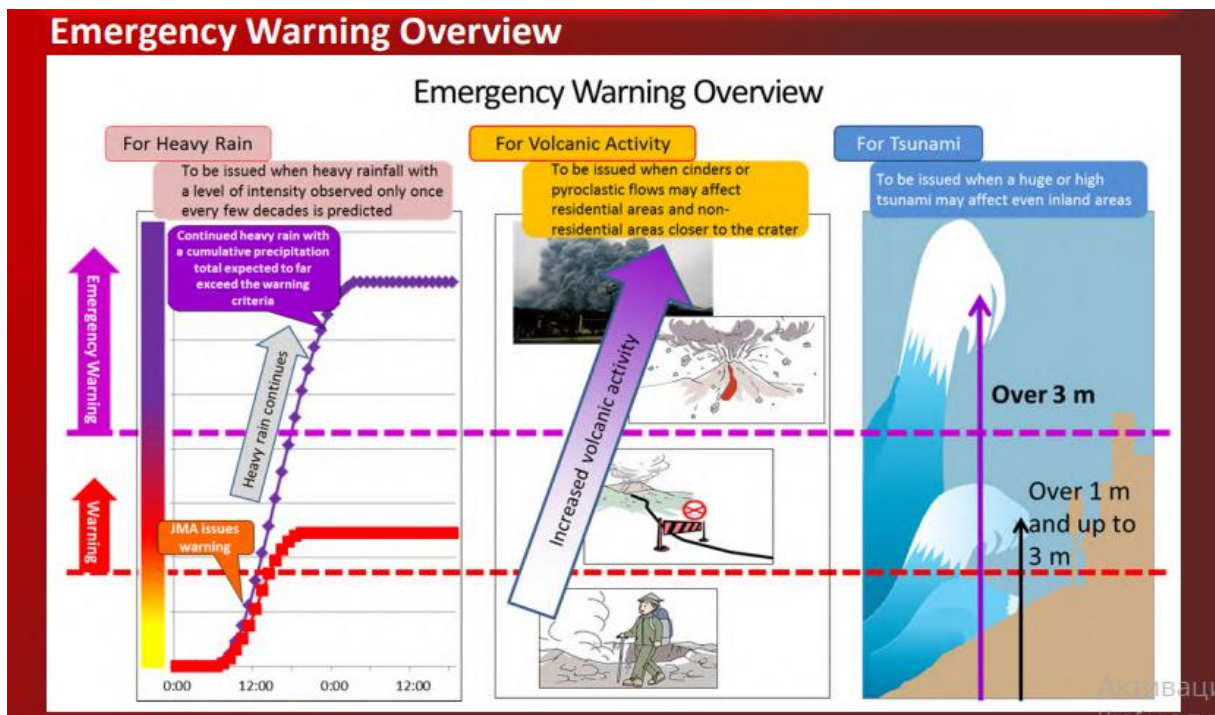


Рисунок 1.3–Попередження про стихійні явища

Для поширення прогнозів і попереджень ЖМА підтримує службу автовідповідача за номером для населення і прямі канали зв'язку між метеорологічними службами і центральними та місцевими органами влади, а також засобами масової інформації. Агентство також активно впроваджує нові інформаційні технології в свої метеорологічні інформаційні служби. Одним із прикладів цього є високошвидкісна комунікаційна мережа, яка називається Інформаційною Мережею із Запобігання Стихійним Лихам (INDiP), яка забезпечує ефективне і швидке поширення інформації як в текстовій, так і в графічній формі (рис.1.4). INDiP з'єднує окремі гідрометеорологічні центри зі штаб-квартирою ЖМА, щоб доповнити традиційно створену мережу зв'язку для більш зручного для користувача надання метеорологічної інформації - зокрема, попереджень і рекомендацій - безпосередньо і індивідуально органам щодо запобігання стихійних лих в окремих префектурах та містах.

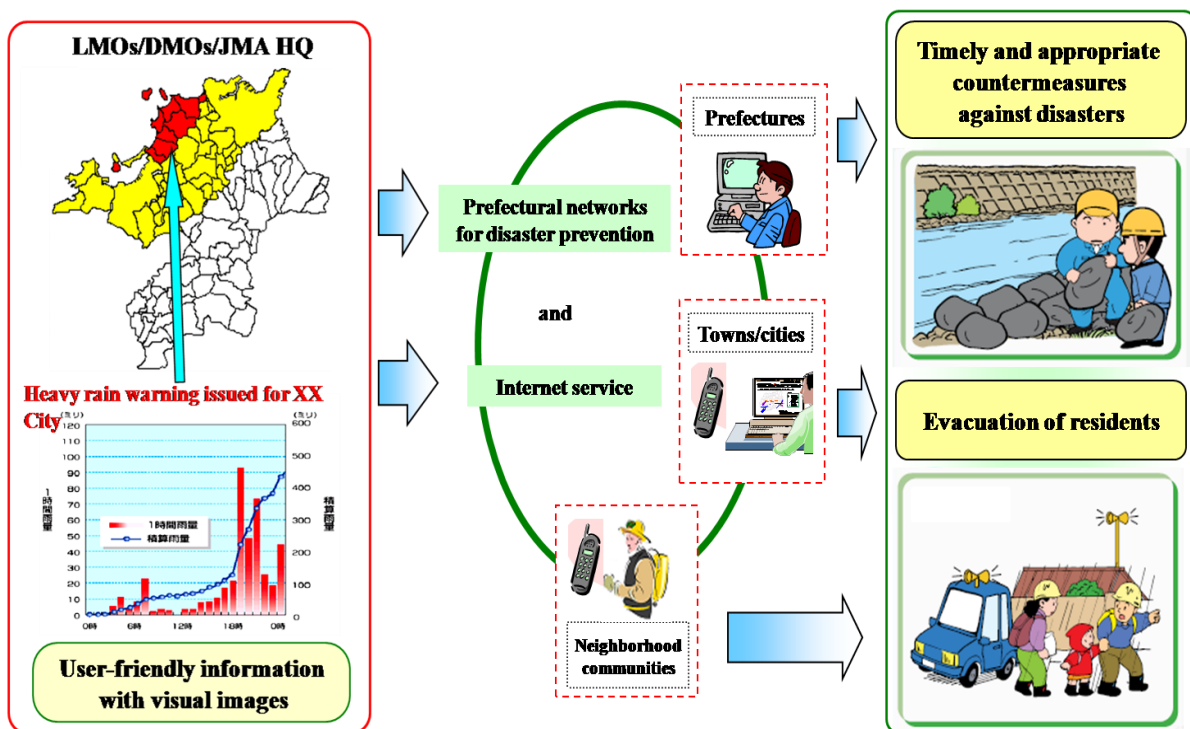


Рисунок 1.4–Зображення попередження для користувачів через INDiP

Інформація для морських користувачів передається службою радіо-факсимільного передачі (JMH) ЖМА і службою радіозв'язку рибальства. Вона також поширюється в рамках Глобальної морської системи лиха та безпеки (GMDSS), тобто через службу мовлення NAVTEX берегової охорони Японії для морів в акваторії Японії і через службу мовлення SafetyNET для суден у відкритому морі, через морський супутник INMARSAT.

В Європі є значний досвід використання систем раннього попередження, особливо в тому, що стосується ризику повеней і раптових повеней, штормів, лісових пожеж, хвиль тепла і засух. Системи раннього попередження мають пряме відношення до різних секторів, які в першу чергу страждають від ризиків, пов'язаних з кліматом, таким як здоров'я, зниження ризику лих, сільське господарство, лісове господарство, будівлі, прибережні і міські райони. Інші можуть побічно отримати вигоду від систем раннього попередження, таких як транспортний сектор, якщо дороги або рейки закриваються заздалегідь до того, як люди постраждають від негативного впливу, або туризм, при забезпеченні того, щоб туристичні групи були попереджені про доступ до певної області або уникнення активного відпочинку в періоди екстремальних погодних умов. .

Деякі EWS (Early warning systems) надають послуги і продукти не тільки для певного ризику, пов'язаного з кліматом. Meteoalarm - це спільна робота EUMETNET (Мережа європейських метеорологічних служб), яка забезпечує оповіщення в Європі про екстремальні погодні явища, включаючи сильний дощ з ризиком затоплення, сильні грози, ураганні вітри, хвилі тепла, лісові пожежі, туман, сніг, екстремальні холоди з хуртовинами, лавинами або сильними прибережними приливами. Служба з питань зміни клімату Copernicus (CCS-Copernicus Climate Change Service) надає надійні високоякісні кліматичні дані та спеціалізовану інформацію для соціально-економічних секторів на європейському рівні, які, безумовно, мають відношення до адаптації до зміни клімату. Крім того, Центр даних про ризики (DRMKC-Risk Data Hub of the Disaster Risk Management Knowledge Centre), керований DG JRC, надає ретельно відібрані дані про ризики в масштабах ЄС через хостингові набори даних і шляхом підключення до національних платформ.

Попередження про погоду на європейському рівні видає служба EUMETNET MeteoAlarm (www.meteoalarm.eu). Це спільна ініціатива понад 30 національних метеорологічних служб (NWS) у Європі. На кольорових картах Європи показано, яка погода, де очікуються небезпечні явища. Усі включені країни домовились про подібне кольорове кодування на основі можливих наслідків та безпеки. Призначення кольорів максимально послідовне і пов'язане з очікуваною інтенсивністю явища і збитком.

Білий – відсутні, недостатні, застарілі або підозрілі дані.

Зелений – особливою обізнаності про погоду не потрібно.

Жовтий – погода потенційно небезпечна. Прогнозовані погодні явища не є чимось незвичайним, але будьте уважні, якщо ви збираєтеся займатися діяльністю, схильною до метеорологічним ризиків. Будьте в курсі очікуваних метеорологічних умов і не піддавайтеся ризику, якого можна уникнути.

Помаранчевий – погода небезпечна. Прогнозуються незвичайні метеорологічні явища. Ймовірні пошкодження і жертви. Пам'ятайте про

ризиків, яких можна уникнути. Дотримуйтесь будь-яких порад ваших властей.

Червоний – погода дуже небезпечна. Прогнозуються виключно інтенсивні метеорологічні явища. Вірогідні серйозні пошкодження і нещасні випадки, у багатьох випадках із загрозою для життя і здоров'я, на великій території. Виконуйте накази і будь-які поради ваших властей при будь-яких обставинах, будьте готові до надзвичайних заходів.

Починаючи з помаранчевого рівня попередження, а для деяких країн уже і з жовтого кольору, всередині регіону розміщується символ (який вказує на даний погодний параметр) (рис.1.5).

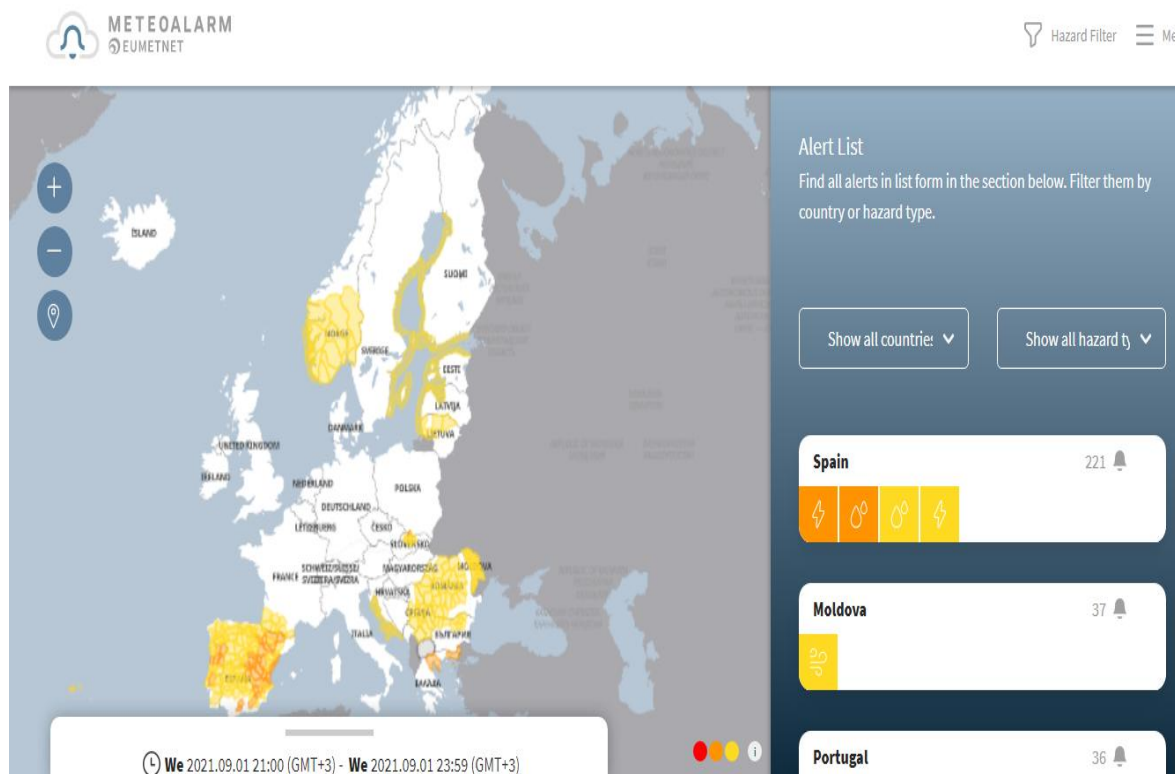


Рисунок 1.5–Попередження про сувору погоду: Європа (Meteoalarm)

Особливу увагу в Європейському Союзі приділено спеціалізованим прогнозами погоди для клієнтів так званої критичної інфраструктури (CI - critical infrastructure). Близько половини метеорологічних служб надають спеціалізовані стандартні продукти для клієнтів CI в певний час. Для обслуговування стратегічних галузей народного господарства в Європі розроблена програма моніторингу та попередження ризиків RAIN (Risk Analysis of Infrastructure Networks in Response to Extreme Weather). Управління дорогами, передача електроенергії та інфраструктура телекомунікацій - це категорії RAIN CI для більшості погодних служб. Більшість метеорологічних служб використовують фіксовані порогові значення для попереджень для всієї країни або області.

Урагани.

Урагани, пов'язані з позатропічними циклонами, є характерною рисою зимового клімату в Європі. Основна інформація, яка використовується для попереджень про урагани, забезпечується моделями чисельного прогнозу погоди (ЧПП). Після запуску моделей прогнозів експерти метеорологічних служб порівнюють і оцінюють різні прогнози і, при необхідності, видають попередження в залежності від певних порогових значень. У разі ураганів ці порогові значення істотно розрізняються між різними країнами і метеорологічними службами Європи (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Критерії екстремальних швидкостей вітру різних державних та приватних метеорологічних служб

Організація	Порогове значення (м/с)	Назва порога
UBIMET GmbH	20	помаранчевий
	28	червоний
	42	фіолетовий
SMHI - Swedish Meteorological and Hydrological Institute	14	Рівень 1
	25	Рівень 2
	30	Рівень 3
Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre	15	
	20	
	25	
	33	
MeteoLux / Administration de la navigation aérienne / L- 2632 Findel	18	жовтий
	25	помаранчевий
	31	червоний
DWD (German Weather Service)	14	жовтий
	18	помаранчевий
	29	червоний
	38	фіолетовий
Czech Hydrometeorological Institute	20	помірний
	25	сильний
	30	екстремальний
Slovak Hydrometeorological Institute	12(18)	Рівень 1
	16(23)	Рівень 2
	26(33)	Рівень 3
Danis Meteorological Institute	24,5	
ZAMG	залежно від організації партнера, починаючи з 17м/с	
BLUE SKY Wetteranalysen	15	
Geo-Meteo	15	
Norwegian Met. Institute	25-30 м/св залежності від території	

Сильні опади.

Сильні опади представляють серйозну загрозу для критично важливої інфраструктури. Особливо вразливі до таких подій наземний транспорт і служби екстреної допомоги. Системи попередження про екстремальні опади існують в більшості європейських країн. Попередження зазвичай надається в Інтернеті у вигляді карти з кольоровим кодом, що вказує ступінь небезпеки, і символами, що вказують тип події. Індивідуальні попередження для 35 різних європейських країн збираються METEOALARM (табл. 1.6). Національні сайти попереджень зазвичай пропонують більше регіональної інформації та більш детальну інформацію про ситуацію, ніж METEOALARM. Доступ до них можна отримати безпосередньо або за посиланням з сайту METEOALARM. Порогові значення для різних категорій (кольорів) попереджень вказуються національними метеорологічними службами і розрізняються залежно від країни. Таблиця 1.5 дає огляд цих порогових значень для сильних опадів у ряді європейських країн.

Таблиця 1.5 – Критерії екстремальних опадів різних державних та приватних метеорологічних служб

Організація	Критерії		
	Низкий	Середній	Високий
UBIMET GmbH	30 mm/24h	50 mm/24h	100 mm/24h
SMHI - Swedish Meteorological and Hydrological Institute	>35 mm/12h		>70 mm/24h
MeteoLux / Administration de la navigation aérienne / L- 2632 Findel	3,3-6,3 mm/h	6,4-11,6 mm/h	>11,6 mm/h
Lithuanian Hydrometeorological Service	15-49 mm/12h	>50-88 mm/12h	>80 mm/12h
Czech Hydrometeorological Institute	>30 mm/6h	>50 mm/12h	>50 mm/6h
	35 mm/12h	>60 mm/24h	70 mm/12h
	40 mm/24h		90 mm/24h or 120 mm/48h
Danis Meteorological Institute	>15 mm/30min or > 24 mm/6h total > 50 mm		
BLUE SKY Wetteranalysen	30mm/24h		

Таблиця 1.6- Порогові значення опадів в системі METEOALARM

country	mm/ h	mm/ 3h	mm/ 6h	mm/ 12h	mm/ 24h	mm/ 48h	mm/ h	mm/ 3h	mm/ 6h	mm/ 12h	mm/ 24h	mm/ 48h	mm/ 72h	mm/ h	mm/ 3h	mm/ 6h	mm/ 12h	mm/ 24h	mm/ 48h	mm/ 72h
Bulgaria			30		15						35							65		
Switzerland					30						50	80	100					80	110	130
Cyprus		45	50		55			65	70		85				90	95		115		
Czech Republic			30	35	40					50	60					50	70	90	120	
Germany	15		20	25	30	40	25		35	40	50	60		40		60	70	80	90	
Denmark			24																	
Estonia				15						50										
Finland	20				50		30				70			45				120		
Croatia			15		25				45		60					80		95		
Hungary		25			20			50			30							50		
Ireland			20	25	30				30	40	50					40	50	70		
Italy			10		20				30		50					50		100		
Luxembourg		10	15		30			20		30	45				35	45		60		
Malta					30						60							75		
Netherlands	30										75									
Norway		25						35							50					
Portugal	10-20		30-40				21-40		41-60					40		60				
Rumania					25						50							90		
Serbia		10		20	30			20		30	40				30		40	60		
Sweden				35							70									
Slovakia			35	45	55				55	70	90									
Slovenia			15		20				25		40					60		80		

Сильний снігопад (і хуртовини), налипання мокрого снігу, крижаний дощ.

Снігопад дуже впливає на транспорт, викликаючи пробки і затримки, а на шосе можуть статися серйозні аварії. Важливо, щоб метеорологічні служби попереджали про небезпечні явища заздалегідь, щоб дозволити різним органам влади вжити заходів щодо пом'якшення наслідків. Багато метеорологічні служби мають *три рівні* попереджень в залежності від серйозності очікуваних впливів, які зазвичай розрізняються для різних секторів інфраструктури, наприклад транспорт або електропостачання. Уже кілька сантиметрів снігу можуть порушити дорожній рух, але зазвичай не завдають шкоди розподілу електроенергії. Більш низький поріг пов'язаний з впливом на транспорт, більш високий поріг - з впливом на сектор енергетики і телекомунікацій. Однак вплив снігу залежить також від переважаючих температурних умов та сили вітру. Порогові значення хуртовини, застосовані в проєкті RAIN, відповідають визначенням у проєкті EU FP7 EWENT: 24-годинний снігопад ≥ 10 см, максимальний порив вітру ≥ 17 м/с та середньодобова температура ≤ 0 °C.

Погодні служби в Європі зазвичай не видають жодних спеціальних попереджень щодо навантаження снігом, але при прогнозуванні сильного снігопаду можливість навантаження снігом може обговорюватися в прогнозах або ранніх попередженнях.

Порогові показники попередження про замерзаючий дощ на основі анкети для метеорологічних служб наведені в таблиці 1.7. Ці значення змінюються в досить великих межах. Це може бути пов'язано з тим, що деякі метеорологічні служби націлюють свої попередження на дорожній рух; у такому випадку накопичення льоду в 1 мм може бути вже дуже небезпечним, інші метеорологічні служби можуть зосередити більше уваги на енергетичному секторі, коли використовують набагато вищі пороги (наприклад, 20 мм для попередження рівня 2). Порогові значення, визначені в проєкті RAIN, становлять 5 мм і 25 мм для загального накопичення льоду.

Таблиця 1.7 – Критерії для замерзаючих опадів

Рівень 1(жовтий)	Рівень 2 (померанчевий)	Рівень 3 (червоний)
>0.5 mm/6h	>3 mm/6h	
Сліди	<1 mm/h $\geq$ 1 mm/h	<1 mm/h $\geq$ 1 mm/h

Більшість метеорологічних служб видають попередження про сильний снігопад із завчасністю не менше 24 годин, деякі з них також розробили продукти для попередження («ранні попередження») для клієнтів критичної інфраструктури (CI) з терміном виконання замовлення в кілька днів; близько 60% опитаних метеорологічних служб

використовують завчасність в 2 дня і більше. У разі замерзаючих опадів час подачі попереджень в середньому дещо коротший.

Град.

Точний прогноз виникнення граду залежить від здатності прогнозистів або систем прогнозування точно інтерпретувати результати моделі ЧПП в прогнозі граду. Тобто моделі ЧПП з високою роздільною здатністю, все більшою мірою можуть розрізняти різноманітні типи конвективних штормів, деякі з яких з більшою вірогідністю спричинять (сильний) град, ніж інші. Одномірною моделлю зростання граду, яка може використовуватися як зондування моделі ПВП, так і фактичне зондування, - це модель HAILCAST. HAILCAST дає об'єктивні, надійні і точні оцінки максимального розміру граду.

У таблиці 1.8 представлені порогові значення, використані для Європейської бази даних про сувору погоду (ESWD), на додаток до критеріїв, використовуваних у www.estofex.org, і пороговим значенням Національної служби погоди США.

Таблиця 1.8 – Розмір граду (см) як поріг для найвищих 3 рівнів попередження, що використовуються метеорологічними службами (літери від А до G) в Європі, критерії ESWD, ESTOFEX та США

Прогноз	Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3
A	0,6	2	
B	0,6	2	
C		2	4
D	будь-який	2	5
E	1		
F	0,5		
G	будь-який	2	
Mean	0,7	2	4-5
ESWD		2	5
ESTOFEX		2	5
USA		2,5	5

У той час як метод прогнозування на основі критеріїв застосовується в США протягом багатьох років, відсутність цього підходу до прогнозування в Європі до самого недавнього часу може бути причиною того, що лише деякі служби погоди можуть попереджати про великий або надзвичайно сильний град. Іншою причиною відсутності таких попереджень може бути те, що штормові попередження в діапазоні

прогнозів поточної погоди (на відміну від попереджень для більших територій) є винятком в Європі. В європейських попередженнях град часто включається в попередження про сильну грозу як одна із загальних загроз, в результаті чого відносно високий відсоток метеорологічних служб заявляє, що вони попереджають про град.

Шквал.

14 з 18 опитаних європейських метеорологічних служб заявляють, що попередження про шквали робляться щоразу, коли це необхідно, 10 метеорологічних служб видають такі попередження в певний час. Тільки 7 з 18 метеорологічних служб попереджають про надзвичайно сильні шквали зі швидкістю близько 32 м/с, у деяких найвищий поріг попередження при швидкості поривів вітру близько 25 м/с (табл. 1.9). У ряді метеорологічних служб в Європі не робиться відмінностей між частими слабкими шквалами і рідкісними, але інтенсивними явищами зі значним впливом (екстремальними).

Таблиця 1.9 – Швидкість поривів вітру (м/с) в якості порогового значення для трьох найвищих рівнів попереджень, які використовуються метеослужбами Європи (букви від А до О), критерії ESWD, ESTOFEX та США

Прогноз	Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3
A	20	28	42
B	20	25	30
C	20	25	33
D	18	25	31
E	15	20	
F	17		
G	15	28	33
H	20	25	30
I	18	23	29
J	24		
K	17		
L	15		
M	21	28	
N	15		
O	25		
Mean	18,7	25,2	32,6
ESWD		25	
ESTOFEX		25	32
USA		25	32

Шквали часто включаються в попередження про грозу в дуже загальному вигляді. Можуть бути відсутніми відмінності між грозами з високим ризиком сильних поривів вітру та грозами без них. Різниця між сильною і екстремальною швидкістю поривів вітру проводять тільки деякі служби погоди. Тільки 3 з 18 метеослужб випускають спеціалізовані продукти, пов'язані зі шквалами і тільки 1 метеослужба випускає спеціалізовані продукти в автоматичному режимі.

Європейський прогностичний сервіс ESTOFEX (The European Experiment on Storm Forecasting) та Європейська лабораторія сильних штормів ESWD (European Severe Weather Database) випускають попередження про небезпечні та стихійні погодні явища для території Європи в картографічному вигляді (рис. 1.6-1.7).

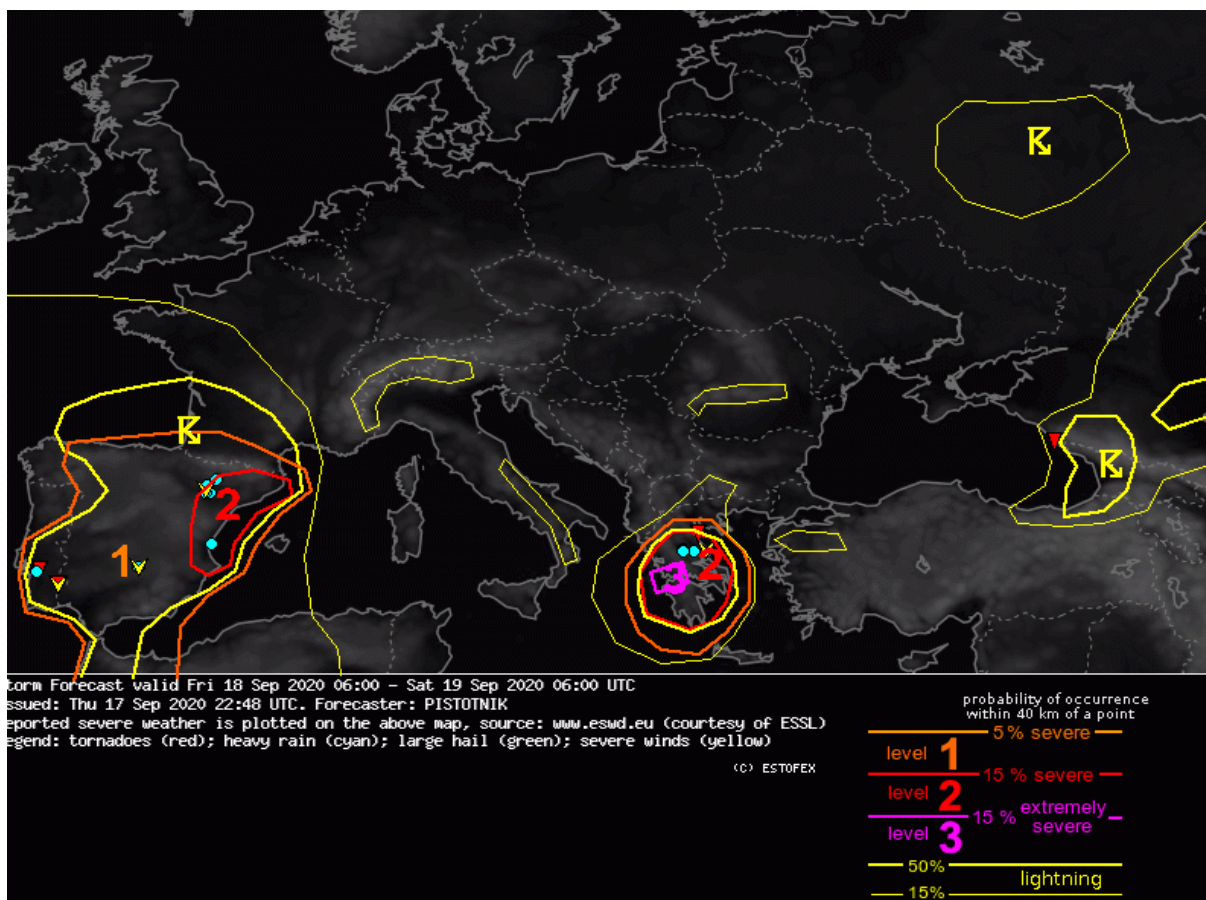


Рисунок 1.6–Приклад прогнозу ESTOFEX

Європейська лабораторія сильних штормів (ESWD) була заснована як приватна некомерційна дослідницька організація в грудні 2006 року. Це дочірня компанія German Aerospace. Центр DLR розташований в Оберпфaffenхофені, Німеччина. Цілі організації полягають у:

- Проведення фундаментальних і прикладних досліджень сильних конвективних штормів в Європа;

- Робота з Європейською базою даних про сувору погоду, ESWD;
- Організація європейських конференцій по сильним штормом, ECSS.

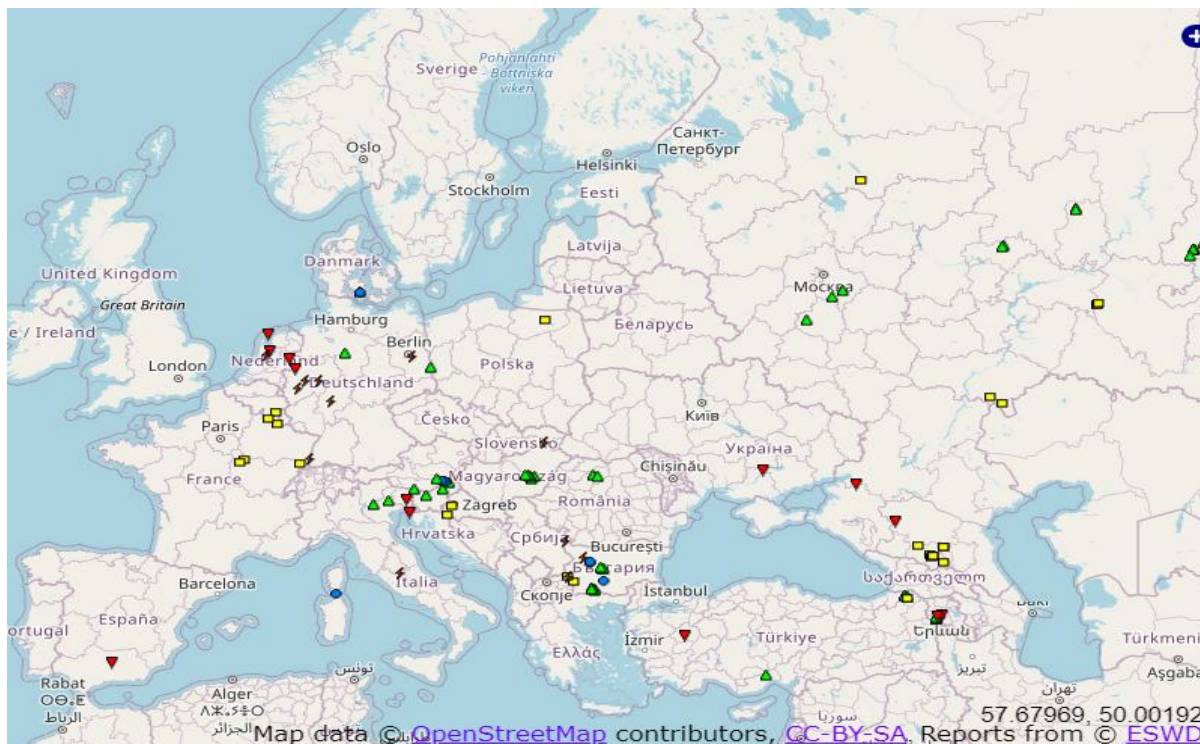


Рисунок 1.7–Приклад прогнозу ESWD

Отже, в Європі існує достатня кількість програм і установ, таких як Meteoalarm, Європейська система оповіщення про повені, система прогнозування поточної погоди INCA-CE, Європейський центр середньострокових прогнозів погоди (ECWMF), ESWD та ESTOFEX які ефективно реагують на виникнення небезпечних і стихійних метеорологічних явищ, а також на пом'якшення відмінностей в якості систем попереджень.

У Російській Федерації для попередження про виникнення комплексу небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ використовується система "Метео-Предупреждения". Прогнозовані загрози виникнення гідрометеорологічних явищ в системі "Метео-Предупреждения" відображаються в чотирьох градаціях (рівнях) небезпеки, які представлені в картаграфірованому вигляді з використанням кольорової шкали з супроводом текстової деталізацією (рис. 1.8).

У системі "Метео-Предупреждения" враховуються рівні небезпеки від факторів, пов'язаних з наступними гідрометеорологічними явищами:

1. висока температура;
2. низька температура;
3. швидкість вітру;
4. опади (рідкі);

5. опади тверді (сніг, мокрий сніг);
6. ожеледно-паморозеві відкладення, налипання мокрого снігу;
7. туман;
8. заморозки;
9. конвективні явища (град, гроза);
10. висока та надзвичайна пожежна небезпека в лісах;
11. водопілля;
12. повінь;
13. сіль;
14. лавина;
15. прибережні події (сильне хвилювання, обмерзання суден, тягун);
16. хуртовина
17. інші події, які не входять до цього переліку.

Степень интенсивности опасных явлений	Условные обозначения явлений	
Белый - данные отсутствуют	Ветер	Снег/Обледенение
Зелёный - оповещения о погоде не требуется	Заморозки	Гроза
Жёлтый - погода потенциально опасна	Туман	Очень высокая температура
Оранжевый - погода опасна. Имеется вероятность стихийных бедствий, нанесения ущерба	Очень низкая температура	Прибрежные события
Красный - погода очень опасна. Имеется вероятность крупных разрушений и катастроф	Пожарная опасность	Лавины
	Дождь	Наводнение
	Паводок	Сель
	Пыльная (песчаная) буря	Гололедно - изморозевое отложение
	Прочие опасности	

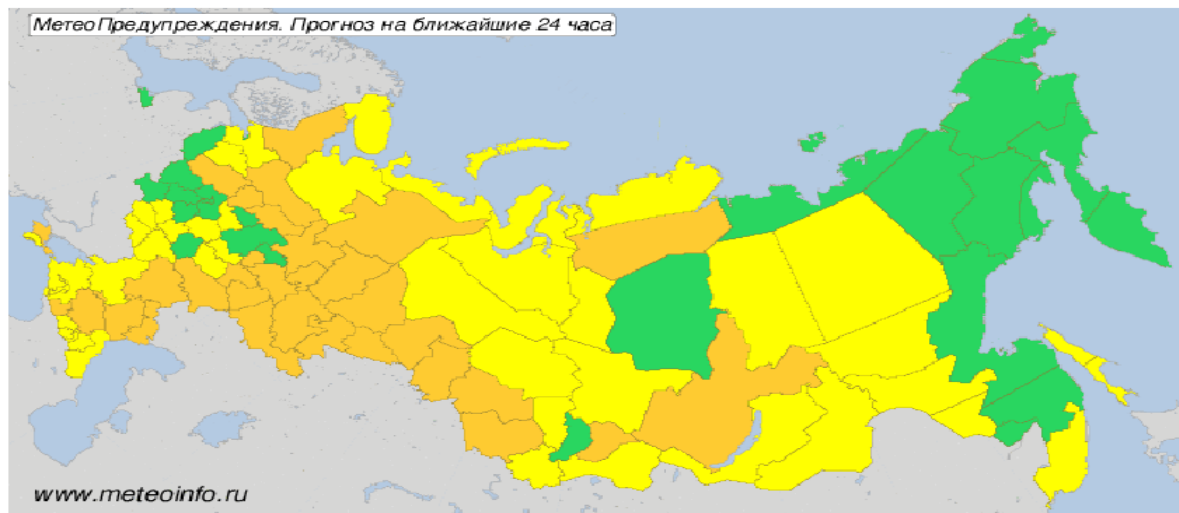


Рисунок 1.6–Карта прогнозу попередження про небезпечні явища в системі "Метео-Предупреждения"

Система "Метео-Предупреждения" надає інформацію про гідрометеорологічні загрози на термін до 36 годин.

1.2 Попередження про НМЯ I, СМЯ II, СМЯ III та оперативна інформація

Для території України Українським гірометеорологічним центром (УкрГМЦ) у 2018 році були розроблені критерії для визначення ступеня небезпеки різних погодних явищ, які регламентуються нормативним документом «Настанова з метеорологічного прогнозування».

Метеорологічні явища I-III (МЯ) рівнів небезпечності – це небезпечні та стихійні явища погоди, які по досягненню визначених критеріїв (кількісні показники, тривалість, територія розповсюдження) можуть становити загрозу здоров'ю чи життю людей, та впливати на функціонування господарського комплексу країни.

Небезпечні метеорологічні явища I рівня небезпечності (НМЯ I) – це явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження створюють певні незручності для населення та функціонування господарського комплексу країни.

Стихійні метеорологічні явища II рівню (СМЯ II) – це явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження несуть загрозу для населення та порушують функціонування господарського комплексу країни.

Стихійні метеорологічні явища III рівню (СМЯ III) – це явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження створюють загрозу життю людей на значних територіях, призводять до масштабних пошкоджень об'єктів господарського комплексу країни, завдають шкоди довкіллю.

Попередження – це прогноз виникнення чи посилення одного чи кількох метеорологічних явищ I-III рівнів небезпечності.

З метою кращого сприйняття попереджень про загрозу виникнення метеорологічних явищ впроваджено кольорове позначення: НМЯ I-жовтий, СМЯ II-помаранчевий, СМЯ III-червоний. Для позначення відсутності метеорологічних явищ I-III рівнів небезпечності слід використовувати зелений колір.

Оперативна інформація – це повідомлення про ускладнення погодних умов у певний період часу, що значно впливатиме на життєдіяльність населення та функціонування господарського комплексу України.

До явищ I-III рівнів небезпечності (НМЯ I, СМЯ II, СМЯ III) належать метеорологічні явища, які за своєю інтенсивністю та тривалістю досягли критеріїв, указаних у таблиці 1.10.

У попередженнях по території про НМЯ I, СМЯ II та СМЯ III терміни «місцями», в «окремих районах», «подекуди» використовувати не можна.

Попередження про НМЯ I, СМЯ II та СМЯ III повинні вміщувати:

1) порядковий номер у такому вигляді: перша цифра – номер попередження про НМЯ I (нумерація в межах місяця), друга та третя цифри – про СМЯ II та СМЯ III (нумерація впродовж року); розмежовуються номери вертикальною похилою лінією.

Таблиця 1.10 – Критерії НМЯ I, СМЯ II та СМЯ III рівнів небезпечності

Назва явища	Критерії НМЯ I, кольорове позначення - жовтий		Критерії СМЯ II, кольорове позначення - помаранчевий		Критерії СМЯ III, кольорове позначення - червоний	
	кількісний показник	тривалість	кількісний показник	тривалість	кількісний показник	тривалість
1	2	3	4	5	6	7
Пилова буря	пилова буря перенесення пилу за швидкості вітру ≥ 12 м/с	≥ 3 год. але < 12 год	сильна пилова буря перенесення пилу за швидкості вітру ≥ 15 м/с	12-24 год	надзвичайна пилова буря перенесення пилу за швидкості вітру ≥ 20 м/с	> 24 год
Хуртовина	хуртовина випадіння снігу за швидкості вітру ≥ 12 м/с	≥ 3 год. але < 12 год	сильна хуртовина випадіння снігу за швидкості вітру ≥ 15 м/с	12-24 год	надзвичайна хуртовина випадіння снігу за швидкості вітру ≥ 20 м/с	> 24 год
Налипання мокрого снігу (діаметр)	налипання мокрого снігу 11-34 мм	будь-яка	сильне налипання мокрого снігу 35-49 мм	будь-яка	надзвичайне налипання мокрого снігу ≥ 50 мм	будь-яка
Складні відкладення ожеледі та паморозі (діаметр)	складні відкладення ожеледі та паморозі 11-34 мм	будь-яка	сильні складні відкладення ожеледі та паморозі 35-49 мм	будь-яка	надзвичайні складні відкладення ожеледі та паморозі ≥ 50 мм	будь-яка
Паморозь (діаметр)	паморозь ≥ 50 мм	будь-яка	-	-	-	-
Ожеледь (діаметр)	ожеледь 6-19 мм	будь-яка	сильна ожеледь 20-39 мм	будь-яка	надзвичайна ожеледь ≥ 40 мм	будь-яка
Ожеледиця	будь-яка	будь-яка	-	-	-	-
Заморозки	заморозки зниження температури на поверхні ґрунту до 0-5° морозу	будь-яка	сильні заморозки зниження температури повітря до 0-5° морозу	будь-яка	надзвичайні заморозки зниження температури повітря нижче 5° морозу	будь-яка
Спека					надзвичайна спека температура +40° і вище	будь-яка
Мороз					надзвичайний мороз температура -30° і нижче	будь-яка

Продовження таблиці 1.10

Назва явища	Критерії НМЯ І, кольорове позначення - жовтий		Критерії СМЯ ІІ, кольорове позначення - помаранчевий		Критерії СМЯ ІІІ, кольорове позначення - червоний	
	кількісний показник	тривалість	кількісний показник	тривалість	кількісний показник	тривалість
1	2	3	4	5	6	7
Сніг	значний сніг 7-19 мм	≤ 12 год	сильний сніг 20-29 мм	≤ 12 год	надзвичайний сніг ≥ 30 мм	≤ 12 год
Мокрий сніг	значний мокрий сніг 15-49 мм	≤ 12 год	сильний мокрий сніг 50-79 мм	≤ 12 год	надзвичайний мокрий сніг ≥ 80 мм	≤ 12 год
Дош	значний дош 15-49 мм	≤ 12 год	сильний дош 50-79 мм	≤ 12 год	надзвичайний дош ≥ 80 мм	≤ 12 год
Дош у <u>селе-небезпечних районах</u>	значний дош 15-29 мм	≤ 12 год	сильний дош 30-49 мм	≤ 12 год	надзвичайний дош ≥ 50 мм	≤ 12 год
Злива	-	-	сильна злива 30-49мм	< 1 год	надзвичайна злива > 50 мм	≤ 1 год
Тривалі дощі	-	-	сильні тривалі дощі 100-149 мм	> 12 год ≤ 48 год	надзвичайні тривалі дощі ≥ 150 мм	> 12 год ≤ 48 год
Туман (видимість)	туман ≤ 500 м	≥ 3 год	сильний туман < 100 м	≥ 12 год	-	-
Туман на високігірних станціях (видимість)	туман ≤ 500 м	≥ 3 год	-	-	-	-
Гроза	гроза	будь-яка	-	-	-	-
Град (діаметр)	град 6-19 мм	будь-яка	крупний град 20-39 мм	будь-яка	надзвичайний град ≥ 40 мм	будь-яка
Вітер (максимальна швидкість)	вітер 15-24 м/с	будь-яка	сильний вітер 25-34 м/с	будь-яка	надзвичайний вітер ≥ 35 м/с	будь-яка
Вітер на високігірних станціях (максимальна швидкість)	вітер 15-39 м/с	будь-яка	сильний вітер 40-45 м/с	будь-яка	надзвичайний вітер ≥ 46 м/с	будь-яка
Шквал (максимальна швидкість)	шквал 15-24 м/с	будь-яка	сильний шквал 25-34 м/с	будь-яка	надзвичайний шквал > 35 м/с	будь-яка
Смерч	-	-	-	-	смерч (швидкість вітру може сягати ≥ 50 м/с	будь-яка

2) дату, час, місце виникнення явища;

3) назву явища, його максимальну інтенсивність та тривалість;

4) рівень небезпечності, та його кольорове позначення – жовтий, помаранчевий, червоний (визначається за сильнішим прогнозованим явищем).

Якщо НМЯ I, СМЯ II, СМЯ III не були передбачені, то за фактом виникнення цих явищ передається попередження про збереження та подальший їх розвиток (при СМЯ II та СМЯ III з одночасним інформуванням про фактичні кількісні характеристики).

Оперативні інформації про ускладнення погодних умов складають в основному на 1-3 доби. Вони можуть містити прогноз всіх метеорологічних елементів і явищ погоди I-III рівнів небезпечності.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте загальні риси національних систем попередження про сувору погоду?
2. У чому відмінність європейської та американської систем попередження про небезпечні погодні явища?
3. Які небезпечні гідрометеорологічні явища прогнозують в Японії?
4. Які прогностичні продукти пропонує ESTOFEX?
5. Скільки рівнів безпеки пропонує використовувати Укр ГМЦ? Які?

Література до розділу 1

1. BMO, Post-Typhoon Haiyan (Yolanda) Expert Mission to the Philippines, Manila and Tacloban, 7–12 April 2014, Mission Report (Доклад миссии экспертов на Филиппины, Манила и Таклобан, 7-12 апреля 2014 г. после прохождения тайфуна «Хайян» («Йоланда»)) (2014 г.).

2. "National Weather Service glossary: PDS". *National Weather Service*. National Oceanic and Atmospheric Administration. June 25, 2009. Retrieved October 25, 2009.

3. JMA.URL:<https://www.jma.go.jp/jma/en/Activities/forecast.html>

4. (дата звернення: 30.11.2020)

5. Meteoalarm Eumetnet.URL: <https://www.meteoalarm.eu/> (дата звернення: 15.12.2020)

6. Stepanek A., Trapp R., and Baldwin M. An Evaluation of Predictions of Convective Environments using the Climate Forecast System Version 2 – Methods and Results .*European Conference on Severe Storms*. 2015 ISBN: ECSS2015-166.

7. Present state of risk monitoring and warning systems in Europe: RAIN Project. 2015.URL:<http://rain-project.eu/wp-content/uploads/2015/11/D2.3-Warning-Systems.pdf> (дата звернення: 20.01.2021).

8. Jewell, R. and Brimelow, J. Evaluation of Alberta Hail Growth Model Using Severe Hail Proximity Soundings from the United States. *Weather and Forecasting*. 2009. 24. Pp.1592-1609.
9. European Storm Forecast Experiment. URL: www.estofex.org (дата звернення: 15.02.2021).
10. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD./Dotzek, N., at al. *Atmospheric Research* . 2009.93(1).Pp. 575-586.
11. Настанова з метеорологічного прогнозування/ Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2019. 35 с.
12. URL:https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/настанова%20з%20метеорологічного%20прогнозування.pdf (дата звернення: 19.02.2021).

2 ПРОГНОЗИ ПОГОДИ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ТА ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА

2.1 Вплив несприятливих явищ погоди на сільське та лісове господарство

Зусіх галузей економіки сільськогосподарське виробництво, і в тому числі землеробство, несе найбільші збитки від несприятливих гідрометеорологічних умов. Вплив погоди на розвиток сільськогосподарських культур найбільш проявляється у вегетаційний період, проте врожай озимих культур залежить і від умов їх осіннього загартування та перезимівлі. Стійка осінь з поступовим переходом до від'ємних температур і снігового покриву створює сприятливий режим для перезимівлі озимини, а затяжна осінь з частими дощами і різким наступом зими приводить до того, що озимина входить «у зиму» без загартування. *Льодяна корка, надмірне зволоження та висихування ґрунту, часті дощі* сприяють ушкодженню і загибелі рослин.

В зимовий період озимина ушкоджується і гине на великих посівних площах внаслідок вимерзання, випрівання, утворення льодяної корки. Вимерзання відбувається у зв'язку з різким зниженням температури повітря до від'ємних значень за відсутності снігового покриву, що сприяє формуванню температури ґрунту на глибині вузла кущіння нижче критичної. Випрівання спостерігається тоді, коли на ґрунт, що не промерз, лягає сніговий покрив або ж утворюється льодяна корка. Якщо взимку після відлиги відразу встановлюється морозна погода, то на поверхні землі з'являється льодяна корка, на гладенькій поверхні якої сніг не затримується і здувається вітром у знижені місця.

В літній період до несприятливих для сільського господарства явищ погоди відносяться: *високі температури повітря, особливо у поєднанні з низькою відносною вологістю, сильні вітри, пилові бурі, зливи і град, заморозки, надмірна вологість, посухи*. При посухах врожайність культур може знизитись до 40% і більше, а також страждають тварини із-за пересихання пасовищ.

Сильні зливи із шквалистим вітром, градом спричиняють полягання культур, особливо зернових і зернобобових, що ускладнює їх збір, призводить до проростання зерна і неможливості обмолоту. *Тривалі і рясні дощі* призводять до застою води на знижених ділянках рельєфу, вимокання посівів і до їх вимивання, якщо посівні площі розміщені на пагористих місцях.

У період вегетації рослин згубний вплив чинять *заморозки*.

Прогнози погоди різної завчасності дозволяють сільськогосподарським органам більш раціонально вести сільське господарство і планувати роботи (посів, посадка, прополка, збір врожаю), окремі агротехнічні заходи

(внесення мінеральних добрив, обробка посівів від шкідників і бур'янів), а також транспортування врожаю з метою запобігання втрат і псування продукції. *Попередження про НЯ і СГЯ* дозволяють прийняти превентивні заходи по запобігання або зменшенню можливих збитків.

Агromетeоролoгічні прогнози і довгострокові прогнози врожайності сільськогосподарських культур допомагають краще планувати сільськогосподарське виробництво. Складаються агromетeоролoгічні бюлетені і спеціалізовані доповіді, куди включаються матеріали фенологічних спостережень за основними культурами, станом рослин в період вегетації і зимівлі, густиною, висотою, ступенем ушкодження посівів бур'янами, вологістю ґрунту, ушкодженнями культур, висиханням і прогріванням ґрунту тощо.

Гідрологічна інформація дозволяє при зрошувальному землеробстві планувати посівні площі і раціонально використовувати водяні ресурси, а при незрошувальному землеробстві оцінити можливу площу затоплення при розливах річок і встановити строки початку робіт на заплавних ділянках річок.

Використання багаторічних кліматичних і агromетeоролoгічних матеріалів сприяє обґрунтуванню таких задач, як вибір культур та їх розміщення по території, способи обробки і збору, вибір захисних мір, організація зберігання врожаю, напрямки розвитку тваринництва.

Для оптимального планування і ведення сільськогосподарських робіт необхідна наступна гідрометeоролoгічна інформація:

- прогнози погоди на добу, наступні дві доби, неділю, місяць;
- штормові попередження про НЯ та СГЯ (заморозки у повітрі і на поверхні ґрунту у вегетаційний період; посуха, коли тривалий час відносна вологість повітря вдень $\leq 30\%$, а запаси вологи в орному шарі ґрунту не перевищують 10 мм; часті дощі, сильні зливи, інтенсивні градобиття, шквали, льодяна корка);
- агromетeоролoгічні прогнози і спеціалізовані доповіді;
- агromетeоролoгічні бюлетені (у вегетаційний період – декадні, в зимовий – місячні);
- багаторічні кліматичні та агromетeоролoгічні матеріали (щорічники, довідники тощо).

Лісове господарство – це галузь економіки, яка здійснює вивчення відтворення і вирощування лісів, охорону їх від пожеж, шкідників та хвороб. Відомий тісний зв'язок біосфери, однією із складових якої є ліс, із всією кліматичною системою і погодними умовами. Зміна лісового покриву, в свою чергу, відображується на кліматі, оскільки ліс відповідальний за газовий обмін, а саме, за вуглеводний і кисневий цикли.

Сильні морози в зимовий період створюють загрозу вимерзання дерев і посадок в лісах, розсадниках і районах полезахисного лісорозведення, ускладнюють збереження посадочного матеріалу.

Заморозки губно позначаються на сходах і лісовому підрості до 2...3 років, можуть пошкодити дерева у період цвітіння та утворення насіння, значно ускладнивши роботи з відтворення лісу.

Рясні дощі, снігопади, хуртовини ускладнюють догляд за лісом, а іноді викликають припинення подібних робіт.

Серйозну небезпеку для незахищеного від вітру лісу (особливо по мірі росту і старіння дерев) представляють *сильні вітри і шквали*, які наносять ушкодження лісовому масиву, створюють буреломи.

Поширення комах і хвороб лісу знаходиться у тісному зв'язку з метеорологічними умовами. Наприклад, грибковим хворобам сприяє *холодна затяжна весна, холодна і сира погода у травні-квітні, тепле вологе літо, а зростання температури повітря, відсутність заморозків у квітні-травні* може призвести до більш інтенсивного розмноження комах – шкідників лісу.

Прогнози погоди необхідні для ефективного виконання сезонних робіт, початку посадки лісу, закладки розсадників тощо, що дозволить провести роботи в найкращі агротехнічні строки і здійснити плани відтворення лісу.

Суха і спекотна погода негативно впливає на ріст саджанців, тому перед посадкою важливо знати погодні умови на декілька днів вперед. Для успішного проведення авіаційно-хімічних робіт, хімічної обробки молодняку особливе значення має *прогноз опадів і вітру*, так як дощі і сильний вітер зводять нанівець хімічну обробку лісу (можуть навіть викликати авіапередумову). Одну з основних проблем для робітників лісового господарства, в основному, в теплий період становлять лісові пожежі, які спричиняють найбільший збиток лісам, знищуючи часом сотні гектарів лісових насаджень. *Висока температура повітря, низька вологість, відсутність опадів і сильний вітер* при наявності сухого лісу і трави можуть швидко поширювати пожежу. Лісові пожежі можуть виникати за рахунок *блискавки* або навіть від *сонячних променів*, які проходять через розкидані на землі уламки скла, ненароком кинутої непогашеної сигарети або сірника. В результаті пожеж знижуються захисні, водоохоронні та інші корисні властивості лісу, знищуються заготовлена деревина, фауна і лісові масиви, споруди, забруднюється атмосфера, порушується тепловий баланс.

Для оцінки імовірності виникнення пожежі в лісі за відповідних умов введено поняття «**горимість** лісу», яка нараховує п'ять класів. Так, пожежі при третьому класі **горимості** можуть виникати від блискавок, а четвертий і п'ятий класи при недостатній протипожежній пильності – призвести до тяжкого стихійного лиха.

Для оптимального режиму роботи підприємств лісового господарства необхідна наступна гідрометеорологічна інформація:

- прогнози погоди на добу, наступні дві доби;

- штормові попередження про НЯ та СМЯ (грози, вітер швидкістю $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і більше, шквали, сильні дощі, снігопади, пізні весняні і ранні осінні заморозки у повітрі від -3°C і нижче, сильні морози -25°C і нижче);
- спеціалізовані прогнози небезпеки лісових пожеж на добу і наступні дві доби;
- фактичні значення показника горимості

2.2 Прогноз пожежної небезпеки

Лісові пожежі є одним із найбільш потужних природних катастрофічних явищ. Забезпеченню своєчасної та ефективної підготовки людей і техніки до гасіння пожеж сприяє знання очікуваного ступеню пожежної небезпеки з різною завчасністю. Майже вік людство займається розробкою та уточненням критеріїв, які відображають імовірність виникнення пожеж. Проте створити показник, ідеально відповідний фактичній кількості пожеж, не вдається: по-перше, у зв'язку з різноманітністю умов, характерних для виникнення вогняної стихії, і сполучення різних факторів, включаючи антропогенний; по-друге, із-за нехватки та великої дискретності вихідних даних спостережень природних параметрів. У різних країнах світу розроблені власні індекси лісової пожежної небезпеки, наприклад:

- індекс лісової пожежної небезпеки (Австралія);
- рейтингова система лісової пожежної небезпеки (Канада);
- національна рейтингова система пожежної небезпеки (США);
- комплексний показник пожежної небезпеки В.Г. Нестерова (Росія)

Для прогнозування пожежної небезпеки Австралійське метеорологічне бюро використовує індекс лісової пожежної небезпеки Макартура (ІЛПН), який формалізує вплив відносної вологості, максимальної температури повітря, усереднене значення швидкості вітру протягом дня, а також показника вологості лісових горючих матеріалів (ЛГМ). За отриманим числовим значенням ІЛПН, з урахуванням індексу посухи Кітча-Барама визначається ступінь пожежної небезпеки (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Шкала відповідності значень індексу лісової пожежної небезпеки Австралії

ІЛПН	Ступінь пожежної небезпеки
Від 0 до 5,0	Низька
Від 5,1 до 12,0	Середня
Від 12,1 до 24,0	Висока
Від 24,1 до 50,0	Дуже висока
Більше 50,0	Надзвичайно висока

Для острова Тасманія максимальне значення ІЛПН встановлено в 24 бали. Метеорологічне бюро Австралії щодня публікує звіт про пожежну небезпеку по кожному штату і його населеним пунктам.

Національна рейтингова система пожежної небезпеки США є модель, яка об'єднує проміжні і основні групи вихідних параметрів. До проміжних відносять індекси вмісту вологи ЛГМ, що розраховуються для двох типів ЛГМ - для живих і відмерлих. Ці індекси є базою для подальших розрахунків. До основних параметрів відносять швидкість поширення вогню і кількість теплової енергії, що виділяється при пожежі. Основні вихідні параметри об'єднані в єдиний індекс горіння. Розрахунок вмісту вологи живих ЛГМ відбувається шляхом оцінки кількості вологи на кожному етапі життєвого циклу рослин в залежності від регіону і поточних метеоумов. Важливо, що такі розрахунки ведуться для однорічних, багаторічних рослин, а також молодих дерев і чагарників окремо.

Лісова служба США надає щоденний звіт про ступінь пожежної небезпеки.

Основою розрахунків рейтингової системи лісової пожежної небезпеки Канади служить розрахунок вмісту вологи ЛГМ, що залежить від метеорологічних умов. ЛГМ розрізняються за глибиною залягання і вазі на одиницю площі:

- ЛГМ1 - індекс вмісту вологи ЛГМ нижньої глибини залягання (до 18 см) і вагою на одиницю площі до 25 кг/м²;

- ЛГМ2 - індекс вмісту вологи ЛГМ середньої глибини залягання (до 7 см) і вагою на одиницю площі до 5 кг/м²;

- ЛГМ3 - індекс вмісту вологи ЛГМ верхньої глибини залягання (до 1,2 см) і вагою на одиницю площі до 0,025 кг/м².

Підсумковим Індексом пожежної небезпеки Канади (ІПН) є функція від вологості різних типів ЛГМ і виділення енергії. У табл. 2.2 представлена шкала відповідності значень Індексу пожежної небезпеки Канади.

Таблиця 2.2 - Шкала відповідності значень індексу пожежної небезпеки Канади

ІПН	Ступінь пожежної небезпеки
Від 0 до 5,0	Низька
Від 5,1 до 10,0	Середня
Від 10,1 до 20,0	Висока
Від 20,1 до 30,0	Дуже висока
Більше 30,0	Критична

Крім цього, існують індекси прогнозування загорання (ІПЗ) з причини антропогенного чинника і дії грозової активності. ІПЗ унаслідок

антропогенного чинника розраховують по кожному регіону Канади з урахуванням поправочного коефіцієнта на причину пожежі, що отримується з статистичних даних. ІПЗ унаслідок дії грозової активності також обчислюють по окремо взятому регіоні з урахуванням ступеня вологості ЛГМ і поправочного коефіцієнту на грозову активність, одержуваного з статистичних даних.

Комплексний показник пожежної небезпеки В.Г. Нестерова (КПН), запропонованого їм у 1949 році являє собою кумулятивну суму добутку температури повітря на різницю температур повітря і точки роси, яка обчислюється для окремого пункту і конкретного часу:

$$\Gamma = \sum_{1}^n T(T - T_d), \quad (2.1)$$

де T - температура повітря за 15 год місцевого часу або в найближчий до нього термін синхронних метеорологічних спостережень, °C;

T_d - точка роси за цей же термін, °C;

n - кількість днів без опадів або з добовою кількістю опадів менше 3 мм;

$(T - T_d)$ - дефіцит точки роси, °C.

Як впливає з приведеної формули, показник Γ є сумою значень добутку $T(T - T_d)$ - наростання показника, що розраховується за кожен день, починаючи з останнього дощового дня, коли випало опадів 3 мм і більше. В день з опадами 3 мм і більше показник Γ , одержаний за попередні дні, відкидається, а його значення обчислюються за T і T_d поточного дня.

На практиці наростання показника Γ визначається за попередньо складеною табл. 2.3, в якій по горизонталі відкладені значення температури повітря (T), а по вертикалі - дефіциту точки роси ($T - T_d$). Добове наростання пожежної небезпеки визначається на перетині відповідних рядків і граф.

Для забезпечення органів лісового господарства оперативною інформацією про показник пожежної небезпеки поточного дня (до 15 год), а також для складання прогнозів пожежної небезпеки на найближчі три доби розрахунок добового наростання показника $T(T - T_d)$ проводиться додатково за даними спостережень о 12 год місцевого часу або в найближчий до нього термін.

Отримана величина додається до значення показника Γ , обчисленого за спостереженнями о 15 год або в найближчий до нього термін попередніх діб. Всі початкові дані для розрахунку і його результати записуються в журналі по приведеній формі.

За отриманим числовим значенням КПН за допомогою шкали визначається клас і ступінь пожежної небезпеки (табл. 2.4).

Таблиця 2.3 - Визначення добового наростання показника пожежної небезпеки (Γ) в лісі
за температурою повітря і точкою роси

T-Td, °C	T, °C															
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
2	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66
3	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99
4	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132
5	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
6	108	114	120	126	132	128	144	150	156	162	168	174	180	186	192	198
7	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189	196	203	210	217	224	231
8	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240	248	256	264
9	162	171	180	189	198	207	216	225	234	243	252	261	270	279	288	297
10	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330
11	198	209	220	231	242	253	264	275	286	297	308	319	330	341	352	363
12	216	228	240	252	264	276	288	300	312	324	336	348	360	372	384	396
13	234	247	260	273	286	299	312	325	338	351	364	377	390	403	416	429
14	252	266	280	294	308	322	336	350	364	378	392	406	420	434	448	462
15	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	435	450	465	480	495
16	288	304	320	336	352	368	374	400	416	432	448	454	480	496	514	530
17	306	323	340	357	374	391	408	425	442	459	476	493	510	527	544	561
18	324	342	360	378	396	414	432	450	468	486	504	522	540	558	576	594
19	342	361	380	399	418	437	456	475	494	513	532	551	570	589	608	627
20	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660
21	378	399	420	441	462	483	504	525	546	567	588	609	630	651	672	693
22	396	418	440	462	484	506	528	550	572	594	616	638	660	682	704	726
23	414	437	460	483	506	529	552	575	598	621	644	667	690	713	736	759
24	432	456	480	504	528	552	576	600	624	648	672	696	720	744	768	792
25	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825
26	468	494	520	546	572	598	624	650	676	702	728	754	780	806	832	852
27	486	513	540	567	594	621	648	675	702	729	756	788	810	837	864	891
28	504	532	560	588	616	644	672	700	728	756	784	812	840	868	896	924
29	522	551	580	609	638	667	696	725	754	782	812	841	870	899	929	957
30	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900	930	960	990
31	558	589	620	651	682	713	744	775	806	837	868	899	930	961	992	1023

Таблиця 2.4 - Шкала пожежної небезпеки за умовами погоди
(за В. Г. Нестеровим)

КПН	Клас пожежної небезпеки за умовами погоди	Ступінь пожежної небезпеки
До 300	I	-
Від 301 до 1000	II	Низька
Від 1001 до 4000	III	Середня
Від 4001 до 10000	IV	Висока
Більше 10000	V	Надзвичайна

У табл. 2.5 проведено порівняння (з аналізу вхідних параметрів) представлених індексів пожежної небезпеки. З таблиці видно, що в індексі В.Г. Нестерова враховується найменше число факторів - тільки метеопараметри, і не враховується вологість ЛГМ. ІЛПН Австралії - єдиний індекс, що оцінює вологовміст у ґрунті. Найбільш багатофакторним є індекси пожежонебезпеки США і Канади, що враховують не тільки інформацію про погоду і вологість ЛГМ, а також кількість тепла, що виділяється при горінні, антропогенне навантаження і грозову активність.

В Україні з 40-і років минулого століття кількісним відображенням пожежної небезпеки (КПН) був комплексний показник пожежної небезпеки за метеорологічними умовами, розроблений В.Г. Нестеровим, який враховує сумісний вплив температури повітря та дефіциту вологи на висихання лісо-горючих матеріалів протягом бездошового періоду і характеризує ступінь посушливості погоди. Проте, такий підхід до оцінки горимості лісу за умовами погоди має суттєві недоліки. Зокрема, він не враховує кліматичні особливості території, швидкість вітру і має досить грубу поправку на кількість опадів, що приводить до похибок при оцінці початку та закінчення пожежонебезпечного періоду та, відповідно, класу і ступеню пожежної небезпеки. Встановлені в 60-і роки минулого століття класи та ступінь пожежонебезпечності для території України було змінено у 2007 році.

Внаслідок таких змін поріг V класу пожежної небезпеки (надзвичайна пожежна небезпека), який належить до стихійних гідрометеорологічних явищ погоди, було зменшено вдвічі – з 10000 °С до 5000 °С. Такі зміни привели до того, що в багатьох регіонах України, особливо на півдні та сході, уже з квітня місяця ідентифікується надзвичайна пожежна небезпека, яка зберігається практично протягом усього теплого періоду і не відображає реального стану природної пожежної небезпеки. Ці тенденції посилюються протягом останніх років, коли в Україні

Таблиця 2.5 -Індекси природної пожежної небезпеки [за І.М. Губенко, К.Г. Рубинштейн]

Параметри що враховуються		Комплексний показник пожежної небезпеки В.Г.Нестерова (РФ, Україна, Білорусь, Молдова, Португалія та ін.)	Індекс лісової пожежної небезпеки (Австралія)	Національна рейтингова система пожежної небезпеки (США)	Рейтингова система лісової пожежної небезпеки (Канада)
Метеорологічні	температура повітря	о 12-15 год. м.ч.	макс за 24 год	0 12 год м.ч., макс та мін за 24 год	макс та мін за 24 год
	відносна вологість	температура точки роси	мін за 24 год	0 12 год м.ч., макс та мін за 24 год	макс та мін за 24 год
	кількість опадів	не враховується, якщо сума за 24 год ≥ 3 мм	сума за 24 год	сума за 24 год	не враховується, якщо сума за 24 год $\leq 1,5$ мм
	кількість днів без опадів після останнього дощу	—	+	—	—
	швидкість вітру	—	середня за 24 год	середня за 24 год	максимальна за 24 год
Вологовміст лісової підстилки та ґрунту	вологовміст ґрунту	—	показник Кітча-Бірама для поточного дня	—	—
	вологовміст ЛГМ	—	показник Кітча-Бірама для поточного дня, опади за 24 год, кількість днів без опадів після останнього дощу	для живих і відмерлих ЛГМ	для ЛГМ різних по глибині залягання та вазі на одиницю площі
Характеристики полум'я	кількість тепла що виділяється при горінні на одиницю площі	—	—	+	+
Антропогенний фактор	індекс антропогенного фактору	—	—	+	+
Гроза активність	індекс грозової активності	—	—	+	+

відмічається суттєве зростання природної пожежної небезпеки, тривалості періоду з високою і надзвичайною пожежною небезпекою, зумовлене підвищенням максимальної температури повітря у теплий період, збільшенням тривалості бездощового та спекотного періодів.

Для комплексної оцінки пожежонебезпечності сезонів та територій запропоновано використовувати Інтегрований показник напруженості природної пожежної небезпеки (ІПНП) за метеорологічними умовами, розрахований на основі функції бажаності Харрінгтона, який об'єднує дванадцять кліматичних параметрів, що є значимими для виникнення лісових пожеж за умовами погоди в Україні. Чим більше значення ІПНП, тим сприятливішим є комплекс кліматичних показників для виникнення лісових пожеж.

За величиною ІПНП встановлено просторовий розподіл напруженості пожежної небезпеки за метеорологічними умовами та проведено районування території країни. За ступенем напруженості природної пожежної небезпеки в Україні можна виділити три зони: незначна, помірна та велика пожежна напруженість (рис. 2.1).

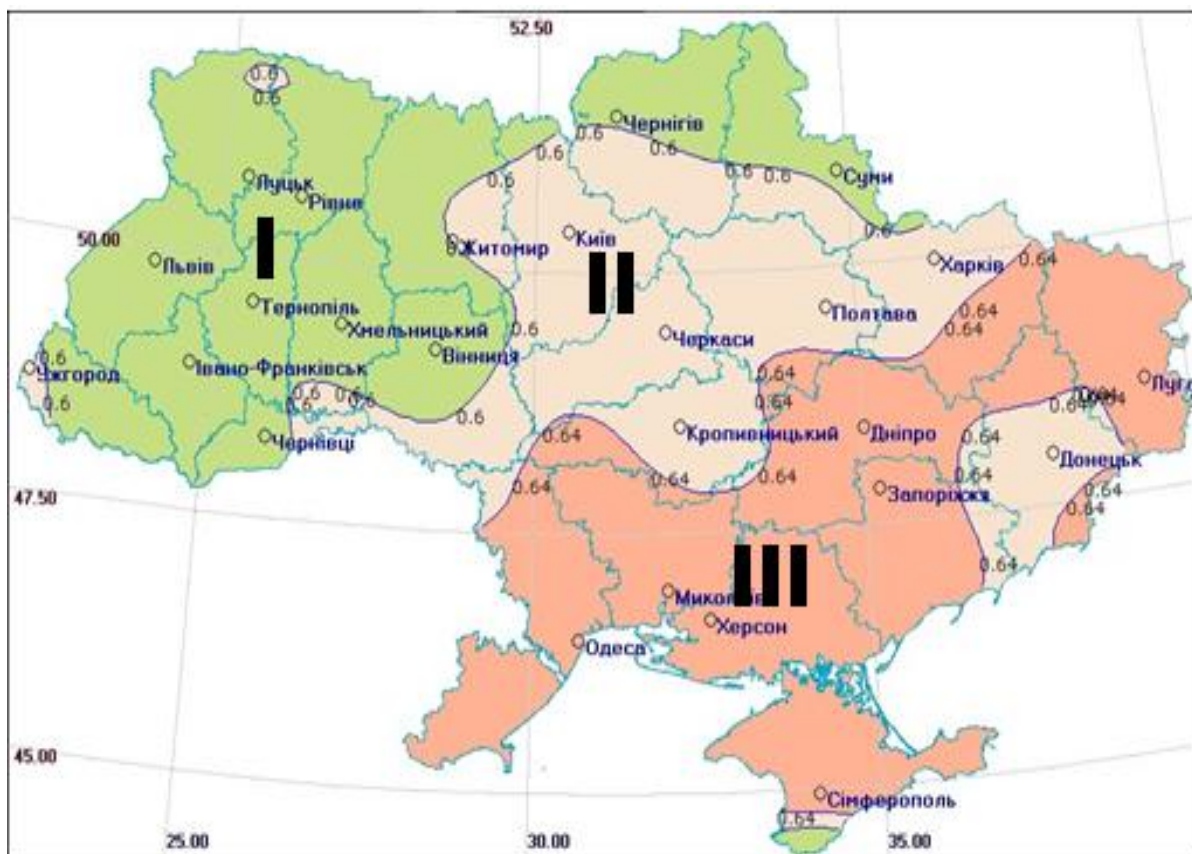


Рисунок 2.1 – Районування території України за ступенем напруженості природної пожежної небезпеки за умовами погоди: I – незначна пожежна напруженість, II – помірна пожежна напруженість, III – висока пожежна напруженість

Для виявлених зон з різною напруженістю природної пожежної небезпеки проведено аналіз пірологічних кліматичних показників і характеристик лісових пожеж та розроблено регіональні шкали для КПН Нестерова та португальського індексу (PORTU), що найкраще описує реальні умови формування природної пожежної небезпеки у південних і центральних регіонах влітку (табл. 2.6).

Португальський індекс, який є модифікованим показником В.Г. Нестерова, базується на оцінці атмосферних умов у безпосередній близькості від шару ЛГМ. Початком пожежонебезпечного періоду є період, протягом якого випадає за добу менше 2,5 мм опадів, а його закінчення – коли за добу випадає 10 мм і більше опадів. Протягом пожежонебезпечного періоду величина КПН коригується залежно від кількості опадів, що випали за добу. Для цього вводиться коригуючий ваговий коефіцієнт, який є функцією опадів.

Таблиця 2.6 – Регіональні шкали оцінки пожежної небезпеки за умовами погоди для регіонів з різною напруженістю природної пожежної небезпеки

Клас пожежної небезпеки	Незначна пожежна напруженість		Помірна пожежна напруженість		Велика пожежна напруженість	
	КПН	PORTU	КПН	PORTU	КПН	PORTU
I клас – відсутня пожежна небезпека	<100	<100	<250	<500	<300	<400
II клас – мала пожежна небезпека	101-400	101-600	251-700	501-1000	301-700	401-1000
III клас – середня пожежна небезпека	401-1000	601-1100	701-1900	1001-2300	701-1900	1001-2000
IV клас – висока пожежна небезпека	1001-2000	1101-2100	1901-3400	2301-3600	1901-4500	2001-4400
V клас – надзвичайна пожежна небезпека	>2000	>2100	>3400	>3600	>4500	>4400

Пожежонебезпечний сезон настає з моменту сходу снігового покриву в лісі і триває до настання стійкої дощової осінньої погоди або утворення снігового покриву. Аналіз декадних, пентадних та щоденних даних про кількість пожеж в регіоні за період з 2001 по 2018 роки дозволив встановити середні багаторічні дати початку і закінчення пожежонебезпечних періодів, що мають чітко виражені піки горимості лісів. Дати їхнього початку і закінчення представлено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Пожежонебезпечні періоди в регіонах України, зумовлені піками горимості лісів

Регіон	Період		
	весняний, з 1.04 до 31.05	літній, з 1.06 до 10.08	літньо-осінній, з 11.08 до 31.10
незначна напруженість природної пожежної небезпеки	весняний, з 1.04 до 31.05	літньо-осінній, з 11.08 до 31.10	
помірна напруженість природної пожежної небезпеки	весняний, з 1.04 до 10.05	весняно-літньо-осінній, з 11.05 по 31.10	
висока напруженість природної пожежної небезпеки	весняно-літній, з 1.04 до 31.06	літньо-осінній, з 1.07 до 10.09	осінній, з 11.09 до 31.10

Інформація про пожежну небезпеку передається лише протягом вказаного періоду за кодом:

Ліс ІІІІ QQQQ,

де Ліс - відмітне слово на початку зведення; ІІІІ - індекс станції;

QQQQ - величина показника пожежної небезпеки в цілих градусах.

Розроблені впродовж 2015-2019 рр. методики та автоматизовані системи моніторингу і прогнозування природної пожежної небезпеки за умов погоди дозволяють врахувати сезонні особливості її формування та пірологокліматичні особливості території. З 1 квітня 2021 року в Українському Гідрометцентрі впроваджується «Комплексна методика оцінки та прогнозування природної пожежної небезпеки за умовами погоди» (Версія 3.1), яка враховує водно-фізичні властивості ґрунтів, диференційовану кількість опадів та швидкість вітру, активність антропогенного чинника протягом тижня при оцінці лісопожежної посухи та ідентифікації пожежонебезпечного періоду. Такий комплексний підхід дозволяє суттєво покращити оцінку та моніторинг природної пожежної небезпеки в лісах України. Розроблені технології дозволяють не лише проводити моніторинг пожежної небезпеки за умов погоди, а й прогнозувати її на 72 год та 120 год.

Прогнозування природної пожежної небезпеки на 120 год здійснюється за прогностичними даними метеорологічних показників, отриманими з чисельних моделей погоди. Обчислення проводяться за тим же алгоритмом, що й оцінка природної пожежної небезпеки за поточний день з тією різницею, що вхідними даними для обчислення будуть прогностичні значення температури повітря (t), температури точки роси (t_d), швидкості вітру (V) та кількості опадів (R) на відповідний термін (24, 48, 72, 96 та 120 год). Оскільки ці дані отримані у вузлах регулярної сітки,

необхідно їхні значення проінтерполювати у точки з координатами пунктів спостережень. Отримані значеннями комплексного показника пожежної небезпеки та класу пожежної небезпеки нанести на карту. За наявності даних про водно-фізичні властивості ґрунтів у вузлах сітки, можна обчислити межу пожежонебезпечного періоду R_m для кожного вузла з врахуванням ґрунтів, які там переважають. Прогностичні значення $KПНУ_{i+1,n}$ обчислюються для наступних k днів на які дається прогноз, але не більше 5 діб, аналогічно як і для поточного дня.

Вхідні дані та алгоритм розрахунків

Вхідними параметрами для обчислення уточненого комплексного показника пожежної небезпеки (КПНУ) є метеорологічні показники: температура повітря, точка роси, кількість опадів за добу та максимальна швидкість вітру, гранична межа пожежонебезпечного періоду, коригуючі коефіцієнти на активність антропогенного чинника

Для оцінки фактичного значення КПНУ необхідні наступні дані:

1. Значення температури та точки роси на станції в строк вимірювання 12 UTC.
2. Сума опадів, що випала на станції за період з 12 UTC попередньої доби до 12 UTC поточної доби включно.
3. Максимальна швидкість вітру з 12 UTC попередньої доби до 12 UTC поточної доби включно.
4. Розрахункові значення коригуючих коефіцієнтів на кількість опадів та швидкість вітру
5. Коригуючі коефіцієнти на активність антропогенного чинника для кожного дня тижня, однакові для усіх пунктів спостережень
6. Гранична межа пожежонебезпечного періоду для кожного пункту (R_m)
7. Розраховане значення фактичного показника пожежної небезпеки за поточну добу.
8. Гранична межа пожежонебезпечного періоду для кожного пункту (R_m).

Для прогнозування значення КПНУ на наступну добу необхідні:

1. Значення фактичного показника пожежної небезпеки за попередню добу.
2. Прогнозовані значення температури та точки роси на станції в строк вимірювання 12 UTC.
3. Сума опадів, що випала на станції за період з 12 UTC попередньої доби до 06 UTC поточної доби включно (для прогнозу пожежної небезпеки на поточну добу).
4. Прогнозована сума опадів станом на строк 12 UTC.
5. Прогнозована максимальна швидкість вітру на строк 12 UTC
6. Розрахункові значення коригуючих коефіцієнтів на кількість опадів та швидкість вітру

7. Корируючі коефіцієнти на активність антропогенного чинника для кожного дня тижня, однаковий для усіх пунктів спостережень

8. Гранична межа пожежонебезпечного періоду для кожного пункту (Rm)

9. Розраховане значення прогностичного показника пожежної небезпеки за поточну добу прогнозу.

За замовчуванням результуюча прогностична інформація комбінується наступним чином:

1. Температура повітря та точка роси - з моделі Голландія.

2. Опади - з моделі WRF ARW-3.0.

У разі відсутності доступу до однієї з прогностичних моделей недоступні дані необхідно замінити відповідними параметрами з іншої моделі.

Для прогнозування значення КПН на 2-у та 3-ю, 4-у та 5-у добу:

1. Значення прогностичного показника пожежної небезпеки за попередню добу.

2. Прогнозовані значення температури та точки роси на станції в строк вимірювання 12 UTC на наступну добу.

3. Прогнозована сума опадів станом на строк 12 UTC на наступну добу.

4. Прогнозована максимальна швидкість вітру на строк 12 UTC

5. Розрахункові значення коригуючих коефіцієнтів на кількість опадів та швидкість вітру

6. Корируючі коефіцієнти на активність антропогенного чинника для кожного дня тижня, однаковий для усіх пунктів спостережень

7. Гранична межа пожежонебезпечного періоду для кожного пункту (Rm)

За цими даними обчислюються значення прогностичного показника пожежної небезпеки $KПНУ$ за поточну добу прогнозу за алгоритмом, що й для оцінки пожежної небезпеки. Відповідно визначається і прогностичне значення величини $KПНУ_{т}$. За обчисленими прогностичними значеннями $KПНУ$ та $KПНУ_{т}$ визначається клас і ступінь пожежної небезпеки за двох- або трьохперіодними шкалами, залежно від регіону для якого здійснюється прогнозування.

Контрольні запитання

1. Як виконується розрахунок показника пожежної небезпеки (КПНУ) ?
2. Що входить у телеграму про пожежну небезпеку ?
3. Чим відрізняється індекс пожежної небезпеки В. Г. Нестерова від показника пожежної небезпеки (КПНУ) ?
4. Індеси пожежної небезпеки яких Національних служб прогнозу погоди найбільш інформативні та чому?

Завдання

1. Розрахувати показчик пожежної небезпеки за Нестеровим В. Г. на 12 год поточного дня і на наступні 3 доби по Одеській області.
2. Скласти зведення пожежної небезпеки по Одеській області.
3. Скласти прогноз пожежної небезпеки по Одеській області.
4. Порівняти розраховані показники КПН з картами прогнозу КПНУ за даний строк (рис. 2.3-2.4).

Вихідні матеріали

1. Вихідні дані для розрахунку показчика пожежної небезпеки на поточну і наступні три доби (табл. 2.9).
2. Табл. 2.3 для визначення добового наростання показчика пожежної небезпеки на 12 год поточного дня.
3. Графік залежності наростання показчика пожежної небезпеки від денної температури повітря (рис. 2.2).
4. Форма для запису результатів розрахунку показчика пожежної небезпеки (табл. 2.8).
5. Прогнози погоди по Одеській області.
6. Карти прогнозу КПНУ (рис.2.3-2.4).

Методичні вказівки

Оскільки значення дефіциту точки роси, необхідне для розрахунку добового наростання показчика пожежної небезпеки, не прогнозується, то добуток $T(T-T_d)$ для кожної станції визначається за графіком (рис.2.2). На вісі абсцис указанного графіка відкладаються величини добового наростання пожежної небезпеки $T(T-T_d)$, а по вісі ординат – температура повітря T .

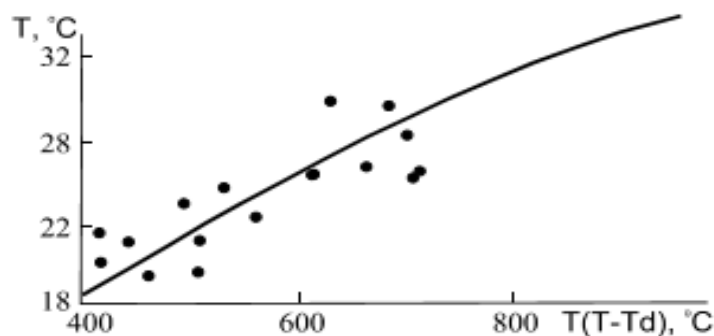


Рисунок 2.2 – Графік залежності добового наростання пожежної небезпеки від температури повітря

При складанні прогнозів пожежної небезпеки необхідно ретельно враховувати очікуваний розподіл опадів по території, їх тривалість та інтенсивність. Термінам, що характеризують інтенсивність опадів, відповідають наступні приблизні зміни показника пожежної небезпеки: без опадів – наростання на протязі всього періоду; незначні дощі – наростання на протязі всього періоду там, де опадів випадає менше 3 мм. В районах (на станціях), де опадів випадає 3 мм і більше – показник знижується до значення, що визначається за графіком (рис. 2.2) по прогностичній максимальній температурі; дощі, сильні дощі – весь період вважається дощовим; показник пожежної небезпеки залишається рівним добовому наростанню, що відповідає очікуваній максимальній температурі.

Приклади прогнозів пожежної небезпеки на три доби.

Прогноз погоди на три доби: «Без опадів, температура повітря вдень 21...23 °C».

По значенню середньої прогностичної температури ($\frac{21+23}{2} = 22^{\circ}\text{C}$) за допомогою графіка (рис. 2.2) визначаємо значення добового наростання пожежної небезпеки, наприклад, 520 °C. За фактичними T і T_d за вихідний до прогнозу день по табл. 2.1 знаходимо значення показника пожежної небезпеки, наприклад, 120 °C. Тоді прогностичні значення показника пожежної небезпеки будуть дорівнювати:

- в 1-й день прогнозу: $120 + 520 = 640^{\circ}\text{C}$;
- в 2-й день прогнозу: $640 + 520 = 1160^{\circ}\text{C}$;
- в 3-й день прогнозу: $1160 + 520 = 1680^{\circ}\text{C}$.

В даному випадку прогноз показника пожежної небезпеки формулюється наступним чином: «На протязі трьох діб очікується пожежна небезпека II і III класів».

Якщо на вихідний день накопичений визначений показник пожежної небезпеки (наприклад, 3000 °C), то його необхідно враховувати при розрахунку прогностичних значень. Таким чином, отримаємо:

- в 1-й день прогнозу: $3000 + 520 = 3520^{\circ}\text{C}$;
- в 2-й день прогнозу: $3520 + 520 = 4040^{\circ}\text{C}$;
- в 3-й день прогнозу: $4040 + 520 = 4560^{\circ}\text{C}$.

В даному випадку складається наступний прогноз: «На протязі трьох діб очікується збільшення пожежної небезпеки до IV класу».

Звітні матеріали

1. Заповнена табл. 2.8.
2. Зведення про пожежну небезпеку по Одеській області.
3. Прогноз пожежної небезпеки на три доби та порівняльний аналіз отриманих даних з значеннями КПНУ за вказані строки.



Рисунок 2.3 – Прогноз пожежної небезпеки на 26.05.2021 р. за даними КІНУ



Рисунок 2.4 – Прогноз пожежної небезпеки на 27.05.2021 р. за даними КІНУ

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків показника пожежної небезпеки (Γ) на поточну добу і наступні три доби по Одеській області

№ п/п	Пункти		15 год минулої доби	12 год місцевого часу поточної доби				1 день прогнозу				2 день прогнозу				3 день прогнозу			
	Індекс	Назва	$\Gamma_{15}, ^\circ\text{C}$	$D, ^\circ\text{C}$	$T(T-T_d), ^\circ\text{C}$	Опади, мм	$\Gamma_{12}, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T(T-T_d), ^\circ\text{C}$	Опади, мм	$\Gamma, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T(T-T_d), ^\circ\text{C}$	Опади, мм	$\Gamma, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T(T-T_d), ^\circ\text{C}$	Опади, мм	$\Gamma, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																			

Таблиця 2.9 – Вихідні дані для розрахунку показника пожежної небезпеки (Γ) на 12 г поточної доби по Одеській області

п/п	Пункти		25.05	25.05			26.05	26.05			27.05	27.05		
	Індекс	Назва	$\Gamma_{15}, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T_d, ^\circ\text{C}$	Опади, мм	$\Gamma_{15}, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T_d, ^\circ\text{C}$	Опади, мм	$\Gamma_{15}, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T_d, ^\circ\text{C}$	Опади, мм
	33759	Затишся	339	18,5	10,3	8,0	0,0	18,0	13,5	0,0	549	18,6	12,1	0,0
	33761	Любашівка	180	18,6	6,1	23,0	0,0	18,4	12,8	0,0	180	19,7	13,2	0,0
	33834	Роздільна	471	19,9	13,2	4,0	0,0	18,8	13,7	0,0	653	22,1	12,4	0,0
	33837	Одеса	224	18,3	11,3	2,0	280	18,0	14,4	0,0	309	20,5	10,6	0,0
	33887	Болград	529	20,4	8,7	0,3	625	22,5	11,6	0,0	743	18,0	14,6	0,5
	33889	Ізмаїл	406	21,0	8,5	0,7	648	22,2	11,9	0,0	878	18,1	14,9	0,0
	33896	Сарата	389	20,6	10,4	0,6	503	21,8	14,2	0,0	691	23,2	13,5	0,0
	33898	Вилкове	311	20,4	9,5	0,3	425	21,4	14,8	0,0	617	23,3	14,3	0,0

2.3 Прогноз метеорологічних умов забруднення атмосфери

Основні споживачі прогнозу забруднення. В процесі забруднення атмосфери поряд з різними природними явищами (виверження вулканів, лісові та степові пожежі, вивітрювання, водна та вітрова ерозія тощо) все більшу роль відіграє діяльність людини, яка пов'язана з освоєнням природних багатств, розвитком і вдосконаленням промисловості, сільського господарства, енергетики і транспорту. Зокрема, у зв'язку з недосконалістю технологій, що використовуються, недостатністю знань і відповідальності, відсутністю відповідного прогнозного опрацювання, а також з інших причин в атмосферу потрапляють деякі шкідливі побічні продукти. Забруднення атмосфери наносить величезний, і часом непоправний, збиток як довкіллю, так і людині, а іноді призводить до небажаних явищ. Шкідливі речовини з різними токсичними властивостями становлять реальну загрозу для здоров'я людини. Їх несприятлива дія може проявлятися у вигляді гострих або хронічних отруєнь і різного роду захворювань (алергії, злоякісні пухлини, анемії, лейкоз, лейкемія тощо). Крім того, речовини з генетичною активністю можуть спричинити уродження каліцтва і дефекти розвитку.

Високі концентрації шкідливих домішок в атмосфері за певних метеорологічних умов можуть зберігатися порівняно тривалий час над великою територією. Негативного впливу може додати специфіка рельєфу місцевості, на якій розташовані індустриальні центри. Забруднення атмосфери знижує продуктивність і плідність свійських та диких тварин і птахів. Воно викликає їх захворювання і навіть загибель як внаслідок безпосереднього токсичного впливу через органи дихання або шкіру, так і при проникненні з їжею та водою.

Шкідливі домішки, випадаючи на ґрунт і у водоймища, сприяють захворюванню і знищенню рослинності на значних територіях. Наявність в атмосфері активних хімічних домішок наносить величезний збиток різним будівельним матеріалам і промисловій продукції, веде до передчасного старіння і руйнування будівель, промислових споруд та історичних пам'ятників.

Задача збереження довкілля і раціонального використання природних ресурсів частково може бути вирішена в роботах з метеорологічних аспектів забруднення повітря, що пов'язані з прогнозом тих умов, за яких виникають високі концентрації домішок у приземному шару атмосфери. Практичний інтерес представляють як короткострокові, так і довгострокові прогнози. Серед завдань, пов'язаних з метеорологічними аспектами забруднення атмосфери, великого значення набувають дослідження закономірностей розповсюдження шкідливих домішок та їх просторово-часового розподілу. Вони є основою для

об'єктивної оцінки стану і тенденції забруднення повітряного басейну, а також розробки можливих заходів щодо забезпечення чистоти атмосфери.

Створення системи спостережень за забрудненням повітря, аналіз отриманих результатів, вирішення питань про нормування викидів, встановлення гранично допустимих викидів, перенесення джерел шкідливих викидів в інші райони безпосередньо зникаються з метеорологічними завданнями, що дозволяють враховувати рівень домішок в атмосфері. Різке підвищення концентрацій шкідливих домішок в приземному шарі повітря може бути обумовлене несприятливими для розсіювання домішок погодними умовами. Отже, завдання полягає в прогнозі забруднення повітря залежно від метеорологічних чинників. При цьому можуть бути враховані очікувані викиди в атмосферу і особливості їх режиму, що пов'язані, наприклад, із збільшенням кількості використання палива взимку, збільшенням кількості автомобілів наприкінці робочого дня тощо.

Методи прогнозу забруднення повітря використовуються в оперативній практиці багатьох країн, причому для цього притягуються дані автоматизованої системи вимірювання забруднення повітря та чисельні моделі прогнозу (ЧМП) забруднення повітря (табл. 2.10)

Таблиця 2.10 – Прогностичні моделі якості повітря які, застосовуються у Європейському регіоні

Регіональна ЧМП	Якість повітря та / або модель траскторії
Джерела даних (початкові та граничні умови)	
ECMWF (ecmwf.int), GFS (nomads.ncdc.noaa.gov/data.php)	ECMWF MACC – Monitoring Atmospheric Composition and Climate, gmes-atmosphere.eu , Geos-Chem model (acmg.seas.harvard.edu/geos/)
Моделльні джерела	
ALADIN(cnrm-game-meteo.fr/aladin/)	EMEP (emep.int/mscw/index_mscw.html)
WRF (wrf-model.org/index.php)	IIASA-GAIN (Amann, 2012)
AROME(umr-cnrm.fr/spip.php?article120&lang=en)	ECMW MACCIII (ecmwf.int/en/research/projects/macc-iii)
	CMAQ (cmasceneter.org/cmaq/)
	WRF-CHEM (www2.acom.ucar.edu/wrf-chem)
	FlexPart (flexpart.eu)
	Hysplit (ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php)
	CAMx (camx.com/)

Узагальнені характеристики забруднення повітря

Узагальнені характеристики вмісту домішок в цілому для міста, які складені за інформацією багатьох спостережень в різних пунктах за декілька строків, істотно менш залежні від випадкових коливань, ніж окремі дані про концентрацію. Вони відображують внесок переважаючих джерел до забруднення, а також фонові концентрації у місті, що склалася внаслідок зміщення багатьох викидів. Узагальнені характеристики вмісту домішок значно менше залежать від режиму викидів. Використання осереднення для отримання інтегральних характеристик еквівалентне фільтрації випадкових процесів, що застосовується в статистичних моделях прогнозу. Як правило, з цілого ряду відомих інтегральних показників використовують найпростіший – середнє для всього міста значення, концентрації окремих домішок для даного дня або строку - q_j , що нормують на середньо-сезонну концентрацію $\bar{q}_j$:

$$\tilde{q} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{q_j}{\bar{q}_j}, \quad (2.1)$$

де j – пункт спостережень, N – число пунктів у місті. В якості інтегрального показника забруднення використовується параметр забруднення P :

$$P = \frac{m}{n}, \quad (2.2.)$$

де n – число спостережень у місті за даний день; m – кількість випадків за цей день на всіх пунктах міста з концентрацією $q > 1,5 \bar{q}$; $\bar{q}$ – середня концентрація за поточний сезон.

Параметр P розглядається для окремих домішок та для їхніх груп, і використовується, якщо пунктів спостережень не менше ніж 3 і число спостережень за окремий день – не менше 20. Цей параметр дозволяє не враховувати характеристик викиду у місті та зв'язати рівень забруднення повітря лише з метеорологічними факторами. Величина P є предиктантом, що на підставі статистичної обробки пов'язується з іншими предикторами: швидкістю вітру, показниками стійкості атмосфери та іншими.

Параметр P змінюється з 0 до 1. За його значенням розрізняють три групи забруднення повітря:

- повільне забруднення при $P < 0,20$;
- відносно повільне забруднення при $0,20 \leq P \leq 0,35$;
- високе забруднення при $P > 0,35$.

Підвищене забруднення у місті в цілому, звичайно, спостерігається протягом декількох діб підряд, тому параметр P у даний день залежить від його значення за попередній – P' .

До зростання забруднення призводить:

- підсилення стійкості нижнього шару атмосфери при слабкому вітрі (за рахунок внеску низьких викидів);

- нестійка стратифікація атмосфери (у холодне півріччя при с-відсутності приземної інверсії) і посилення вітру до $3...6 \text{ м с}^{-1}$ (за рахунок внеску високих викидів);

- швидкість вітру менш ніж 5 м с^{-1} та зростання температури повітря в холодне півріччя;

- формування туманів.

До зменшення забруднення та до очищення повітря призводять:

- опади;

- посилення вітру при стійкій стратифікації (вентиляційний ефект).

Врахування цих якісних правил дозволяє орієнтовно визначити імовірні групи забруднення повітря, що відповідають вказаним значенням P . Для аналізу умов забруднення атмосфери застосовують синоптичні методи, що враховують комплекс метеорологічних умов та синоптичних ситуацій, які визначають розповсюдження та накопичення домішок. Забруднення повітря підсилюється у стаціонарних антициклонах, у довго існуючих малоградієнтних баричних полях, на вісі малорухомого гребеню, в теплих секторах циклонів, якщо баричні градієнти при цьому незначні. У баричних об'єктах, що швидко пересуваються, значного зростання концентрації домішок не відбувається. Очищенню атмосфери сприяє активізація циклонічної діяльності.

У результаті синоптичного аналізу отримані наступні правила:

1. Якщо процес стаціонування антициклону або гребеню починається при $P > 0,15$, то слід прогнозувати значне забруднення повітря з $P > 0,35$ (справджуваність складає 70...80%).

2. Якщо протягом існування стаціонарного антициклону або гребеня при вихідному значенні $P > 0,20$, то для першої половини наступної доби прогнозується також значне забруднення $P > 0,35$ (справджуваність 90%). Врахування інерційного чинника (вихідного значення P') істотно підвищує якість прогнозу. Найголовнішого значення набуває облік синоптичних процесів при аналізі та прогнозі тривалих періодів (3 доби і більше) з високим рівнем забруднення повітря.

Основні метеорологічні фактори, що обумовлюють рівень забруднення

Спочатку доцільно виділити найбільш загальні і важливі метеорологічні чинники, що сприяють накопиченню або розсіюванню шкідливих домішок в атмосфері. До них відносять:

1. Циркуляційний чинник - загальний розвиток синоптичних процесів як міра здатності провітрювання за різних погодних умов (тип синоптичної ситуації);

2. Вертикальне перемішування - товщина шару змішення, що визначається термічною і динамічною турбулентністю;

3. Середня швидкість перемішування у шарі змішення, а за відсутності цього шару - швидкість вітру біля поверхні землі, як чинник інтенсивності зміни повітряних мас.

Кількість чинників може бути більш великою. Предиктори, що описують ці чинники, визначаються за фактичними та прогностичними (24 і 36 год) синоптичними картами (приземною, АТ-850, АТ-925), а також за допомогою фактичних та прогностичних аеросиноптичних матеріалів. При малоактивному розвитку процесів і застійних явищах (слабкий вітер) створюються умови, що найбільш сприяють забрудненню.

Тип синоптичної ситуації оцінюється за фактичною та прогностичною приземними картами. Циркуляційний чинник КЦ визначається тільки якісно і кодується за табл. 2.11 при прогнозі за комплексними показниками метеорологічних умов забруднення або за табл. 2.12 при використанні альтернативного прогнозу.

Таблиця 2.11 – Типи синоптичних ситуацій з відповідними числовими характеристиками параметра $K_{Ц}$

Типи синоптичних ситуацій	$K_{Ц}$
1. Малорухомі антициклони і гребені (особливо ті, що поширювалися з півдня), які спостерігаються протягом 1,5 доби та більше.	3
2. Розмиті баричні поля з вітром змінних напрямків (тривалість ≥ 1 доби).	4
3. Західна периферія антициклону або гребеня (незалежно від швидкості вітру) при переносі із південно-східного сектора та адвекції тепла. Розмиті поля (тривалість < 1 доби).	5
4. Передня частина циклону (улоговина при переносі із південно-східного сектора, особливо при адвекції тепла). Малорухомий та невеликий за площею циклон, в якому циркулює одна і та ж повітряна маса.	6
5. Периферії баричних утворень, що спостерігаються протягом 1,5 доби і більше при $V \leq 4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.	7
6. Центри або периферії баричних утворень, що спостерігаються менш ніж 1,5 доби при $V \leq 4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.	8
7. Центри або периферії баричних утворень будь-якої тривалості при $V \geq 5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.	9
8. Швидкорухомі баричні утворення або серія улоговин та гребенів. Ультраполярне або північне вторгнення повітряної маси.	10

Визначення товщини шару змішення. Шар змішення – шар, в якому під впливом термодинамічної турбулентності відбувається розподіл шкідливих домішок по вертикалі. Чим цей шар більш тонкий, тим більше в ньому накопичується домішок. Товщина шару термодинамічного змішення $H_{ТД}$ в метрах або гПа розраховується за допомогою аерологічної діаграми: нижня межа шару змішення – поверхня землі. Якщо товщина $H_{ТД}$ визначається у гПа, тиск біля поверхні землі не приводять до рівня моря. Якщо приземний тиск береться з прогностичної карти (приведений до рівня моря), то необхідно ввести поправку на висоту станції. Верхня точка шару змішення – точка перетину кривої стану з кривою стратифікації температури.

На поточну добу $H_{ТД}$ розраховують за даними радіозонду за строк 00 UTC, враховуючи прогностичну максимальну температуру T_{max} на добу. Якщо за аерологічною діаграмою визначається байдужа стратифікація або крива стану проходить не більше ніж на 1°C лівіше, ніж крива стратифікації, то верхня межа шару змішення знаходиться на висоті порушення цих умов.

Розрахунок $H_{ТД}$ за прогностичними кривими стратифікації здійснюють після введення поправок на трансформацію і вертикальні рухи та після врахування впливу вертикальних зсувів вітру.

Визначення середньої швидкості вітру у шарі змішення. Середня швидкість вітру у шарі змішення $V_{ТД}$ визначається за прогнозованими швидкостями вітру на рівнях – земля, 925 і 850 гПа. При прогнозі на поточну добу припустимо використання даних про фактичний вітер. Якщо за прогностичною кривою стратифікації $H_{ТД}$ близька до ізобаричної поверхні 850 гПа, то $V_{ТД}$ розраховують за формулою:

$$\overline{V_{ТД}} = \frac{V_z + V_{925} + V_{850}}{3}, \quad (2.3)$$

Якщо межа $H_{ТД}$ близька до ізобаричної поверхні 925 гПа, то

$$\overline{V_{ТД}} = \frac{V_z + V_{925}}{2}, \quad (2.4)$$

При $H_{ТД} \approx 0$ враховується тільки прогностичний вітер біля поверхні землі (V_z).

Методи прогнозу метеорологічних умов забруднення

Альтернативний прогноз метеорологічних умов забруднення. Короткостроковий прогноз метеорологічних умов забруднення (МУЗ) за альтернативним методом потребує отримання критичних значень

метеорологічних параметрів, що характеризують умови вертикального зміщення і горизонтального переносу в момент накопичення шкідливих домішок та типи синоптичних ситуацій, при яких спостерігається високе забруднення. При виявленні цих типів необхідно враховувати наявність туманів, опадів тощо.

Критичні значення $H_{ТД}$ і $V_{ТД}$ для окремого регіону можна отримати за допомогою статистичної обробки інформації (табл. 2.12). Якщо три (або два) параметри вказують на можливість накопичення (розсіювання)

Таблиця 2.12 – Синоптичні умови і критичні значення параметрів граничного шару, що характеризують умови накопичення та розсіювання шкідливих домішок над ЕТР і Україною

Типи синоптичних ситуацій	$H_{ТД}$, м	$\overline{V_{ТД}}$, м·с ⁻¹	V_z , м·с ⁻¹ (при $H_{ТД}$ = 0)
<u>Накопичення домішок:</u> - малорухомі антициклони і гребені при ≤ 4 м·с ⁻¹ ; - розмите поле підвищеного тиску; - перенос повітряних часток біля поверхні землі і на поверхні 925 гПа з південно-східної частини ЄТР; - улоговина з теплим фронтом, південно-східний вітер при наявності шару зміщення нижче 700 гПа; - повітря помірних широт, що тривалий час зберігається над районом прогнозу.	≤ 700	≤ 6	≤ 4 Незалежно від швидкості вітру
<u>Розсіювання домішок</u> - циклони, що поглиблюються, улоговини і хвильові збурення при відсутності південно-східного переносу; - швидкорухомі антициклони і гребені; - периферії малорухомих антициклонів і гребенів, при $V \geq 5$ м·с ⁻¹ , але без вітру південно-східних напрямків; - свіжа повітряна маса; - опади 2...3 мм і більше за 12 год.	> 700	> 7	> 5

домішок, то ці умови і треба прогнозувати. Якщо прогнозист має дані, що характеризують фонове забруднення повітря, то якість прогнозу підвищується.

Прогноз метеорологічних умов забруднення за комплексними показниками. Комплексний показник умов забруднення $K_{МУЗ1}$ характеризує можливість виникнення високих забруднень. $K_{МУЗ1}$ обчислюється за значенням комплексу предикторів, число яких може бути різним.

Найпростіший розрахунок $K_{МУЗ1}$ здійснюється за формулою (2.5):

$$K_{МУЗ1} = K_{Ц} + K_H + K_{\bar{V}}, \quad (2.5)$$

де $K_{Ц}$ – тип синоптичної ситуації (табл. 2.11); K_H – параметр, що залежить від товщини шару $H_{ТД}$; $K_{\bar{V}}$ – параметр, що залежить від середньої швидкості $\bar{V}_{ТД}$ у шарі змішення, або при $H_{ТД} = 0$ – прогностичний вітер біля поверхні землі. Параметри $K_{Ц}$, K_H та $K_{\bar{V}}$ завдаються умовними числами від 3 до 10. Параметри K_H та $K_{\bar{V}}$ знаходяться за допомогою табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Значення предикторів $H_{ТД}$ і $\bar{V}_{ТД}$ та числові характеристики параметрів K_H і $K_{\bar{V}}$

$H_{ТД}$		$\bar{V}_{ТД}$, м·с ⁻¹	$K_H, K_{\bar{V}}$
м	гПа		
≤ 300	≤ 30	0...3	3
400	40	4	4
500	50	5	5
600	60	6	6
700	70	6	7
800	80	8	8
900	90	9	9
≥ 1000	≥ 100	≥ 10	10

При складанні прогнозу МУЗ за цією схемою використовується той самий аеросиноптичний матеріал, що і при альтернативному прогнозі. Слід зважити, що забруднення формується не відразу після утворення сприятливих умов. Спочатку домішки накопичуються, але рівень забруднення становиться критичним не раніше ніж через 36 год. Тому в схемі прогнозу за $K_{МУЗ1}$ враховуються тривалість сприятливих до забруднення умов.

Формула (2.5) надає можливість розраховувати комплексний показник K_{MY31} без вагового внеску предикторів $K_{Ц}$, K_H та $K_{\bar{V}}$. Встановлено, що найбільший внесок в забруднення привносить тип синоптичної циркуляції ($K_{Ц}$). Тому використовується інший комплексний показник K_{MY32} , що розраховується за регресійними формулами, які залежать від сезону, часу доби та вагового внеску предикторів.

В тепле півріччя (IV - IX):

$$\text{вночі} \quad K_{MY32} = 33,26 - 1,70 K_{Ц} - 0,28 K_H - 0,35 K_{\bar{V}}, \quad (2.6)$$

$$\text{вдень} \quad K_{MY32} = 32,49 - 1,80 K_{Ц} - 0,33 K_H - 0,39 K_{\bar{V}}. \quad (2.7)$$

В холодне півріччя (X - III):

$$\text{вночі} \quad K_{MY32} = 35,58 - 1,54 K_{Ц} - 0,02 K_H - 1,32 K_{\bar{V}}, \quad (2.8)$$

$$\text{вдень} \quad K_{MY32} = 32,72 - 1,77 K_{Ц} - 0,10 K_H - 0,36 K_{\bar{V}}. \quad (2.9)$$

При уточненні прогнозу на поточну добу доцільно враховувати крім $K_{Ц}$, K_H та $K_{\bar{V}}$ також діагностичне значення $K_{Ц}$, що визначається за вихідними даними (за приземною синоптичною картою). В цьому випадку замість (2.7) і (2.9) використовують формули:

в тепле півріччя (IV - IX):

$$K_{MY32} = (32,49 - 1,80 K_{Ц} - 0,33 K_H - 0,39 K_{\bar{V}})_{\text{пр}} + 1,70 (K_{Ц})_{\text{ф}}, \quad (2.10)$$

в холодне півріччя (X - III):

$$K_{MY32} = (32,72 - 1,77 K_{Ц} - 0,10 K_H - 0,36 K_{\bar{V}})_{\text{пр}} + 1,50 (K_{Ц})_{\text{ф}}, \quad (2.11)$$

де індекси «пр» та «ф» - прогностичне та фактичне значення відповідної характеристики. Отримані значення K_{MY32} прямо залежать від імовірності забруднення атмосфери. Чим більше K_{MY32} , тим імовірніше забруднення.

За допомогою табл. 2.14 - 2.15 можна обрати формулювання прогнозу забруднення.

Таблиця 2.14 – Термінологія прогнозів МУЗ за комплексними показниками $K_{МУЗ1}$ (без врахування вагових внесків предикторів) і $K_{МУЗ2}$ (з урахуванням вагових внесків предикторів) при використанні трьох предикторів

Формулювання прогнозу	Значення $K_{МУЗ}$
Очікуються метеорологічні умови високого забруднення (МУВЗ)	На строк прогнозу і в попередні 12 і 24 год: $K_{МУЗ1} = 9...13$ при прогнозі на ніч; $K_{МУЗ1} = 9...16$ при прогнозі на день; $K_{МУЗ2} \geq 30$
Очікуються короточасні метеорологічні умови високого забруднення (МУВЗ кр)	На строк прогнозу і в попередні 12 год: $K_{МУЗ1} = 9...13$ при прогнозі на ніч; $K_{МУЗ1} = 9...16$ при прогнозі на день; $K_{МУЗ2} \geq 30$
Метеорологічні умови високого забруднення не очікуються (МУВЗ н/о)	На строк прогнозу і в попередні 12 і 24 год: Значення $K_{МУЗ1}$ в табл. 2.10; $K_{МУЗ2} < 30$

Таблиця 2.15 – Комбінації значень $K_{МУЗ1}$, при яких метеорологічні умови високого забруднення не очікуються

На строк прогнозу, год	В попередні прогнозу 12 год	В попередні прогнозу 24 год
Прогнози на ніч		
14...30	17...30	14...30
14...30	9...16	9...13
14...30	17...30	9...13
14...30	9...16	14...30
9...13	17...39	9...13
9...13	17...30	14...30
Прогнози на день		
17...30	14...30	17...30
17...30	9...13	9...16
17...30	14...30	9...16
17...30	9...13	17...30
9...16	14...30	9...16
9...16	14...30	17...30

Контрольні запитання

1. З чого складається вплив вітру на забруднення атмосфери?
2. Як впливають опади на забруднення атмосфери?
3. За якими засобами розраховують товщину шару змішення $H_{\text{ТД}}$?
4. Яким чином визначається тип синоптичної ситуації?
5. Як розрахувати середню швидкість вітру у шарі змішення?
6. Яким чином враховується синоптична циркуляція в альтернативному прогнозі МУЗ?

Вихідні матеріали

1. Дані температурно-вітрового зондування атмосфери.
2. Фактичні приземні і висотні синоптичні карти.
3. Прогностичні приземні та висотні синоптичні карти на 24 і 36 год.
4. Дані про рівень попереднього забруднення повітря;
5. Аерологічна діаграма.

Завдання

1. Проаналізувати дані температурно-вітрового зондування за поточну добу по пунктах (один на вибір): Київ; Одеса; Кривий Ріг. Аерологічну діаграму взяти на сайті:
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>,
https://flymeteo.org/sounding/arhiv_one_month.php
2. Скласти огляд синоптичних процесів і оцінити можливість формування високих рівнів забруднення повітря.
Синоптичні карти взяти на сайтах: <https://meteoinfo.ru/mapsynop> або <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php?model=era&var=1&map=1&ur=0&jaar=1979&maand=1&dag=1>
3. Виконати альтернативний прогноз МУЗ.
4. Спрогнозувати МУЗ на 12 та 24 год за допомогою комплексних показників.

Методичні вказівки

1. Проаналізувати аерологічну діаграму.
2. Скласти огляд синоптичних процесів і зробити висновок про їх сприятливість до забруднення атмосфери.
3. Визначити тип синоптичної ситуації та обрати відповідний параметр $K_{\text{Ц}}$ за допомогою табл. 2.11.
4. Визначити товщину шару змішення $H_{\text{ТД}}$.
5. Визначити середню швидкість вітру в шарі змішення $V_{\text{ТД}}$.

6. Здійснити альтернативний прогноз МУЗ і заповнити табл. 2.16.
7. Здійснити прогноз МУЗ за комплексними показниками і заповнить табл. 2.17.
8. Зробити висновок про забруднення атмосфери за табл.2.14 і 2.15.
9. Аналізуючи отримані результати всіх методів, зробити заключний висновок про очікуваний рівень забруднення атмосфери з завчасністю 12 та 24 год.

Звітні матеріали

1. Аерологічна діаграма.
2. Короткий огляд синоптичних процесів з висновком про сприятливість метеорологічних умов накопиченню шкідливих домішок.
3. Заповнені табл. 2.16 - 2.17.
4. Підсумковий висновок про очікуваний рівень забруднення атмосфери з завчасністю 12 та 24 год.

Таблиця 2.16 - Альтернативний прогноз метеорологічних умов забруднення

Дата	Син. умови		$H_{TD},$ м	$H_{max},$ м	$\bar{V}_{TD},$ м·с ⁻¹	$T_{00},$ °С	$T_{max},$ °С	$K_{Ц}$	K_H	$K_{\bar{V}}$	Прогноз
	факт	прог.									

Таблиця 2.17 - Прогноз метеорологічних умов забруднення за комплексними показниками

Дата	$\bar{V}_{TD},$ м·с ⁻¹	$H_{max},$ м	$\Delta P_3,$ гПа	$K_{Ц}$	K_H	$K_{\bar{V}}$	$K_{МУЗ 1}$	$K_{МУЗ 2}$	Прогноз

2.4 Прогноз пилових бур

Пиловою або піщаною бурею зветься явище переносу сильним вітром великої кількості пилу, піску, частинок сухої землі, внаслідок чого відбувається помутніння атмосфери і значне погіршення видимості. Прийнято виділяти небезпечні і особливо небезпечні (стихійні) пилові бурі, якщо враховувати їх вплив на різні галузі господарства.

Величезний збиток багатьом галузям господарства наносить значне руйнування і видування ґрунту під дією пилових бур. У сільському господарстві пилові бурі призводять до втрати або навіть до повної втрати родючості ґрунтів, викликають заноси культурних площ (посівів, садів, лісонасаджень), перенос шкідливих комах і паразитних грибків, видування насіння. Пилові бурі порушують і ускладнюють роботу всіх видів транспорту, пошкоджують будівлі, збільшують захворювання, заносять водоймища і зрошувальні системи. З пиловими бурями часто пов'язана електризація атмосфери, яка впливає на радіозв'язок.

Пилові і чорні бурі спостерігаються на значних територіях України, Росії і багатьох інших держав. Так, на території Східної Європи та Азії, головним чином, підпадають під вплив бур райони Середньої Азії, Казахстану, дещо рідше – України, Середнього Поволжя, Північного Кавказу і Далекого Сходу. Звичайне явище представляють пилові бурі пустинних областей Північного і Північно-Західного Китаю, країн Малої Азії, Близького Сходу та Африки. Нерідко вони охоплюють великі простори і досягають ураганної сили. На Аравійському півострові і в Сахарі пилова буря має характер шквалу, який іноді супроводжується грозою (самум). Крім пилових бур, спостерігаються пилові вихори, які мають діаметр лише декількох метрів і досягають особливо великої інтенсивності в пустелях.

У 2004 році було розпочато проект ВМО по піщано-пиловим бурям, а в 2007 році П'ятнадцятим Світовим метеорологічним конгресом була запущена система попереджень і їх оцінка (SDS-WAS).

Система попередження і оцінки піщаних і пилових бур (Sand and dust storm warning and assessment system) SDS-WAS розширює можливості країн з надання своєчасних і якісних прогнозів, спостережень, інформації та знань про піщані і пилові бурі для користувачів в рамках міжнародного партнерства дослідних і операційних спільнот. Вона діє через Глобальний керівний комітет SDS-WAS і три регіональні вузла:

- регіональний центр SDS-WAS ВМО для Північної Африки, Близького Сходу і Європи, що координується Регіональним центром в Барселоні, Іспанія та розміщується у Державному метеорологічному агентстві (AEMET) та Барселонському суперкомп'ютерному центрі (BSC).

- регіональний центр BMO SDS-WAS для Азії, що координується Регіональним центром в Пекіні, Китай, який розміщується у Китайської метеорологічної адміністрації (КМА).

- Регіональний центр BMO SDS-WAS для Північної і Південної Америки, недавно створений в США, з можливим регіональним центром, розміщеним у Карибському інституті метеорології і гідрології (CIMH) на Барбадосі.

Система спостережень за піщано-пиловими бурями призначена для безперервного моніторингу пилу, валідації та верифікації продуктів прогнозів і асиміляції даних в числових моделях. Вона передбачає:

- наземні спостереження: вимірювання твердих частинок поступово стають доступними в режимі, близькому до реального часу;

- отримання непрямої інформації з регулярних зведень погоди;

- отримання даних дистанційного зондування з сонячних фотометров або вертикальних профілометрів.

- супутникові продукти: однодіапазонні зображення, якісні багатодіапазонні продукти, призначені для поліпшення ідентифікації пилу або кількісного пошуку (рис. 2.5).

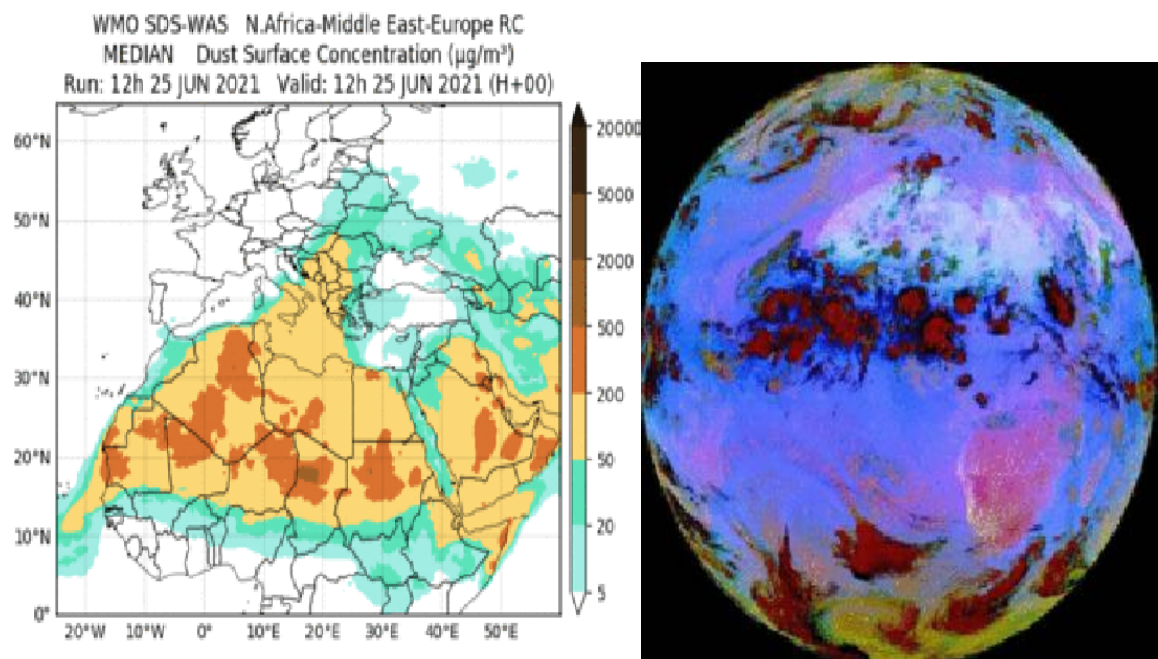


Рисунок 2.5 –Прогнози пилу за данимиNorthern Africa-Middle East-Europe (NA-ME-E) Regional Centerта EUMETSAT RGB-Dust

Прогноз видимості при пилових бурях. При пилових і піщаних бурях погіршення видимості може бути до декількох сотень метрів і менше. Прогноз пилових бур, по суті, зводиться до прогнозу сильного вітру з урахуванням характеру і стану підстильної поверхні. При прогнозі явища на

1...3 доби, крім прогнозу синоптичної ситуації і визначення зон підвищених значень баричних градієнтів, необхідний прогноз опадів і вологозапасів у верхньому 20-сантиметровому шарі ґрунту. Прогноз швидкості вітру і бездошових періодів складається звичайними методами.

Пилові бурі можуть спостерігатися при проходженні холодних фронтів, особливо холодних фронтів другого роду. Також вони можуть виникати і в однорідній повітряній масі, в тих випадках, коли біля поверхні землі створюються великі горизонтальні баричні градієнти, які обумовлюють сильні вітри, що спостерігається найчастіше на периферіях антициклонів.

Для прогнозу видимості в пилових бурях можна побудувати емпіричні графіки імовірності, за допомогою яких за значеннями горизонтальних баричних градієнтів визначається імовірність видимості в пиловій бурі до 500 м і менше (рис. 2.6).

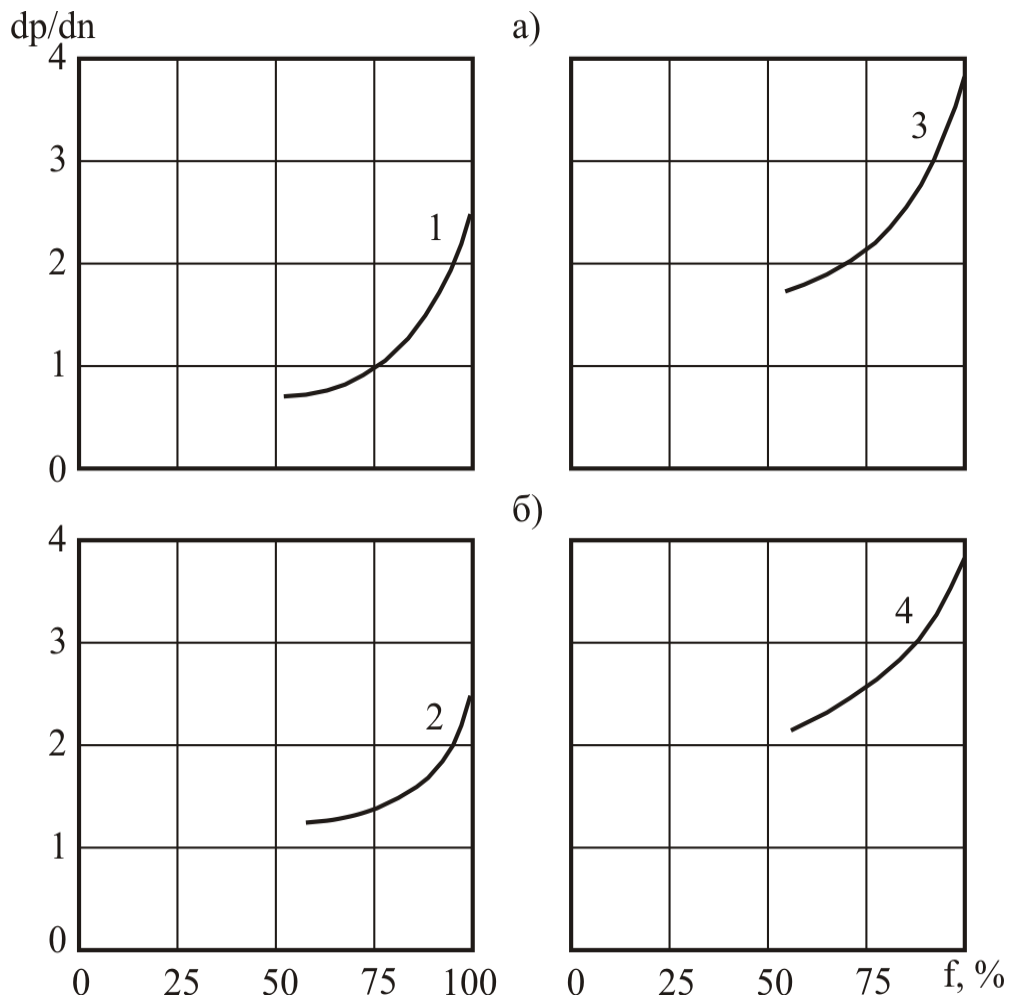


Рисунок 2.5—Емпіричні графіки для оцінки імовірності зменшення видимості до 500 м і менше при пилових бурях:

а) – тепле півріччя; б) – холодне півріччя; 1, 2 – південні, 3, 4 – північні райони; dp/dn - горизонтальний баричний градієнт, гПа/100 км; f – імовірність, %.

Контрольні запитання

1. Загальна характеристика пилової (піщаної) бурі. Вказати, де найбільш часто спостерігаються пилові бурі.
2. Які синоптичні умови сприятливі для виникнення пилових бур?
3. Які пилові бурі відносяться до СМЯ?
4. Яким чином здійснюється прогноз пилової бурі?
5. Якими характеристиками оцінюється інтенсивність пилової бурі?
6. Від чого залежить видимість у пиловій бурі?

Завдання

1. За даними сайту <https://sds-was.aemet.es/materials/dust-events> вибрати випадок виникнення пилової бурі та проаналізувати карти погоди зазначений період.
2. Скласти огляд синоптичних процесів і дати загальний прогноз пилових бур.
3. Скласти прогноз видимості у в пиловий бурі.

Вихідні матеріали

Карти погоди (00 СГЧ) за п'ять послідовних діб зазначений період.

Звітні матеріали

1. Проаналізовані карти погоди за 5 діб.
2. Короткий огляд синоптичного положення і загальний прогноз пилових бур та видимості (у робочому зошиті).

2.5 Прогноз граду

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(рис. 2.7).

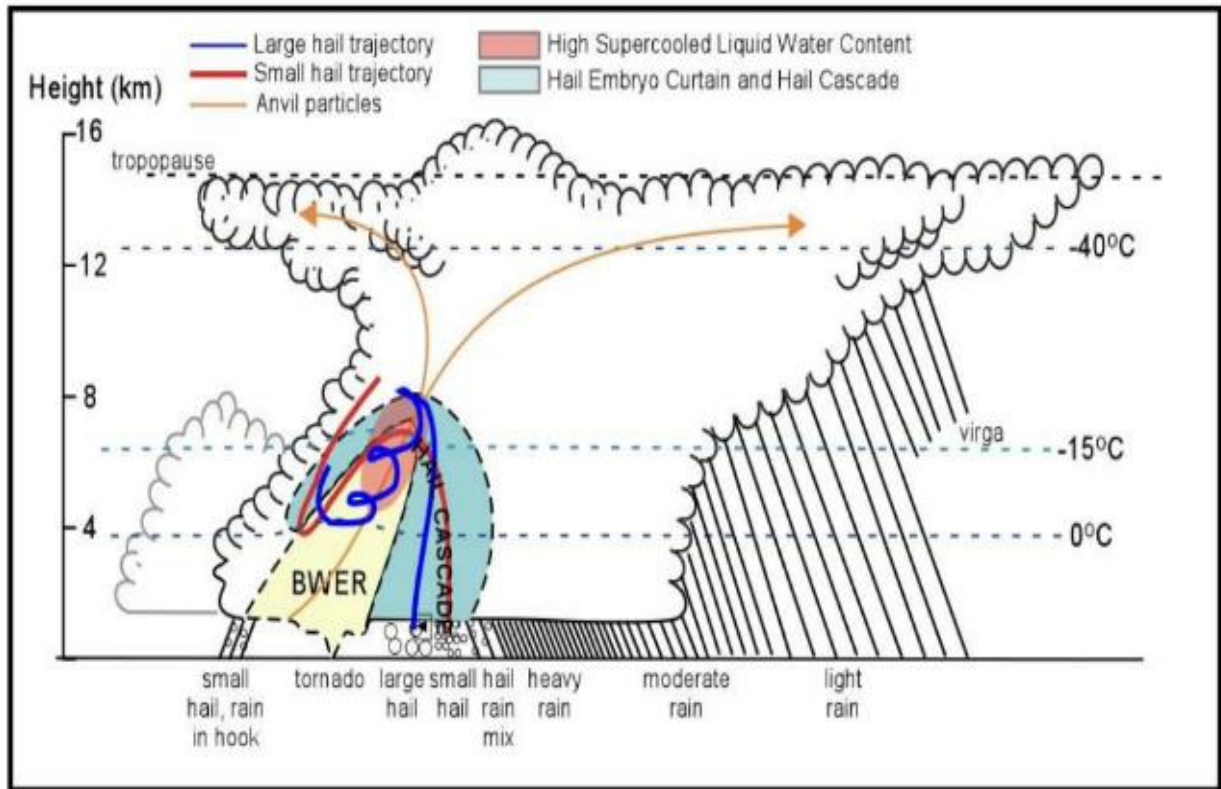


Рисунок 2.7 –Вертикальна структура градової хмари

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.

Град (для НЯ I – діаметр градин 6-19 мм, СМЯ II – 20-39 мм, СМЯ III – ≥ 40 мм) – 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. Тут щорічно спостерігається град, а великий град 1 раз в 2,5 - 3 роки.

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.

Методи прогнозу граду

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.

Відомо більше 20 методів прогнозу граду, наприклад метод П.Г. Пантелєєва (Молдова), метод Г.Д. Решетова, метод Н.М. Глушкової та інші, але універсальної методики, яка давала б добрі результати в будь-якому географічному регіоні, не існує.

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

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:

$$LIFT = T_{500} - T_{\text{parcel}}, \quad (2.12)$$

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 $-6 < \text{LIFT} < -3$, як помірно нестабільну, $-3 < \text{LIFT} < 0$ як ту, що знаходиться на межі зі стабільністю. Якщо $\text{LIFT} > 0$, 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** :

$$\text{TOTL} = (T_{850} - T_{500}) + (T_{D850} - T_{500}), \quad (2.13)$$

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):

$$\text{SWET} = 12 \times T_{D850} + 20 \times \text{TERM}_2 + 2 \times \text{SKT}_{850} + \text{SKT}_{500} + \text{SHEAR}, \quad (2.14)$$

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}**:

$$K_{\text{INX}} = (T_{850} - T_{500}) + T_{D850} - (T_{700} - T_{D700}), \quad (2.15)$$

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 $K_{\text{INX}} > 30$ °C свідчить про наявність потенціалу для розвитку грози. Якщо $K_{\text{INX}} \geq 40$ °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.

Boydén 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 завихренність шторму (Storm Relative Helicity, SRH).

Для прогнозу граду також використовують дані доплеровських радарів, що дозволяють прогнозувати явище із завчасністю від 0 до 2 годин (рис.2.8).

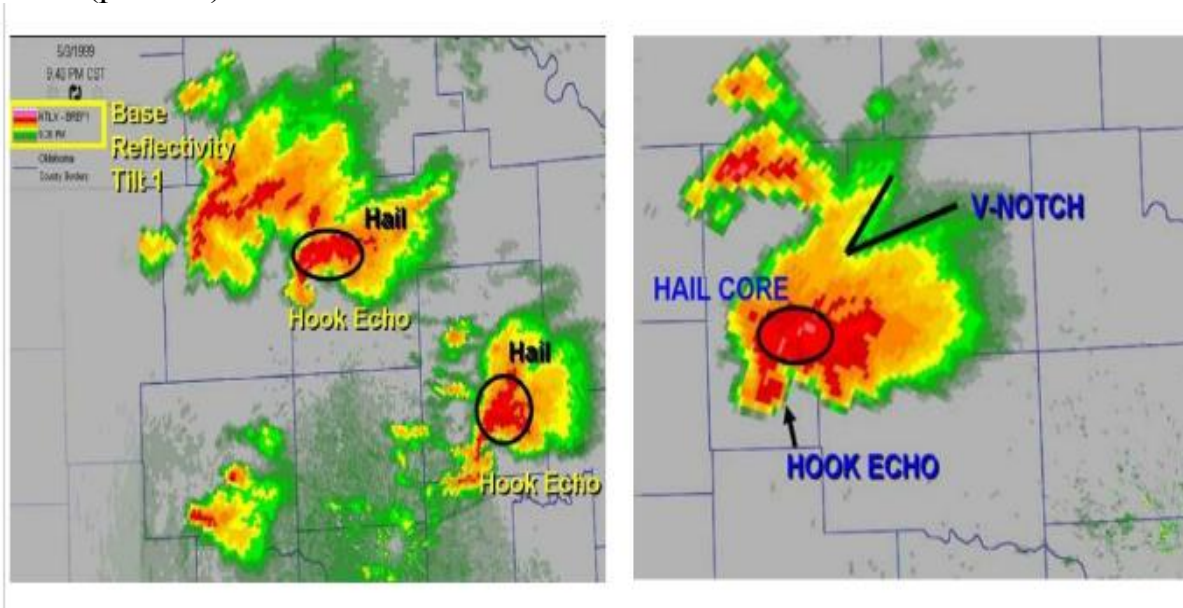


Рисунок 2.8 –Радіолокаційне відлуння з V-подібною виїмкою (V-notch) та Hook echo

Градова хмара за даними радара визначається за такими особливостями:

1. Висока відбивна здатність (50 dBz та більше);
2. Верхня межа хмарності більше 10 км;
3. Формування суперкомірки;
4. Особливу увагу варто звертати на радіолокаційне відлуння з V-подібною виїмкою (V-notch) (рис. 2.8);
5. Клин тречастинного розсіювання (TBSS-Three-Body Scattering Spike) (рис. 2.9);
6. З'єднання комірок;
7. Серпоподібно відлуння (Hook echo) (рис. 2.8);
8. Наявність області слабкої луни (WER).

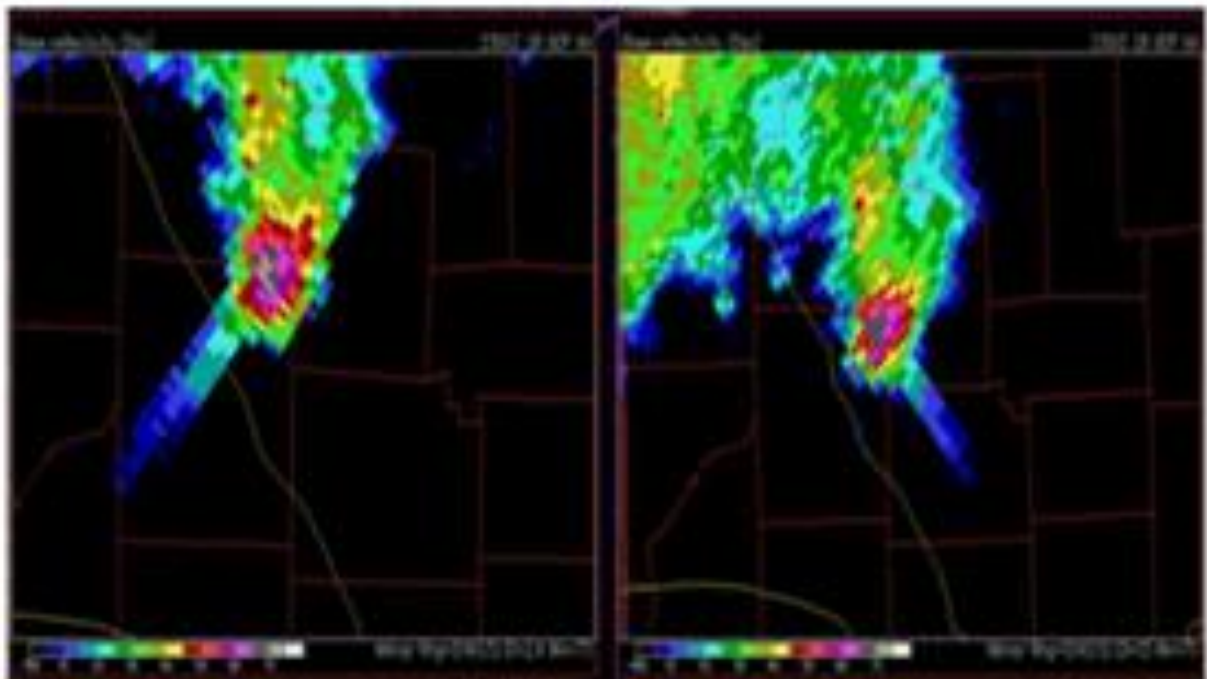


Рисунок 2.9 –Клин тречастинного розсіювання -TBSS-Three-Body Scattering Spike

Розглянемо метод, розроблений в Гідрометеорологічному центрі Росії (ГМЦ). Загальним для зазначеного методу є врахування синоптичних умов, побудова та аналіз фактичної або прогностичної кривих стратифікації T і T_d .

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 потоків $\bar{w}_k$ (м с⁻¹), для часток висхідних з КНШ, $\bar{w}_k$ розраховується за формулою 2.16 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 2.17.

6. Інтенсивність зливових опадів (I , мм год⁻¹) визначається за формулою 2.18:

$$\bar{w}_k = \sqrt{R(T' - T) \ln \frac{p_0}{p}}, \quad (2.16)$$

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

$$\bar{w} = \sum_{i=1}^{i=n} 0,33 \cdot 10^{-4} m \bar{w}_k h, \quad (2.17)$$

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:

$$I_{3l} = 1,5 \Delta q_{850} + 3,0 \Delta q_{700}, \quad (2.18)$$

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 °С (h_{-30}) та -40 °С (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 $h_2 > h_{-40}$.

Контрольні запитання

1. Дати визначення явища «град».
2. Як поділяють град за інтенсивністю?
3. Яка стратифікація атмосфери сприятлива для виникнення граду?
4. Які синоптичні умови є найсприятливішими для виникнення граду?
5. В чому полягає суть методу прогнозу граду, розробленого в ГМЦ ?

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.
2. Дані радіозондування (пункт зазначений викладачем)
3. Знімок хмарності ШСЗ.
4. Параметри конвективної нестійкості атмосфери за даними радіозондування.

Методичні вказівки

Порядок розрахунків та їх результати пояснимо на прикладі. На рис. 2.10 представлені криві стратифікації T і T_d , які побудовані за даними радіозондування м. Києва за 00 СГЧ 23 червня 1999 року. 23 червня очікується максимальна температура повітря біля поверхні землі - 28°C .

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

2. Повітря, що оточує S_b , не знаходиться в стані насичення ($T - T_d > 2^{\circ}\text{C}$), 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: $0^{\circ}\text{C} = 3,2$ км, $-10^{\circ}\text{C} = 4,8$ км, $-20^{\circ}\text{C} = 6,3$ км, $-30^{\circ}\text{C} = 7,5$ км, $-40^{\circ}\text{C} = 8,7$ км.

5. Розраховуємо середні значення $(\overline{T' - T})$ в хмарному шарі. Різницю

$(T' - T)$ визначаємо через кожні 50 гПа. В даному випадку $(\overline{T'} - \overline{T}) = 1,5^\circ\text{C}$.

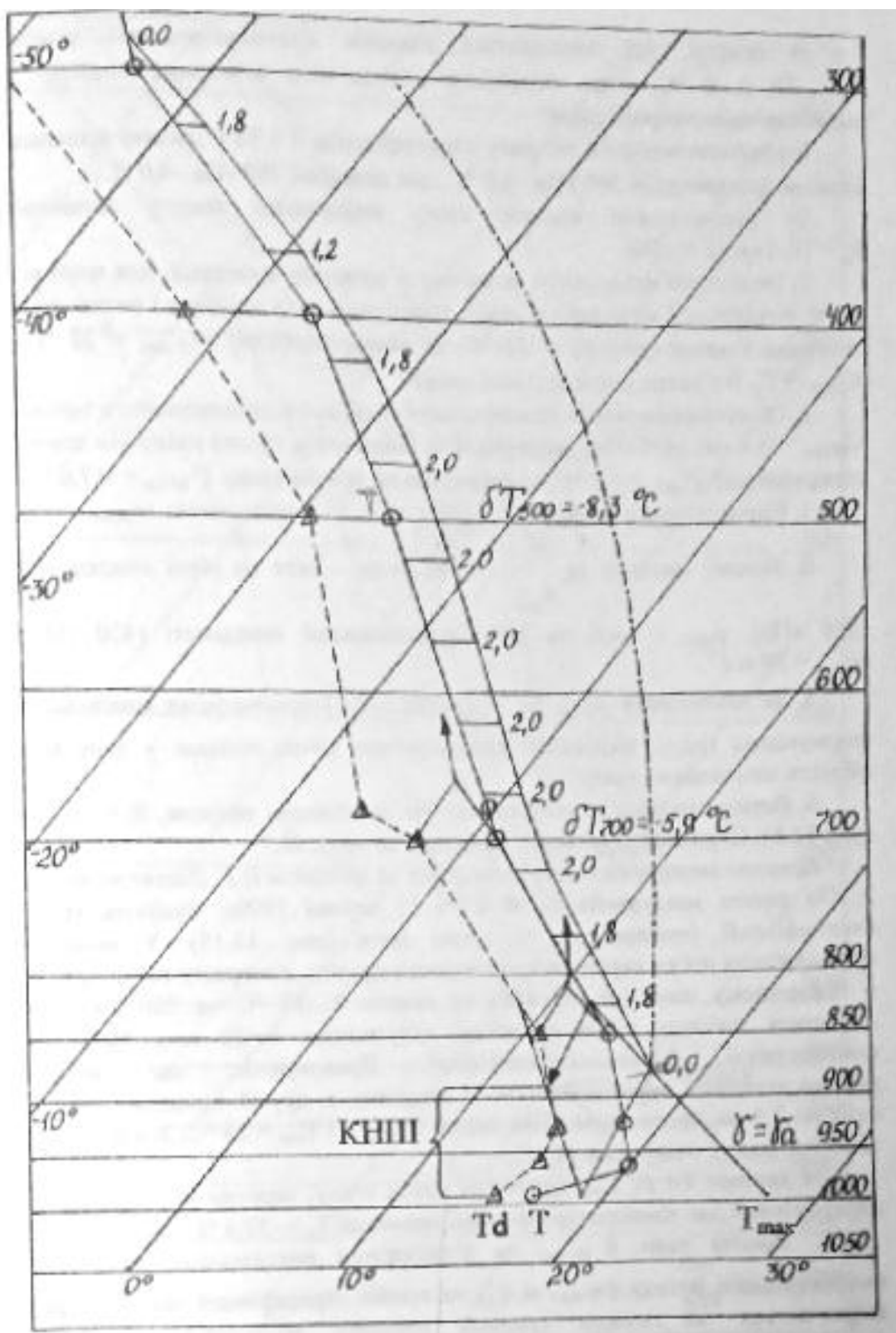


Рисунок 2.10 –Прогноз граду за методом ГМЦ

6. За формулою 2.16 визначаємо швидкість конвективних течій $\bar{w}_k$. У цьому прикладі конвекція розвивається в шарі 880...290 гПа, тому $\bar{w}_k$ можна віднести до шару 900...300 гПа; $\bar{w}_k = 12 \text{ м с}^{-1}$.

7. За формулою (2.17) розраховуємо середню конвективну швидкість в хмарі:

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

8. За формулою (2.18) розраховуємо інтенсивність зливових опадів, для чого від $\bar{w}$, см с^{-1} переходимо до аналогу індивідуальних змін тиску за одну годину (δp , гПа год^{-1}).

$$\begin{aligned}\delta p_{850} &= -3,7 \cdot 28 = -104 \text{ гПа год}^{-1}; \\ \delta p_{700} &= -3,3 \cdot 28 = -92 \text{ гПа год}^{-1}.\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\Delta q_{850} &= 9,4 - 8,1 = 1,3 \text{ г кг}^{-1}; \\ \Delta q_{700} &= 4,5 - 3,7 = 0,8 \text{ г кг}^{-1}.\end{aligned}$$

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. 2.19) порівнюють з даними табл. 2.18. 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.

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. 2.20.
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> та на сайті

URL: http://rawinsonde.com/ERA5_Europe/

Таблиця 2.18 – 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,°С		-10,°С		-20,°С		-30,°С							-40,°С		
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 ₃₀	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 2.19 – 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					$(\overline{T^* - T})$, °С	$\bar{w}_k$, м/с	$\bar{w}$, см/с	I _{зл} , мм/год	Висновок
				0, °С	-10, °С	-20, °С	-30, °С	-40, °С					
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 2.20 – 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					$(\overline{T^* - T})$, °С	$\bar{w}_k$, м/с	$\bar{w}$, см/с	I _{зл} , мм/год	Висновок
				0, °С	-10, °С	-20, °С	-30, °С	-40, °С					

2.6 Прогноз шквалу

Шквал – це різке короткочасне (від декількох хвилин до години) посилення вітру, яке супроводжується зміною його напрямку. Близько половини усіх шквалів мають тривалість не більше 0,1 год, у 4% випадків – понад 0,5 год. Шквал являє собою вихор з горизонтальною віссю обертання, швидкість вітру при якому нерідко досягає $18...25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а іноді й більше, перевищує швидкість градієнтного вітру, в окремих випадках досягає руйнівної сили.

Відповідно Настанові з метеорологічного прогнозування до критеріїв швидкості вітру при шквалі виділяють:

- НМЯ I рівня небезпеки – шквал $15\text{-}24 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$;
- СМЯ II рівня небезпеки – сильний шквал $25\text{-}34 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$;
- СМЯ III рівня небезпеки – надзвичайний шквал $\geq 35 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Незважаючи на труднощі, пов'язані з локалізацією шквалів і відсутністю досить переконливої статистики, в Україні можна виділити райони з однаковою повторюваністю шквалів.

1 район: північні та центральні області (Чернігівська, Київська, Житомирська, Черкаська, Кіровоградська, Дніпропетровська); Донецький кряж, південний захід (Одеська область), АР Крим (частота - 1 раз у 3 роки).

2 район: Волинська, Львівська, Вінницька, Полтавська, Харківська, Херсонська області (частота 1 раз у 5 років).

3 район: захід (Ровенська, Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Тернопільська, Хмельницька області), схід (Луганська область), північний схід (Сумська область), а також південні області (Миколаївська, Запорізька) - 1 раз у 10 років.

Повторюваність шквалу має чітко виражений річний хід. Над сушею шквали спостерігаються з квітня по серпень у південних районах, але іноді вони відмічаються у березні та вересні. Над теплими морями шквали спостерігаються і взимку, вони розвиваються у нестійко стратифікованих холодних повітряних масах, а також при проходженні холодних фронтів. Сильні шквали у західних і східних областях майже однаково часто спостерігаються у липні і червні, у північному регіоні максимум припадає на червень, а в південних і центральних – на липень. Шквал найчастіше виникає у другій половині дня (о 15 – 18 год), коли конвективна хмарність досягає найбільшого розвитку і термодинамічна енергія нестійкості максимальна. Майже з однаковою повторюваністю шквал спостерігається о 12 – 15 та 18 – 21 год, коли конвекція також досить інтенсивна. Подібна закономірність у добовому ході спостерігається у більшості регіонів. Дещо відрізняється східний регіон, де повторюваність шквалів підвищена у період 12 – 15 год. Нічні шквали тут не зафіксовані. Для південних областей характерна підвищена частота шквалу о 0 – 6 год.

Шквал, як і інші небезпечні конвективні явища, пов'язаний із зонами активної конвекції, утворюється внаслідок складної взаємодії атмосферних процесів макро-, мезо- та мікромасштабів. До макропроцесів відносяться характерні синоптичні ситуації, що сприяють утворенню шквалу: до мезопроцесів – конкретні ділянки атмосферних фронтів, лінії нестійкості, мезомасштабні конвективні комплекси; до мікропроцесів – параметри окремих частин конвективних хмар, фазовий стан хмарних часток тощо. Виникнення шквалів спостерігається в тих районах, де атмосфера біля земної поверхні стратифікована нестійко, відмічається конвергенція повітряних потоків і вологість повітря досить значна. Як правило, шквали мають локальний характер, це окреме явище, рідко вони можуть супроводжувати один одного у певному районі.

Виникнення шквалів пов'язано з купчасто-дощовими хмарами (Cb). У передній частині Cb спостерігаються сильні висхідні рухи повітря, а у тилівій – сильні низхідні рухи (рис. 2.11). Останні обумовлені охолодженням повітря, опадами, особливо при випадінні граду. У зоні протилежних рухів повітря створюється "шкваловий коловорот (комір)" – вихор з горизонтальною віссю. Цей вихор з'являється звичайно поперед Cb, за 1...2 км до суцільної завіси дощу, на висоті 500...600 м або нижче. У результаті при проходженні Cb виникає шквал. Шквал зазвичай фіксується одночасно з різними явищами конвективного походження. Під час шквалу найчастіше спостерігається зливовий дощ з грозою, причому це найхарактерніше для сильних шквалів, коли досить часто ці явища поєднуються з градом, а слабкі шквали характеризуються підвищеною повторюваністю зливових дощів (рис. 2.12-2.13).

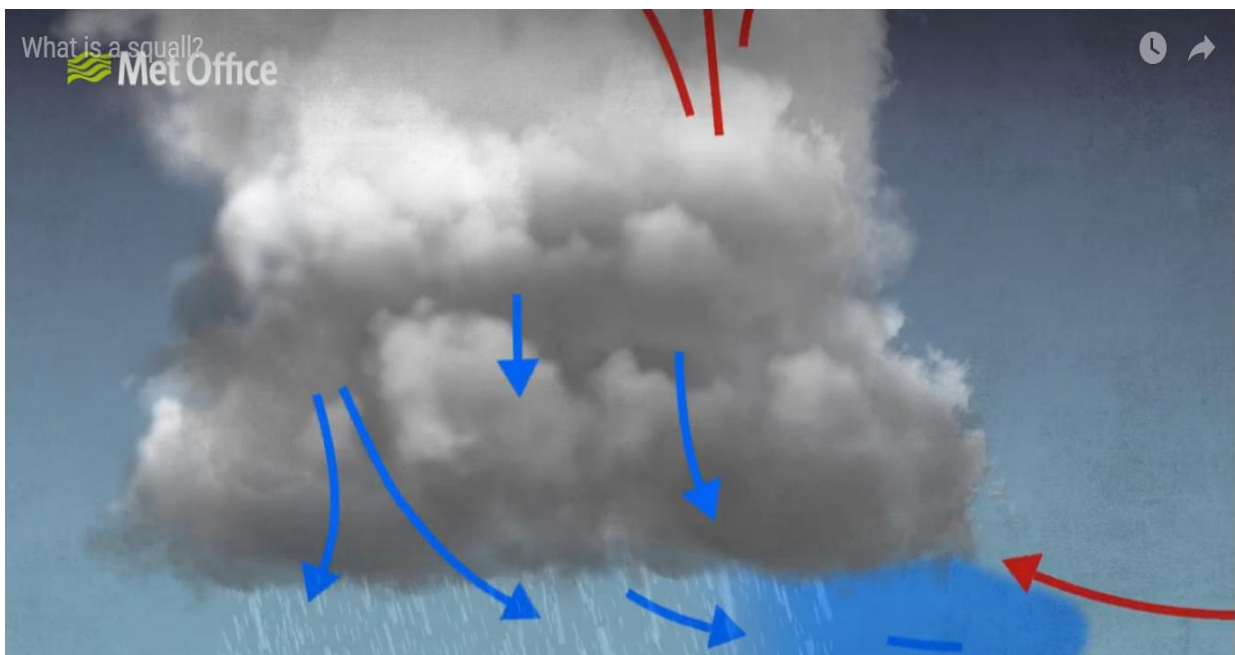


Рисунок 2.11 – Схема повітряних потоків при утворенні шквалу

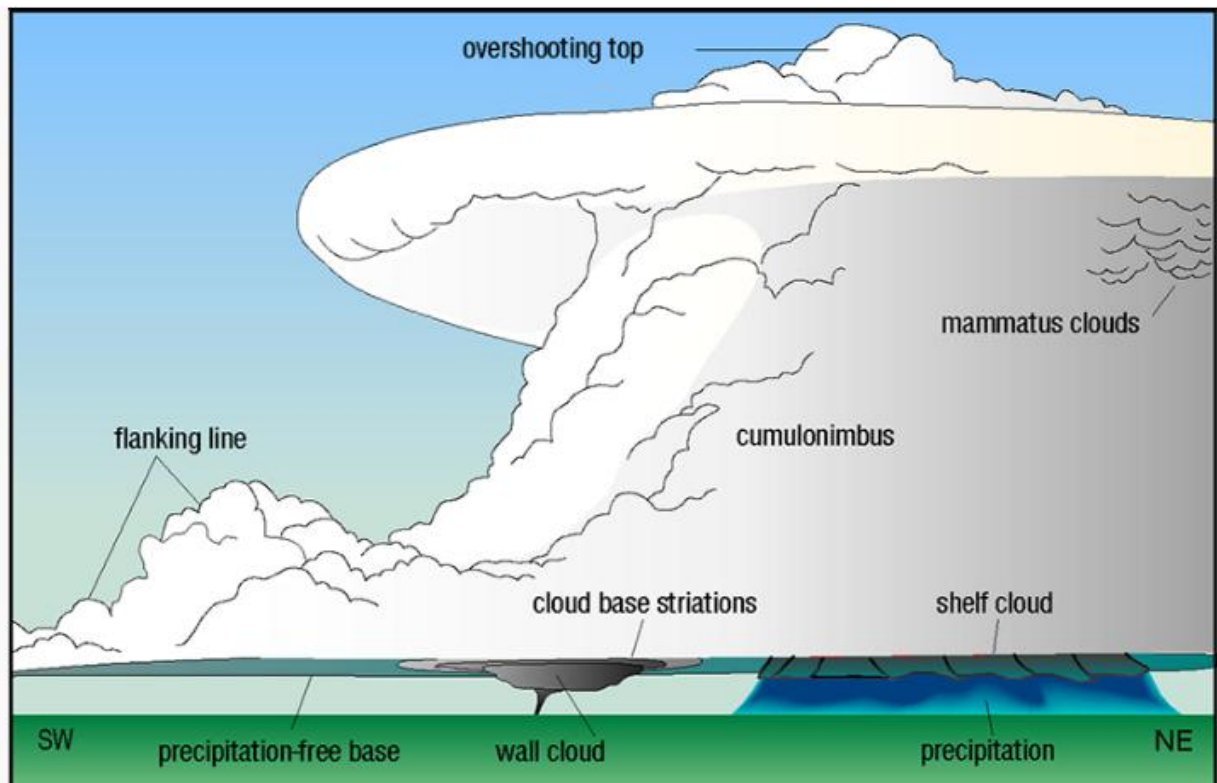


Рисунок 2.12 – Схематичне зображення грозової хмари



A - тилова частина, B - смуги, що вказують на сильний обертовий висхідний потік, C - мезоциклон, D- хвостова хмара, E - хмарна стіна, F – торнадо.

Рисунок 2.13 – Характеристики грозової хмари

У теплий період року під час шквалу спостерігається різка зміна метеорологічних величин у приземному шарі атмосфери. Тиск повітря під час слабких та помірних шквалів аналогічний і найчастіше має значення, які є характерними для теплого періоду взагалі. Під час сильних шквалів тиск повітря менший, ніж під час слабких та помірних. Перед шквалом майже завжди тиск різко падає, при появі шквалу - різко зростає. Зростання тиску за фронтом у районі виникнення шквалів складає 3...5 гПа за 3 год. Після закінчення шквалу та припинення зливи тиск падає знову приблизно на протязі години ("грозовий ніс").

Шквал виникає у досить широкому діапазоні температури повітря. Максимальна температура теплого повітря перед фронтом звичайно досягає позначки 30 °С, часто підвищується до 35...38 °С. При шквалі температура повітря різко знижується, а після його припинення може зростати, але залишається більш низькою, ніж температура повітря до шквалу. Контрасти температури на холодному фронті у випадках коли формується шквал над сушею, часто дорівнюють 8...10 °С та більше. Діапазон повторюваності температури ґрунту ще ширший, максимум припадає на 25 – 30 °С, у східних і південних областях температура інколи досягала майже 60 °С.

Виникнення шквалу тісно (78%) пов'язане з атмосферними фронтами, а в решті випадків - з внутрішньомасовими процесами. Здебільшого це малорухомі квазімеридіонально орієнтовані fronti, розташовані в улоговинах, які поступово переміщуються із заходу на схід. На них зазвичай утворюються хвилі, що у свою чергу сприяє розвитку конвекції і, як наслідок, виникненню шквалу. 10...15% шквалів зафіксовано на вторинних фронтах і в депресіях, що заповнюються, 3...5% випадків – у термічно однорідній повітряній масі. Найбільш небезпечні фронтальні шквали виникають частіше за все у смузі найбільш розвиненої конвективної нестійкості в теплому секторі циклону попереду холодного фронту. Передній край цієї смуги шириною 50...100 км має назву лінії нестійкості.

Внутрішньомасові шквали пов'язані з хмарами Сb, які виникають при суто термічній конвекції або при термодинамічній конвекції у холодній нестійкій повітряній масі в тилу циклону. Шквал переміщується разом з купчасто-дощовою хмарию, тому у межах певної смуги, за останнім, формується так званий "слід" шквалу. В Україні шквали найчастіше (40%) виникають у баричних улоговинах, які в основному спрямовані з півночі, північного заходу чи північного сходу. Значна їх повторюваність також у розмитих баричних полях. У зонах високого тиску (антициклон, гребінь) неодмінною умовою виникнення шквалу є наявність атмосферного фронту. Щодо висотного баричного поля, то найбільшу повторюваність має також улоговина.

Синоптичні умови, що сприяють розвитку шквалів:

1. Вершини хвильових збурень на фронтах і зони холодних фронтів, що переміщуються зі швидкістю 30...40 км·год⁻¹ та більше.
2. Стаціонарні та малорухомі холодні fronti із хвильовими збуреннями.
3. Фрonti оклюзії при їх переміщенні зі швидкістю 20..30 км·год⁻¹.
4. Малоградієнтні області низького або високого тиску.
5. Области невеликих баричних улоговин та теплі сектори циклонів.
6. Південні, південно-західні та західні периферії розлогих, малорухомих антициклонів при значній нестійкості теплої повітряної маси та денних температурах, які досягають 28...30 °С, при точці роси 10...15 °С та масовій частці водяної пари $\geq 10 \%$.

Інформація з метеорологічних штучних супутників Землі може бути використана для прогнозу шквалів з упередженістю до 36 годин. Аналіз знімків супутників за денний або вечірній час попередньої доби дозволяє вирішити питання: чи відмічалися у попередню добу на синоптичному об'єкті (наприклад, на фронті) конвективні хмари, які наближаються до пункту (району) прогнозу.

Якщо на знімках ШСЗ були відмічені потужні конвективні хмари у хмарних спіралях, вихорах або смугах, то можна припустити, що ці хмари будуть зберігатися або розвиватися на фронті і у поточну добу, та з ними будуть пов'язані грози, зливи, град та шквали.

Наприклад, для аналізу стану атмосфери напередодні шквалу використовують зображення метеорологічних супутників EUMETSAT: інфрачервоні (ІЧ, довжина хвилі діапазону зондування 10,8 мкм), в смугі поглинання водяної пари (ВП, довжина хвилі 6,2 мкм), композитні знімки (RGB, комбінація різних діапазонів зондування). Для кращої інтерпретації стану вершин потужної купчастої хмарності рекомендується використовувати так звані сендвіч-зображення (Sandwich) (рис.2.14). Як, наприклад, поєднання HRV RGB і HRV / IR10.8, яке дозволяє визначити як локацію і форму холодного кільця, так і тонкий шар перистих хмар. Таке поєднання також надає інформацію як щодо «морфології» верхньої межі хмар, так і про температуру верхньої межі хмар.

Оскільки існуюча спостережна мережа в Україні є недостатньою для діагнозу конвективних явищ і, зокрема, шквалу, то необхідно обладнати мережу датчиками безперервної реєстрації метеорологічної обстановки. Найбільш оптимальним приладом, який дозволяє визначати структуру і фізичні характеристики лінії шквалів, є метеорологічний радар. У всьому світі доплерівський метеорологічний радар визнаний найбільш універсальним інструментом для аналізу шквалів. На основі однозначних і комплексних критеріїв розпізнавання радар в автоматичному режимі дозволяють не тільки виявляти і розпізнавати конвективні НЯ, але і отримувати інформацію про горизонтальну та вертикальну структуру

радіолокаційної відбиваності штормів, горизонтальну та вертикальну швидкість хмарних частинок і крапель опадів всередині хмари з дозволом до 1 км через 5-10 хв. Радіолокаційна інформація дозволяє виявити зони потужної конвективної хмарності на відстані до 300 км від пункту, де встановлено метеорологічний радіолокатор (МРЛ) (рис. 2.15). Спостереження за послідовні строки дають можливість встановити напрямок і швидкість переміщення Сб та їх еволюцію, визначити для кожного явища геометричні розміри, інтенсивність, тенденції розвитку.

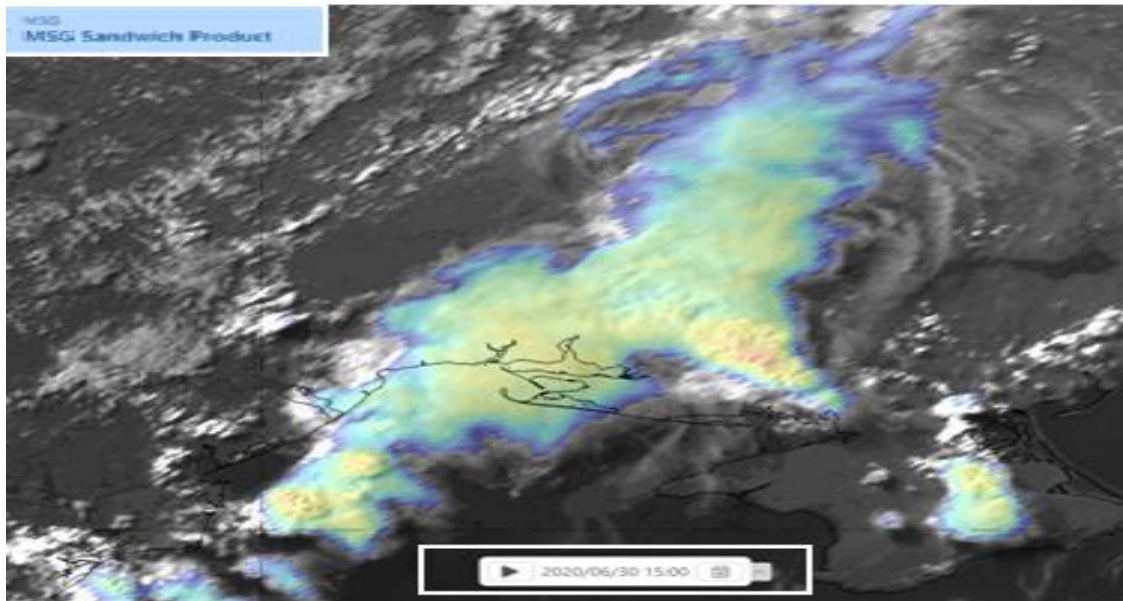


Рисунок 2.14 – Хмара HRV RGB (зверху) і змішане зображення HRV / IR10,8 (знизу)



Рисунок 2.15 – Лінія шквалу на екрані радару

Аналіз термодинамічних характеристик атмосфери та годографу вітру також є важливим аспектом для виявлення можливості шквалоутворення. Характерною ознакою можливості утворення шквалу на аерологічній діаграмі є V-форма кривої стратифікації і депіграмми, так звана – виїмка (horn) (рис. 2.16).

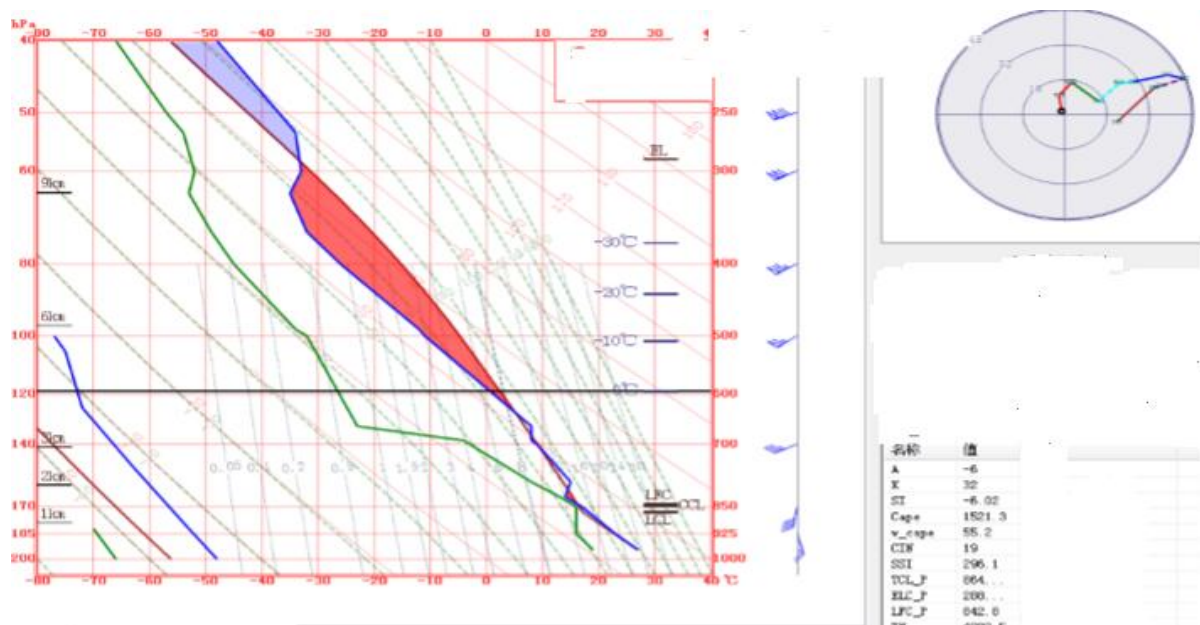


Рисунок 2.16–Аерологічна діаграма і годограф при проходженні шквалу

Методи прогнозу шквалів

В даний час всі використовувані в оперативній роботі методи прогнозу шквалу відносяться до фізико-статистичних методів.

Інша група методів враховує кінетичну енергію турбулентних пульсацій. При цьому розрахунок поривів вітру заснований на припущенні про нормальний розподіл швидкості вітру, а турбулентна кінетична енергія розглядається як дисперсія швидкості вітру [20].

Альтернативним методом прогнозу шквалів, запропонованим рядом дослідників, є метод, заснований на припущенні, що причиною утворення шквалу служить взаємодія аномалій стратосферного потенційного вихору Ертеля з бароклінічними зонами в нижній тропосфері. Випробування даного методу [21] показало, що він є більш якісним і надійним в порівнянні з традиційними методами та дозволяє зменшити число «помилкових тривог».

Широко застосовуються методи прогнозу шквалів на основі вихідної продукції гідродинамічних моделей з сімейства WRF: ARW, ARW Glob і NMM. Встановлено, що всі ці моделі досить добре відтворюють мезомасштабні конвективні системи і пов'язані з ними області сильних опадів і вітру, але мають загальні недоліки: переоцінюють кількість і

площу сильних опадів і недооцінюють швидкість сильного вітру. Меншою мірою ці недоліки властиві моделі ARW.

Оцінка справджуваності модельних прогнозів і верифікація результатів рахунки моделі проводяться за даними метеорологічних радарів і знімків ШСЗ. На основі моделі WRF-ARW v.3 розробляються системи раннього попередження про метеорологічних загрози (зокрема, система попередження про ступінь небезпеки сильного вітру) [22].

В рамках сучасних гідродинамічних моделей, що використовують різні підходи розрахунку потужної конвекції, з якою пов'язані шквали, швидкість вітру і його пориви прогнозуються з роздільною здатністю до 1-3 км в залежності від якості початкових даних. Однак точність прогнозу шквалу залишається недостатньою в силу неможливості урахування всього комплексу процесів подсеточного масштабу. Багато існуючі методи не автоматизовані і мають невисокі показники якості прогнозування. Необхідно відзначити, що в оперативній практиці практично відсутні методи прогнозування катастрофічних шквалів, швидкість вітру при яких перевищує 33 м/с.

Серед методів прогнозу виникнення шквалів найбільше застосування отримали методи, засновані на визначенні ступеня нестійкості атмосфери. Так, прогноз сильних шквалів на основі аналізу термодинамічної стану атмосфери був запропонований Г.Д. Решетовим та Б.Є. Песковим і О.І. Снітковським. Ці методи мають високу справджуваність, яка наближається до 90%, однак, успішність прогнозу значною мірою залежить від правильної оцінки синоптичного поля ΔT_3^{500} оження.

Прогноз складається у два етапи. На першому етапі виконується сумісний аналіз карт погоди та супутникових знімків, і за цими матеріалами складається прогноз очікуваного синоптичного положення. Якщо комплексний синоптичний аналіз вказує на умови, сприятливі для розвитку шквалів, то переходять до другого етапу прогнозу – розрахунку термодинамічних параметрів.

Решетовим Г.Д. розглянуто 280 шквалів (обрано 85 предикторів). Найбільш показовими параметрами атмосфери при розвитку шквалів є:

1. Швидкість вітру на рівні 700 гПа - V_{700} (або середня швидкість в шарі 850...500 гПа - $\bar{V}_{850}^{500}$), причому $\bar{V}_{850}^{500} \geq 16 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. При $\bar{V}_{850}^{500} \geq 25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ імовірність шквалів 100%. Якщо $\bar{V}_{850}^{500} \leq 12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, шквал відсутній.

2. Вологість: при дефіцитах $(T-Td)_{500} \approx 6...13 \text{ }^\circ\text{C}$ та $(T-Td)_{850} \approx 4..8 \text{ }^\circ\text{C}$ імовірність шквалу є великою.

При більших дефіцитах (за рахунок випаровування та ефекту залучення) кількість шквалів зменшується. При менших дефіцитах, що супроводжуються збільшенням кількості хмарності і зменшенням денного прогріву, кількість шквалів теж зменшується.

3. В зоні фронту горизонтальний градієнт температури повітря $T_v \geq 7,5 \text{ }^\circ\text{C}/750 \text{ км}$. При $T_v \geq 12 \text{ }^\circ\text{C}/750 \text{ км}$ імовірність шквалу 100%.

4. В полі барометричних тенденцій: перепади тенденцій більше $5 \text{ гПа}/3 \text{ год}$ на відстані 500 км від зони фронту.

З використанням найбільш інформативних предикторів в різних методиках отримані графіки для прогнозу шквалів.

Прогноз шквалів за методом Г.Д. Решетова. Прогноз шквалу за цим методом на короткий відрізок часу (9...12 год) більш виправданий. Але цей спосіб також може бути застосований для орієнтовного прогнозу, що має упередженість до 24...36 год.

Порядок складення прогнозу шквалу:

1. За нічними та ранковими картами дається оцінка синоптичного положення, яке потім порівнюється з умовами, що сприяють або не сприяють розвитку шквалу.

2. За прогностичною кривою стратифікації розраховуються параметри: ΔT , $\sum_{850}^{500} \Delta T'$, $\bar{V}$.

Графік, представлений на рис.2.17, враховує ступінь нестійкості атмосфери в шарі 850...500 гПа. Тут по осі ординат представлений параметр ΔT_3^{500} - різниця між максимальною температурою біля поверхні землі перед шквалом та температурою повітря на рівні 500 гПа за цей самий строк; по осі абсцис відкладені значення $\Delta T = T_{3 \text{ max}} - T_{3 \text{ м}}$, $^\circ\text{C}$ - різниця між максимальною температурою повітря біля поверхні землі перед шквалом ($T_{3 \text{ max}}$) та температурою низхідної течії холодного повітря ($T_{3 \text{ м}}$), яке витікає з-під Сб і дає явище шквалу.

Ця температура дорівнює нульовій температурі змоченого термометра $T_{3 \text{ м}}$ на висоті 600...700 гПа, яка приведена до тиску біля поверхні землі. На аерологічній діаграмі $T_{3 \text{ м}}$ встановлюють таким чином:

1) знаходимо точки перехрестя нульової ізотерми з кривою вологості (точка А) та кривою стратифікації (точка В) (рис. 2.18);

2) на нульовій ізотермі знаходимо точку С, що ділить відрізок АВ на дві рівні частини. Приблизно у цій точці температура змоченого термометра буде дорівнювати $0 \text{ }^\circ\text{C}$. З точки С вздовж вологої адіабати переміщуємося до приземної ізобари ($p = p_0$), де відраховуємо значення $T_{3 \text{ м}}$;

Прийнято вважати, що швидкість вітру при шквалах залежить від двох компонентів. Перший компонент - швидкість низхідного потоку холодного повітря у шкваловій хмарі, він враховується через величину $T_{3 \text{ м}}$. Другий компонент - перенос великих швидкостей (великої кількості руху) з верхніх рівнів до поверхні землі низхідним потоком холодного повітря.

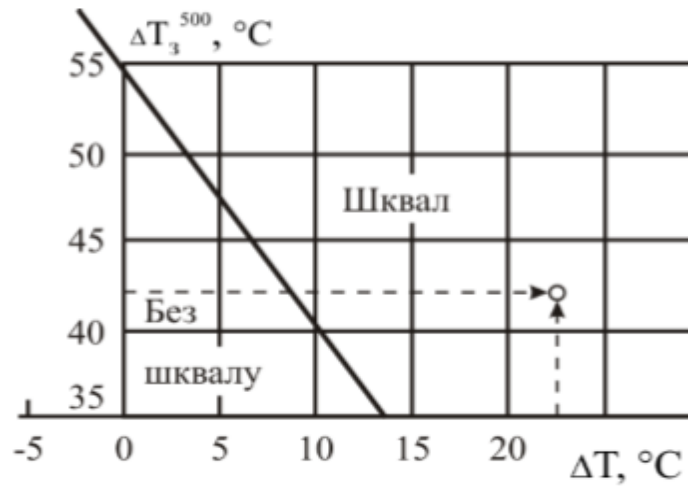


Рисунок 2.17– Графік для прогнозу шквалів за значеннями параметрів ΔT , ΔT_3^{500}

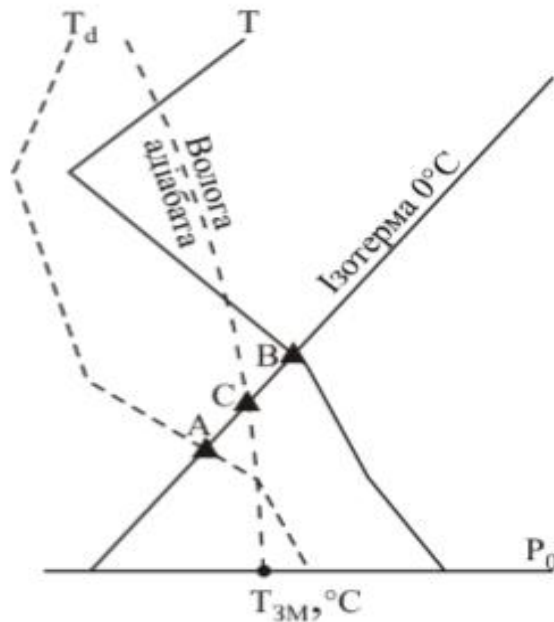


Рисунок 2.18– Встановлення нульової температури змоченого термометра $T_{3м}$, що приведена вологоадіабатично до тиску біля поверхні землі: 1 - крива стратифікації температури; 2 - крива точки роси; 3 - допоміжна крива

Графік на рис. 2.19 враховує швидкість низхідного потоку повітря в шкваловій хмарі , де

$$\bar{U} = \frac{U_z + U_{850} + U_{700} + U_{500}}{4} .$$

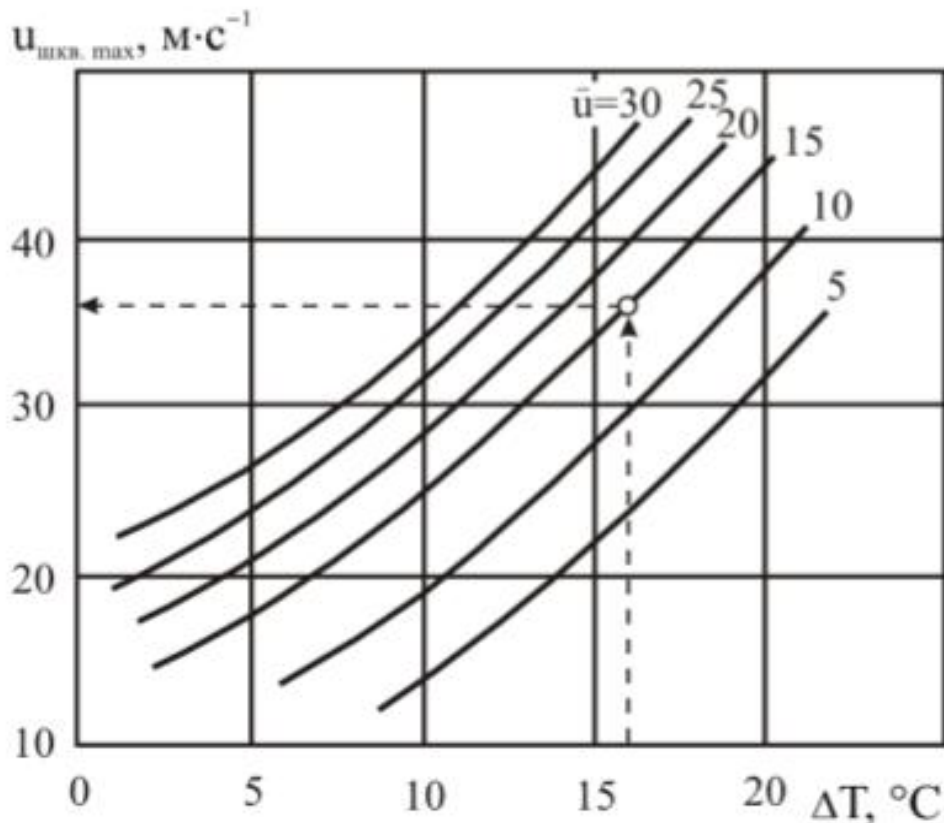


Рисунок 2.19– Графік для розрахунку максимальної швидкості вітру при шквалі

Графік, що представлений на рис. 2.20, враховує перенос кількості руху з верхніх рівнів донизу. По осях відкладені:

$$\bar{V} = \frac{V_z + V_{850} + V_{700} + V_{500}}{4}$$

– середня швидкість вітру у нижньому п'ятикілометровому шарі, де V_{500} , V_{700} , V_{850} , $V_{\text{земля}}$ – швидкість вітру на рівнях 500, 700, 850 гПа та біля поверхні землі;

$\sum_{850}^{500} \Delta T'$ – сума відхилень кривої стану від кривої стратифікації на рівнях 850, 700, 600 та 500 гПа;

ΔT_3^{500} – різниця між максимальною температурою біля поверхні землі перед шквалом та температурою повітря на рівні 500 гПа за цей самий строк.

Шквал вказується в прогнозі у випадку, якщо і синоптична ситуація, і сполучення термодинамічних параметрів свідчать про сприятливі умови для його розвитку.

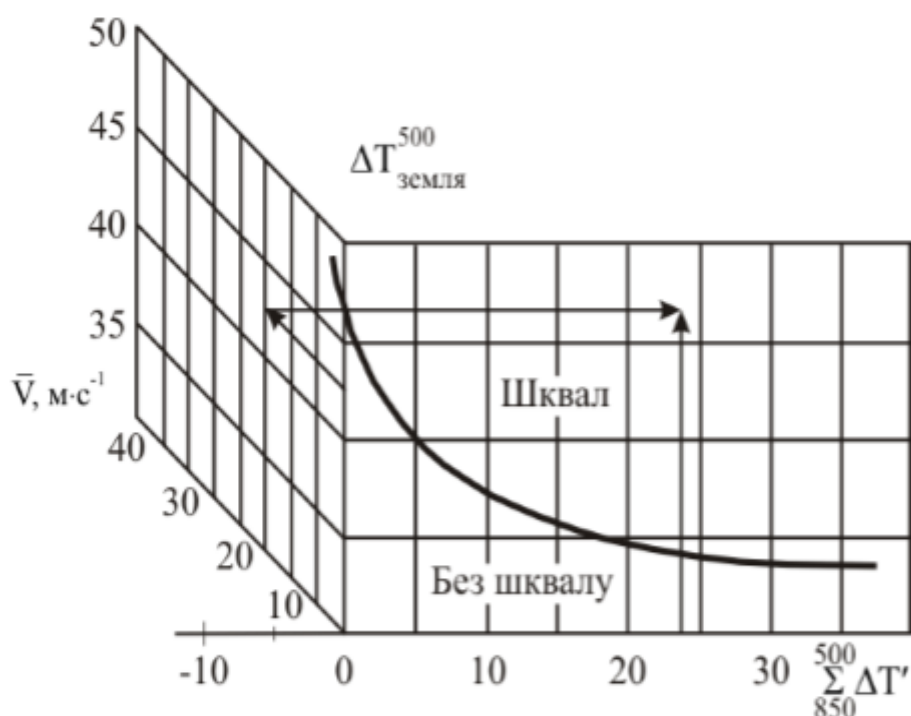


Рисунок 2.20– Графік для прогнозу шквалу за значеннями параметрів $\sum_{850}^{500} \Delta T', \Delta T_3^{500}, \bar{V}$.

Прогноз шквалів за методом Б.Є. Пєскова і О.І. Снітковського.
Метод Б.Є. Пєскова і О.І. Снітковського базується на залежності між максимальною швидкістю вітру при шквалах, потужністю S_b , сумою швидкостей вітру у шарі земля - 500 гПа.

Якщо очікується проходження фронтальних розділів (холодних фронтів, фронтів оклюзії, фронтів з хвилями, ліній нестійкості), будується прогностична крива стратифікації. При цьому повинні виконуватися наступні умови:

1) фронти повинні знаходитись на відстані 150 км від пункту прогнозу.

$$2) \frac{\partial T}{\partial n} \geq 7^\circ\text{C} / 750 \text{ км}$$

Граденти температури вимірюються за даними максимальних температур минулого дня (відкладається 500 км у бік холодного та 250 км у бік теплого повітря). Якщо вказані вище умови виконуються, за прогностичними кривими стратифікації будується модель конвекції, по якій встановлюються запаси енергії нестійкості і зволоження у шарі 700...500 гПа та зіставляються з їх критичною величиною;

$$3) \sum_{700}^{500} (T' - T) \geq 3^\circ\text{C}$$

$$4) \sum_{700}^{500} (T' - T_d) \leq 25^\circ\text{C}$$

Якщо виконуються умови 3 та 4, розраховується потужність хмари (ΔH , гПа) як різниця тиску на рівнях конденсації і конvekції та сума швидкостей вітру $\sum_3^{500} V$ (складаються швидкості вітру біля поверхні землі і на рівнях 850, 700 та 500 гПа). Швидкість вітру знімається у початкових точках траєкторії. За потужністю хмари (ΔH , гПа) та сумою швидкостей $\sum_3^{500} V$ за графіком (рис. 2.21а) визначається можливість розвитку шквалу. Якщо очікується розвиток шквалу, по графіку (рис. 2.21б) за допомогою величини $\sum_3^{500} V$ встановлюємо максимальну швидкість при шквалі.

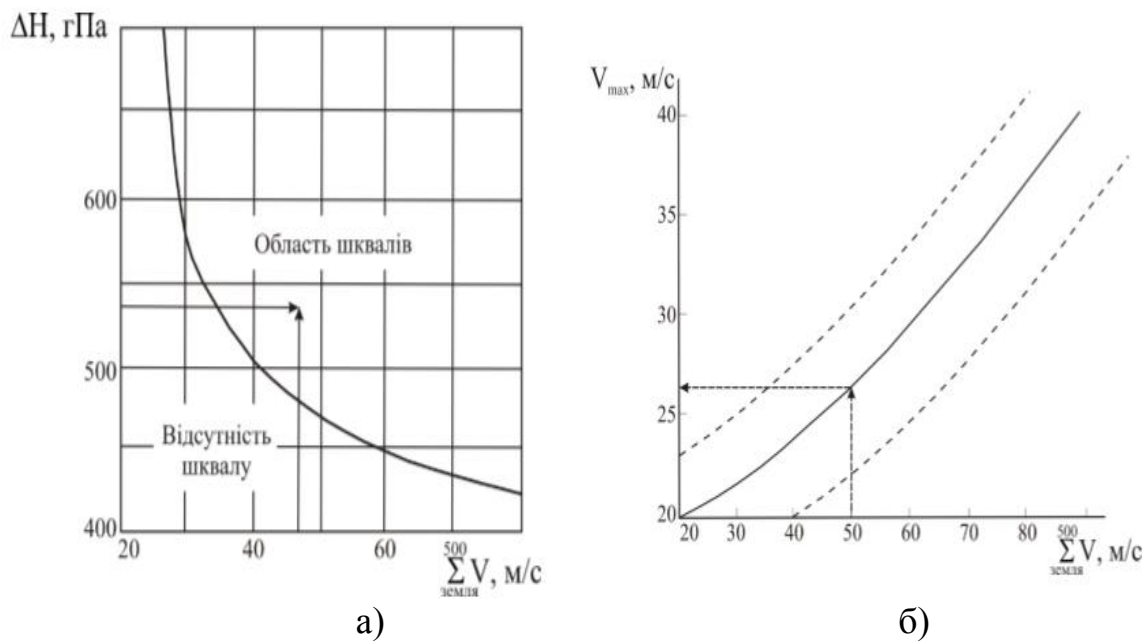


Рисунок 2.21 – Зв'язок між потужністю хмари та сумою швидкостей вітру у шарі земля - 500 гПа. (а), зв'язок між максимальною швидкістю вітру при шквалі та сумою швидкостей вітру у шарі земля - 500 гПа (б)

Контрольні питання

1. Дати визначення явища «шквал».
2. Як поділяють шквали за інтенсивністю?
3. Яка стратифікація атмосфери сприятлива для виникнення шквалу?
4. Дати характеристику комплексу метеорологічних умов при виникненні шквалів?
5. Які синоптичні умови є найсприятливішими для виникнення шквалів?
6. В чому полягає суть методики прогнозу шквалів Г.Д. Решетова?

7. Як розрахувати максимальну швидкість вітру за методом Б.Є. Пєскова і О.І. Снітковського?

Завдання

1. Скласти прогноз шквалу за датами вказаними викладачем для м. Києва, м. Львова, м. Одеса, м. Кривий Ріг за методами Г.Д. Решєтова та Б.Є. Пєскова і О.І. Снітковського.

Вихідні матеріали

1. Приземні карти погоди і прогностичні значення p_0 , T , T_d та V за даними сайту http://rawinsonde.com/ERA5_Europe/.
2. Супутникові знімки за зазначені дати за даними сайту http://www.eumetrain.org/ePort_MapViewer/index.html

Звітні матеріали

1. Аналіз синоптичних умов виникнення шквалів.
2. Бланк аерологічної діаграми з побудованими кривими.
3. Текст прогнозу шквалу по пунктах (у робочому зошиті).

Література до розділу 2

1. Балабух В.О. Сучасний стан прогнозування природної пожежної небезпеки за умовами погоди в Україні// 19 Всеукраїнська науково-практична конференція „Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”. 2017. С.7-8.
2. Губенко И. М., Рубинштейн. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности. //Тр. Гидрометеоролог. научно-исследоват. центра Российской Федерации. 2012. № 347. С. 207–222.
3. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы её определения. Москва: Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
4. Івус Г.П. Практикум зі спеціалізованих прогнозів погоди. Одеса: Екологія, 2007. 321 с.
5. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди. Одеса: ТЕС, 2012. 407 с.
6. Goncalves Z. J., Lourenco L. Meteorological index of forest fire risk in the Portuguese main land territory. *Proceedings of the International Conference on Forest Fire Research*. Coimbra, 1990. B07.Pp.1-14.
7. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста / Сніжко С.І., Шевченко О.Г. Київ: Видавництво географічної літератури «Обрії», 2011. 297 с.

8. Kovács, A., Mészáros, R., Leelőssy, Á., Lagzi, I. Air pollution modeling in urban environment using WRF-Chem model. *Proceedings of the 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 2016.
9. Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя [1986 – 2005pp.] / за ред. В.М.Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М.Бабіченко. Київ: Вид-во “Ніка-Центр”, 2006. 312 с.
10. Юсупов Ю.И. Метод прогноза шквалов с использованием термодинамических параметров атмосферы и потенциального вихря Эртеля // Метеорология и гидрология. 2013. № 11. С. 55–63.
11. УкрГМІ: URL: <http://accuweather.org.ua/nwp/tabpage.php> (дата звернення: 25.02.2021).
12. Forecasting dust storms using the CARMA-dust model and MM5 weather data /B. H. Barnum, N. S. Winstead, J. Wesely et al. *Environmental Modelling and Software*. 2004. Vol. 19. no. 2. Pp. 129-140.
13. Application of machine learning to large hail prediction-The importance of radar reflectivity, lightning occurrence and convective parameters derived from ERA5/Czernecki B., Taszarek M., Marosz M. et al. *Atmos. Res.* 2019. 227. Pp. 249-262. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.010>
14. S. Goudie. *Journal of Environmental Management*. 2009. Vol. 90. no. 1, Pp. 89–94.
15. Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assesment System (ForecastMaps).
URL: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/SDS/warnings> (дата звернення: 5.03.2021)
16. Climatological aspects of convective parameters over Europe: a comparison of ERA-Interim and sounding data. /Taszarek M., Brooks H. E. et al. *J. Clim.* 2018. 31. Pp. 4281-4308, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0596.1>.

3 ПРОГНОЗИ ПОГОДИ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

3.1 Вплив несприятливих явищ погоди на транспортну галузь

Залізничний транспорт (ЗТ) є одним із головних видів сполучення і перевезення вантажів в Україні, має свою специфіку роботи, з чим і пов'язані особливості впливу на нього умов погоди. Залізничні колії розміщені під відкритим небом, тому несприятливі умови погоди здійснюють вплив не лише на колії і споруди, але і на рухомий склад, а НЯ і СГЯ ставлять під загрозу безпеку руху.

Найбільш складні умови роботи ЗТ спостерігаються у зимовий період, коли особливу небезпеку становить *хуртовина*, яка супроводжується *снігопадом і сильним вітром*, спричинює замети колій і ускладнює переведення стрілок, а на боротьбу із сніговими заметами витрачаються величезні кошти.

Робота залізничного транспорту тісно пов'язана з *температурою повітря*, яка здійснює безпосередній вплив на рейки. При температурі $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче відбувається скорочування рейок, збільшення зазорів і розрив стику. Крім того, при сильних морозах збільшується в'язкість колісного мастила і зменшується швидкість руху составу, що веде до перевитрати палива та електроенергії при дотримуванні графіка руху. При низьких температурах (з урахуванням швидкості вітру) зменшується можливість поточного ремонту рухомого складу та інших видів робіт на відкритому повітрі.

У теплу пору року під впливом високої температури ($+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище) рейки довшають, що призводить до згону стиків, утворенню «сліпих зазорів» і викиду рейок. Температура повітря також впливає на стан дротів: висока ($+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище) і низька ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче) температури спричиняють відповідно провисання або скорочення довжини дротів, що, в свою чергу, може призвести до їх дотику або розриву.

Із-за погіршення видимості в тумані, опадах, хуртовині на залізничних станціях припиняються деякі види маневрових, сортувальних і шляхових робіт.

До небезпечних гідрологічних явищ, що впливають на роботу ЗТ, відносяться *паводки, високі рівні води в період весняної повені, затори на ріках*, які спричиняють значні підйоми рівня води.

Використання гідрометеорологічної інформації в оперативному управлінні та плануванні на залізних шляхах дозволяє забезпечувати безперервну і безпечну їх роботу, зменшити збитки від НЯ і СГЯ та знизити собівартість перевезень, забезпечуючи додатковий прибуток.

Для оптимального режиму роботи ЗТ необхідна наступна спеціалізована гідрометеорологічна інформація:

- прогнози погоди на поточний день, добу, наступні дві доби, тиждень, місяць;
- штормові попередження про НЯ та СГЯ (ожеледь, сильні морози $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче, хуртовини, снігові замети, сильні снігопади і дощі, грози, тумани, спека $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище, високі рівні води у річках, які призводять до пошкодження і руйнування різноманітних залізничних споруд);
- довгострокові гідрологічні прогнози термінів скресу і максимальних рівнів весняної повені на річках, появи льодових утворень на річках;
- щоденна гідрологічна інформація і щоденні доповіді про гідрологічну ситуацію на річках у період весняної повені;

Автомобільний транспорт (АТ) менше ніж залізничний прив'язаний до географічного району, так як розгалуженість автомобільних шляхів збільшує маневреність, сприяє більш широкому вибору шляху слідування. Проте виробнича діяльність АТ, ремонтні роботи та роботи по утриманню доріг також здійснюються на відкритому повітрі і тому залежать від стану погоди, особливо в зимовий і перехідні сезони.

Хуртовини, снігопади, поземки, ожеледь, ожеледиця, тумани в осінньо-зимовий період створюють великі труднощі для роботи галузі. Але до найбільш небезпечних явищ відноситься *ожеледиця*, яка знижує зчеплення дорожнього покриття у порівнянні з сухим в 5...10 разів, збільшуючи гальмовий шлях, що є причиною дорожньо-транспортних пригод і аварій. Найбільш небезпечний *гладкий льодяний покрив*, що утворюється при випадінні переохолоджених дощових крапель на шлях при температурі нижче $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Снігопади і хуртовини викликають замети на дорогах, які можуть стати непроїзними при тривалій відсутності снігоочисної техніки, створюючи при цьому великі втрати робочого часу. Вони сприяють також погіршенню видимості на шляхах, що призводить до уповільнення чи припинення руху.

Низькі температури повітря ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче) ускладнюють експлуатацію автотранспортних засобів (запуск двигуна, необхідність прогрівання масла, утеплення радіаторів та акумуляторів), збільшують витрату палива.

При підвищенні температури повітря до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище асфальтове полотно автодоріг стає м'яким та пластичним і може ушкоджуватись рухомим автотранспортом. При сухій і спекотній погоді на ґрунтових дорогах утворюється курява, яка піднімається рухомим транспортом і різко погіршується видимість особливо при слабкому вітрі.

На протязі всього року небезпечними є *тумани*, оскільки видимість — одна із найважливіших умов, що визначає безпеку руху. При зниженні видимості в тумані до 50 м і менше рух автотранспорту припиняється. До

погіршення видимості призводить також *випадіння інтенсивних опадів, пилова (піщана) буря*.

У теплу половину року *зливи і тривалі дощі* створюють несприятливі умови для роботи АТ особливо в сільській місцевості на ґрунтових дорогах, викликають затоплення низьких ділянок доріг або їх розмивання.

У всі пори року вітер швидкістю $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ і більше наносить серйозні ушкодження захисним смугам уздовж доріг, може викликати завали лісу на дорогах. При сильному вітрі пісок і сіль здуваються з дороги, а при зустрічному зменшується швидкість автомобілів.

Спеціалізовані гідрометеорологічні прогнози для АТ складаються на поточний день, добу і наступні дві доби, а штормові попередження про небезпечні та несприятливі для даної галузі явища погоди – при виявленні загрози їх виникнення. Прогнози деталізуються в залежності від характеру очікуваної погоди та місцевих фізико-географічних особливостей району, по якому проходить дорога. Для організацій, що здійснюють автотранспортні перевезення, розробляються маршрутні прогнози.

Для оптимального режиму роботи АТ та функціонування автомобільних доріг необхідна наступна спеціалізована гідрометеорологічна інформація:

- прогнози погоди по автотрасах на поточний день, добу, наступні дві доби;
- штормові попередження про НЯ та СГЯ (хуртовини, тумани, пилові бурі, ожеледиця, грози, вітер швидкістю $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ і більше, шквали, сильні дощ та сніг, сильні морози -25°C і нижче, підвищення температури повітря до $+30^\circ\text{C}$ і вище, перехід температури через 0°C);
- поточні гідрометеорологічні дані;
- гідрологічні дані про рівні води на річках поблизу мостів;
- кліматичні та гідрометеорологічні матеріали (щомісячники, щорічники, довідники тощо);

3.2 Прогноз ожеледі та ожеледиці

Ожеледь – це відкладення льоду на різних предметах (переважно з навітряного боку) або на поверхні землі зумовлені осадженням та замерзанням переохолодженого дощу, мряки або крапель туману за від’ємної температури у приземному шарі повітря. Інтенсивність ожеледі визначається товщиною (мм) відкладеного льоду.

В залежності від структури відкладеного атмосферного льоду розрізняють п’ять видів обледеніння: *ожеледь, зернисту і кристалічну паморозь, складні відкладення ожеледі та паморозі, замерзлі відкладення (налипання) мокрого снігу* (рис. 3.1). Відкладення ожеледі на різних предметах утворюються при осіданні та замерзанні переохолоджених



Ожеледь



Ожеледиця



Кристалічна паморозь



Зерниста паморозь



Налипання мокрого снігу



Складні відкладення ожеледі та паморозі

Рисунок 3.1 – Ожеледно-паморозеві утворення

крапель води (тобто при наявності туману, мряки, дощу, коли температура повітря нижче нуля градусів), замерзанні мокрого снігу, що осідає, сублімації водяної пари.

В результаті першого процесу виникає ожеледь або зерниста паморозь (більш щільний снігоподібний і крихкий осад). При сублімації водяної пари і замерзанні дуже дрібних крапель формується кристалічна паморозь,

що являє собою білий осад ажурної кристалічної будови. Ожеледь є найщільнішим видом відкладення атмосферного льоду ($0,6 \dots 0,9 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$), а його маса на 1 м погонної довжини ожеледного станка коливається від декількох грамів до $400 \dots 500 \text{ г}$. Найменша щільність у кристалічній паморозі – $0,01 \dots 0,08 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$.

Ожеледь діаметром відкладень на проводах стандартного ожеледного станка 6-19 мм – НМЯ I, сильна ожеледь 20-39 мм – СМЯ II та надзвичайна ожеледь $\geq 40 \text{ мм}$ – СМЯ III, при будь-якої тривалості.

Паморозь діаметром 50 мм та більш також відносять до небезпечного метеорологічного явища.

На дорогах лід може утворюватись при морозі після відлиги або випадіння дощу на холодну поверхню. Це явище дещо відрізняється від обледеніння предметів, які знаходяться над землею. Його звичайно називають *ожеледицею*.

Мокрий сніг – опади у вигляді лапатоного снігу за позитивної температури повітря близької до 0°C . До критерію НМЯ I відноситься налипання мокрого снігу з діаметром 11-34 мм, сильне налипання мокрого снігу (СМЯ II) – 35-49 мм, надзвичайне налипання мокрого снігу (СМЯ III) – $\geq 50 \text{ мм}$, при будь-якої тривалості.

Складні відкладення ожеледі та паморозі – послідовне утворення декількох різних видів обледеніння (ожеледі, паморозі, мокрого снігу та інше). Їх поєднання може бути різним як за послідовністю відкладення, так і за кількістю видів. Найнебезпечнішими є відкладення, які складаються з ожеледі та зернистої паморозі, тому що їм властива значна щільність і маса. Складні відкладення з діаметром 11-34 мм відносять до НМЯ I, сильні складні відкладення ожеледі та паморозі (СМЯ II) – 35-49 мм, надзвичайні складні відкладення ожеледі та паморозі (СМЯ III) – $\geq 50 \text{ мм}$, при будь-якої тривалості.

Особливості просторово-часового розподілу ожеледно-паморозевих явищ

Повторюваність ожеледі звичайно характеризується середнім числом днів (і випадків) по місяцях і за рік. Розподіл ожеледно-паморозевих явищ по території залежить від широти місця, характеру атмосферних процесів, форми (типу) рельєфу, експозиції схилів і висоти станції над рівнем моря.

Число днів з ожеледдю у більшості районів Східної Європи коливається від 1...3 до 12 днів на рік. На підвищених місцях (райони Донецького кряжу, Середньо-Руської височини та Українських Карпат) спостерігається збільшення її повторюваності до $40 \dots 50$ днів на рік.

Тривалість періоду, на протязі якого може спостерігатися ожеледь, зменшується з півночі на південь Східної Європи. На Крайній Півночі перші його відкладення відмічаються у вересні, останні – у травні і навіть червні. На півдні ожеледь спостерігається звичайно з середини листопада

до половини березня. Найчастіше утворення ожеледі відбувається у грудні та січні, коли відмічається і найбільша кількість його значних відкладень (діаметром більше 10 мм).

Добовий хід імовірності ожеледі також становить певний практичний інтерес. На Україні найчастіше утворюється ожеледь в період між 6...9 год (паморозь – 3...6), а найменше число випадків – вдень (від 12 до 15 год).

. На території України найчастіше наростання ожеледі та паморозі триває 1...12 год (близько 90% випадків). Загальна тривалість збереження ожеледі та паморозі на дротах і предметах мінлива. Проте у ряді районів їх відкладення можуть зберігатися протягом багатьох діб підряд (до 12...15 діб - Донецьк, Волноваха, Ай-Петрі та ін.). В Україні найбільша тривалість періоду утворення ожеледі за холодний сезон досягала 197 днів, а паморозі - 120 днів.

Величина відкладень ожеледі і паморозі визначається комплексом причин: виглядом та інтенсивністю опадів (або розміром переохолоджених крапель та їх кількістю), швидкістю вітру, кутом між напрямом потоку і площиною предмета, а також тривалістю процесу наростання.

Тривалість та інтенсивність ожеледно-паморозевих явищ в більшій мірі залежить від орографічних особливостей місцевості. Найбільш тривалі та інтенсивні ожеледні утворення спостерігалися на добре зволжених ділянках гір. Так, вододільні плато і височини, їх навітряні схили (VI і VII типи рельєфу) характеризуються середнім числом днів (випадків) з ожеледдю в 8...9 разів (а паморозь - в 4...6 разів) більшим, ніж місця, добре захищені височинами (I тип рельєфу) і приблизно в 2...3 рази більшим, ніж відкриті рівнинні місця (III тип рельєфу).

Оскільки при обмерзанні дротів руйнівна дія ожеледі визначається не лише величиною відкладення льоду і тривалістю його перебування на предметах, але і швидкістю вітру, що спостерігається при цьому, то найчастіше пошкодження повітряних ліній зв'язку і електропередач відбувається саме в таких умовах рельєфу.

Метеорологічні та синоптичні умови утворення ожеледі і паморозі

Прогноз ожеледно-паморозевих явищ перш за все базується на чіткому уявленні про особливості метеорологічних і синоптичних умов їх виникнення.

Метеорологічні умови, при яких відбувається виникнення ожеледі, різноманітні і багато в чому залежать від широти місця, фізико-географічних умов району і особливостей синоптичних процесів. Найчастіше відкладення ожеледі відбувається при мряці або її поєднанні з туманом (50% випадків), дещо рідше - при дощі з туманом, а також при переохолодженому (крижаному) дощі (у цих випадках ожеледь досягає значних розмірів). Найчастіше відкладення ожеледі спостерігається при температурі повітря біля землі від 0 до -6 °C і від 2 до -10 °C на рівні

поверхні 850 гПа. Нижче $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура повітря при ожеледі не опускалася.

Переважає більшість випадків утворення ожеледі супроводжується інверсійним розподілом температури в граничному шарі тропосфери. Імовірність її відкладень також залежить від рівня кристалізації, який приблизно співпадає з положенням ізотерми $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найбільш сприятливі умови створюються при її розташуванні на рівні 2...3 км.

Напрямок і швидкість вітру при виникненні ожеледі впливають на інтенсивність і ефективність його відкладень, тому прогнозу цих величин слід надавати більше уваги. Над Україною близько 70% випадків ожеледі спостерігається при східних і південно-східних вітрах. Утворення ожеледі звичайно відбувається при швидкості вітру від 2 до $8\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (70...80% випадків), при штилях і сильному (більше $12\text{...}15\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) вітру вона спостерігається рідко.

Залежно від *синоптичних умов* виникнення розрізняють фронтальні і внутрішньомасові ожеледі.

Фронтальна ожеледь звичайно утворюється в холодному повітрі перед фронтами за типом теплих. Найбільш значною вона буває перед теплими фронтами, що характеризуються великими контрастами температури не тільки в нижній тропосфері, але і біля поверхні землі, а також добре виявленими в полі хмарності і опадів. На холодних фронтах ожеледь, як правило, утворюється при виникненні хвильових збурень, причому переважно в передній частині хвилі.

Сильна паморозь частіше виникає на західній периферії стаціонарних антициклонів, а мокрий сніг і суміш - при проходженні фронтів оклюзії із заходу (60% випадків).

Внутрішньомасова ожеледь найчастіше утворюється в потоці теплого повітря над холодною підстильною поверхнею. Це відбувається у двох характерних випадках: у західному потоці повітря морського походження, яке надходить на Східну Європу по південній периферії циклонів, що проходять по півночі; у південному потоці теплого повітря, яке розповсюджується по західній периферії сибірського антициклону.

Методи прогнозу ожеледі

В теперішній час в оперативній роботі гідрометеорологічних служб використовується декілька методів прогнозу ожеледі. Найбільше поширення отримали методи, розроблені М.М. Волевахою (для України), Р.А. Ягудіним (для Західного Сибіру) та декілька інших методик.

Для прогнозу внутрішньомасової ожеледі за методом М.М. Волевахи, який характеризується певною простотою, слід знайти на синоптичних картах всі зони, де є сприятливі умови для її утворення: низькі (нижче 300 м) шаруваті хмари, що дають опади (у вигляді мряки і слабкого дощу), невеликі від'ємні температури повітря біля поверхні землі, а також зони

тепліх фронтів, які поділяють повітряні маси з від'ємною і додатною температурою.

Далі слід дати прогноз переміщення зони або ділянки фронту з ожеледдю і у разі імовірності виникнення цього явища в пункті прогнозу, побудувати зворотну траєкторію переміщення повітряної маси проти напрямку потоку на заданий проміжок часу. Пункт розрахунку ожеледі в такому випадку є кінцевою точкою, а знайдена за допомогою методу побудови траєкторії точка буде початковою. Прогноз для пункту (або ряду пунктів) уточнюють на основі кореляційного зв'язку між $(H_{1000}^{850})_{np}$ та імовірністю утворення ожеледі за рис.3.2.

Розрахунок ожеледі здійснюють у такій послідовності:

$$(H_{1000}^{850})_{np} = (H_{1000}^{850})_{\phi} + (\Delta H_{1000}^{850})_a + (\Delta H_{1000}^{850})_{mp}, \quad (3.1)$$

де $(H_{1000}^{850})_{\phi}, (\Delta H_{1000}^{850})_a, (\Delta H_{1000}^{850})_{mp}$ - фактичні значення, адвективні і трансформаційні зміни H_{1000}^{850} , відповідно.

Перший доданок $(H_{1000}^{850})_{\phi}$ рівняння (3.1) розраховують у пункті прогнозу, який є кінцевою точкою переміщення повітряної маси, як висоту перевищення поверхні 850 гПа над поверхнею 1000 гПа за формулою:

$$(H_{1000}^{850}) = H_{850} - H_{1000}, \quad (3.2)$$

де $H_{1000} = 0,8(P_0 - 1000)$.

Другий доданок $(H_{1000}^{850})_a$, адвективна складова рівняння (3.1), обчислюється за формулою (3.3), як різниця висоти перевищення поверхні 850 гПа над поверхнею 1000 гПа в початковій та кінцевій точці траєкторії:

$$(H_{1000}^{850})_a = (H_{1000}^{850})_n - (\Delta H_{1000}^{850})_k. \quad (3.3)$$

Третій доданок, трансформаційні зміни $(\Delta H_{1000}^{850})_{mp}$, залежать від адвективних змін температури повітря:

$$(\Delta H_{1000}^{850})_{mp} = 0,47 \Delta T_{mp}, \quad (3.4)$$

де $\Delta T_{mp} = (\Delta T_{850} + \Delta T_{\text{земля}})/2$. Значення ΔT_{850} та $\Delta T_{\text{земля}}$ знаходять як різницю температур у початковій та кінцевій точках на поверхні 850 гПа та біля поверхні землі відповідно.

Імовірність відкладення ожеледі визначають за допомогою графіка (рис. 3.2), додатково враховуючи такі умови: при значенні H_{1000}^{850} , що дорівнює 130...132 гп. дам, ожеледь слід чекати, якщо на рівні 850 гПа прогностична температура буде $\geq 1^{\circ}\text{C}$ при від'ємній температурі біля поверхні землі; якщо $H_{1000}^{850} < 128$ гп. дам, то при проходженні фронту сильна ожеледь (діаметром більше 20 мм) не спостерігається.

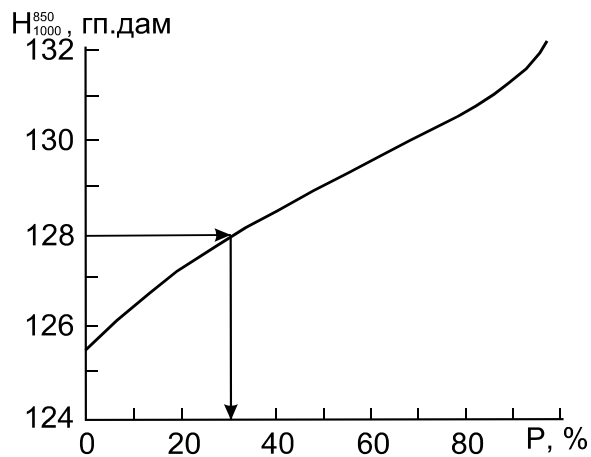


Рисунок 3.2 –Графік для прогнозу імовірності утворення ожеледі

Прогноз паморозі зводиться до прогнозу туману і серпанку при від'ємних температурах повітря біля поверхні землі.

Прогноз фронтальної ожеледі за значеннями температури повітря біля земної поверхні (T_0) і на рівні 850 гПа (T_{850}), можна дати за прогностичним графіком (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 –Залежність формування фронтальної ожеледі від значень T_0 і T_{850}

Демаркаційна лінія на графіку обмежує зону можливого формування фронтальної ожеледі з хорошою забезпеченістю (97%).

Значення температури повітря біля земної поверхні і на рівні 850 гПа прогножуються звичайними методами.

Ще один імовірнісний метод прогнозу ожеледі пов'язує можливість її утворення з температурою повітря і дефіцитом точки роси біля землі; криві лінії на рис. 3.4 поділяють всю площину на зони з різною імовірністю виникнення ожеледі.

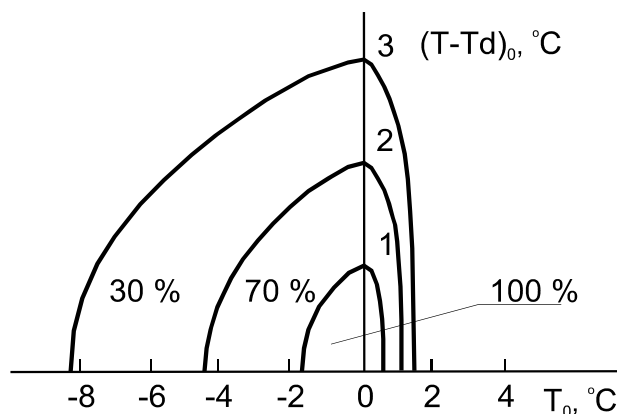


Рисунок 3.4 –Графік для визначення імовірності виникнення ожеледі

В основі методу прогнозу ожеледі Р.А. Ягудіна покладена залежність утворення ожеледі від температури повітря біля поверхні землі і на рівні АТ-850 гПа, а також висоти ізотерми -10°C , тобто від рівня природної кристалізації.

Прогноз ожеледі повинен ґрунтуватися на аналізі, а потім на прогнозі факторів, які призводять до утворення ожеледі, в кожному конкретному випадку і районі. Пропонується така схема прогнозу:

1. За картою АТ-700 гПа за вихідний строк визначається траєкторія повітряних частинок на момент, коли очікується проходження зони теплового фронту (оклюзії, хвильових збурень);

2. У початковій точці траєкторії, перенесеній на АТ-850 гПа, знімається температура T_{850} , а на аерологічній діаграмі знаходиться висота ізотерми -10°C .

3. За допомогою розрахункових методів визначається температура T_z біля поверхні землі в пункті на період прогнозу.

4. За вихідними значеннями T_{850} і T_z за допомогою прогностичного графіка (рис. 3.5 а) встановлюється можливість утворення ожеледі. В прогнозі ожеледь вказується у тому випадку, якщо точка з вихідними координатами T_{850} і T_z попадає в зону «ожеледь».

Передбачувана інтенсивність ожеледі оцінюється за графіком (рис. 3.5б). При цьому використовується прогностична температура T_z біля поверхні землі і висота ізотерми -10°C (H_{-10}). На графіку виділено три зони: помірна, слабка ожеледь, без ожеледі.

Якщо по одному із графіків прогнозується ожеледь, а по іншому – її відсутність, то в прогнозі вказується можливість виникнення слабкої ожеледі.

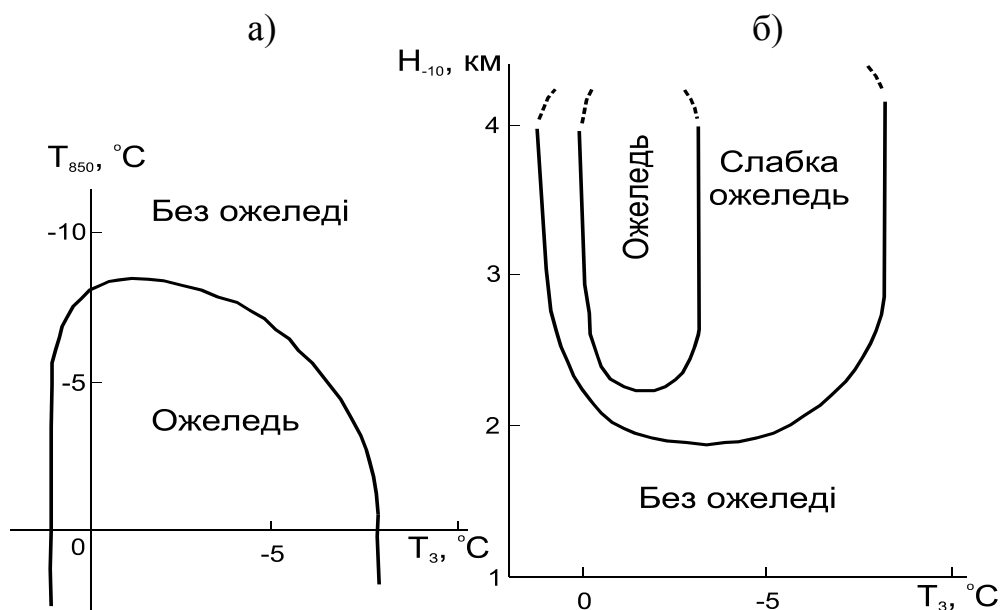


Рисунок 3.5 –Графіки для прогнозу ожеледі

Контрольні питання

1. Назвіть види обледеніння в залежності від структури відкладеного атмосферного льоду.
2. При випадінні яких опадів найчастіше спостерігається відкладення ожеледі?
3. В якому діапазоні температур біля поверхні землі найчастіше спостерігається утворення ожеледі?
4. При яких типах атмосферних процесів спостерігаються найбільш тривалі та інтенсивні ожеледні явища в Україні?
5. Як рельєф місцевості впливає на відкладення ожеледі?
6. Ожеледь якої інтенсивності буде вважатися стихійним гідрометеорологічним явищем?
7. Назвіть синоптичні та метеорологічні умови утворення паморозі.
8. Які методи прогнозу ожеледі розроблені для території України?

Завдання

Розрахувати імовірність утворення ожеледі за методом М.М. Волевахи та скласти штормове попередження для заданого пункту за датами вказаними викладачем.

Вихідні матеріали

Приземні карти погоди, карти баричної топографії АТ-850, карти штормових сповіщень.

Методичні вказівки

Оцінити синоптичні процеси та сформулювати попередній висновок про імовірність утворення ожеледних явищ.

1. Побудувати зворотну траєкторію переміщення повітряної маси на рівні землі та відповідній висоті геопотенціальної поверхні АТ-850 гПа для одного із заданих пунктів на проміжок часу 24 години за допомогою моделі HYSPLIT для визначення початкової точки переносу повітряної маси та адвективних значень температури повітря і геопотенціальної висоти. Як приклад наведена траєкторія переміщення (рис. 3.6).

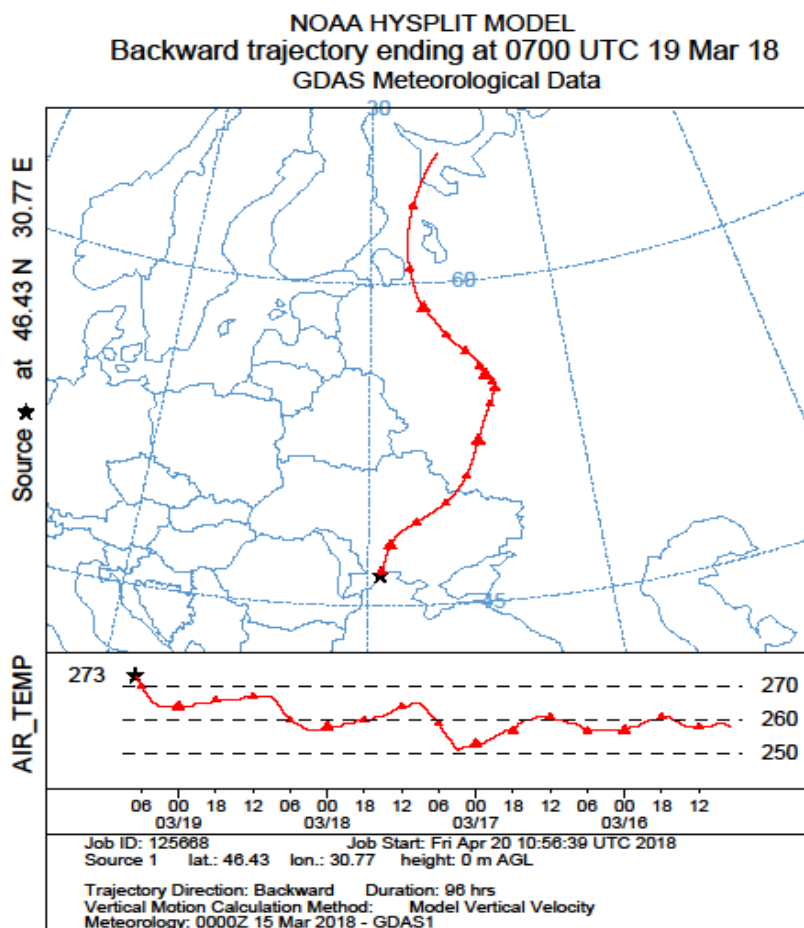


Рисунок 3.6 – Траєкторія переміщення повітряної маси та адвекція температури повітря на 07 UTC. 19.03.2018 р.

2. Побудову траєкторії слід виконувати у наступній послідовності:
- *переходимо по посиланню: https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php*
 - *обираємо архів траєкторій: Compute archive trajectories*
 - *всі параметри залишаємо за замовчуванням, натискаємо кнопку: next*
 - *задаємо пункт розрахунку за одним із запропонованих варіантів, натискаємо кнопку: next*
 - *в архівному файлі обираємо необхідний часовий інтервал, натискаємо кнопку: next*
 - *вказуємо розрахункові параметри:*
 - а) Trajectory direction: зворотній напрямок траєкторії Backward
 - б) Start time (UTC): дату і час МСЧ
 - в) Total run time (hours): часовий інтервал траєкторії 24 години
 - г) Level 1, 2 height: рівні висоти побудови траєкторії 0 та 1500 м.
 - д) Plot meteorological field along trajectory?: змінити на yes для виводу значення параметрів на діаграму
 - е) Dump meteorological data along trajectory: обираємо AIR_TEMP
- натискаємо кнопку: Request trajectory (only press once!)*

3.В початковій точці переносу повітряної маси розраховуємо $(H_{1000}^{850})_n$, адвективні значення температури повітря знімаємо на відповідній карті або ж скористаємось значенням AIR_TEMP (в Кельвінах).

Звітні матеріали

Розрахунок ожеледі та текст штормового попередження.

3.3 Прогноз хуртовин

До числа атмосферних явищ, які наносять великі збитки господарству нашої країни, відносяться хуртовини.

Хуртовиною називається перенос снігу над земною поверхнею вітром достатньої сили. Розрізняють три види хуртовин - загальну, низову і поземок:

- *загальна хуртовина* – випадіння снігу при сильному вітрі (звичайно більше $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$);
- *низова хуртовина* – перенос сухого снігу, що випав раніше, і підіймається сильним вітром ($10 \dots 12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) з поверхні снігового покриву до висоти декількох метрів (за відсутності снігопаду);
- *поземок* - перенос сухого снігу, що випав раніше, у двохметровому шарі, який безпосередньо прилягає до земної поверхні, при швидкості вітру близько $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (при значному посиленні вітру він звичайно переходить в низову хуртовину).

Згідно з Настановою з метеорологічного прогнозування небезпечних (НМЯ I) відносяться хуртовини тривалістю ≥ 3 год., але ≤ 12 год. при швидкості вітру (хоча б в один із строків спостережень під час хуртовини) $\geq 12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

До стихійних метеорологічних явищ (СМЯ II) відносяться сильні хуртовини, які зберігаються на від 12 до 24 год. при переважній швидкості вітру $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і більше.

До надзвичайних метеорологічних явищ (СМЯ III) відносяться сильні хуртовини, які зберігаються більше 24 год. при переважній швидкості вітру $20 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

На території України хуртовини спостерігаються, в основному, з жовтня по квітень, в деяких районах вони виникають в більш ранні і пізні строки. Звичайно найбільша повторюваність хуртовин відмічається у грудні-лютому (до 70 випадків).

Крім повторюваності не менш важлива кліматична характеристика хуртовин – їх тривалість (середня і сумарна за місяць або зиму). Побудовані карти середньої тривалості хуртовин за рік і за добу. Середня за рік тривалість хуртовин в залежності від фізико-географічних умов регіону змінюється в широких межах. На значній частині території України тривалість хуртовин 200 год і більше: тривалість однієї хуртовини в день з явищем змінюється від 1...2 до 10...12 год (в середньому 6...8 год). Небезпека хуртовини визначається її тривалістю.

Повторюваність і тривалість хуртовин залежить, крім великомасштабних атмосферних процесів, у більшій мірі від особливостей орографії місцевості (висоти місця, ступеню його захищеності по відношенню до хуртовинних вітрів і лісистості). Так, на Україні найбільш тривалі хуртовини спостерігались в зими і місяці з частим переміщенням пірнаючих циклонів і при виході південних циклонів.

Метеорологічні і синоптичні умови виникнення хуртовин

При формуванні хуртовин метеорологічні умови в різних фізико-географічних регіонах можуть помітно відрізнятися. У ряді досліджень оцінюється комплекс (поєднання) величин, які сприяють виникненню хуртовин – повторюваність різних напрямків і швидкостей вітру, а також температури повітря. На території України загальні хуртовини виникають при вітрі північно-східного і північно-західного напрямків швидкістю $6...10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і температурах повітря $0...-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (близько 50...60 % випадків). Небезпечні хуртовини в більшості випадків відмічаються при температурі повітря від 0 до $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, північно-західному і південно-східному вітрах швидкістю $10...15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (до 75 % випадків у центральних районах України). Стихійні хуртовини на півдні України частіше спостерігаються

при температурі повітря від 0 до -10°C , швидкості вітру $12\ldots 16\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ східного і північно-східного напрямків.

Сильні хуртовини частіше виникають при великих баричних градієнтах у нижньому шарі тропосфери в зоні випадіння снігу (звичайно це відбувається на периферії циклону, що стаціонує, і при переміщенні циклонів з заходу, північного заходу і південного заходу). На території України синоптичні процеси при виникненні хуртовин досить різноманітні і в залежності від особливостей фізико-географічного положення регіону можуть помітно відрізнятися. Загальні хуртовини звичайно пов'язані з зонами фронтальних опадів переважно в системі циклонів, що поглиблюються. Головна роль при цьому належить теплим фронтам і фронтам оклюзії, більш рідко – холодним фронтам.

Хуртовини відмічаються також у нестійких повітряних масах при зливових снігопадах і сильному вітрі. У цих випадках виникають короточасні, але інтенсивні загальні хуртовини. Низові хуртовини і поземки спостерігаються переважно в тилу циклонів і на периферії антициклонів (особливо на південно-західній і західній) при великих градієнтах тиску і сильному вітрі після випадіння сухого снігу. Такі хуртовини дуже тривалі і визивають снігові замети.

Найбільш сприятливі умови для розвитку хуртовин створюються в районах, де циклон наближається до антициклону, що стаціонує і посилюється («блокуюче положення»). У цих випадках при сильному вітрі (через великі баричні градієнти) і снігопадах виникають інтенсивні і тривалі хуртовини.

Прогноз виникнення хуртовин

До теперішнього часу поки що немає чітко розробленої і загально прийнятої методики прогнозу хуртовин. Прогноз хуртовин базується на прогнозі розвитку синоптичних процесів і зводиться, в основному, до прогнозу поєднання снігопаду і сильного вітру при від'ємній температурі повітря (з урахуванням стану снігового покриву – сухий він чи мокрий).

Раніше, крім синоптичного методу, для прогнозу хуртовин в якості допоміжного інструменту в оперативній практиці використовувався автоматизований метод Таран і Куп'янської [26], розроблений в лабораторії синоптичних досліджень Гідрометцентру Росії. Метод базується на численних прогнозах температури повітря у поверхні Землі, швидкості вітру, кількості опадів. додатково враховується стан підстильної поверхні в початковий термін прогнозу.

В даний час в багатьох гідрометеорологічних центрах для прогнозу хуртовини здійснюють на основі даних моделі WRF-ARW, GFS, ECMWF та ін. Для реалізації чисельної схеми параметризації низової завірюхи зазвичай використовують такі вхідні дані, а саме: поля компонент швидкості вітру на рівні 10 м, температури і відносної вологості на 2 м,

швидкості тертя, атмосферного тиску, висоти снігу і його щільності, кількості короткохвильової радіації. Але завжди необхідно при прогнозі будь-якого метеорологічного явища враховувати регіональні особливості розташування території та місцеві циркуляційні умови.

У прогностичних центрах багатьох північних країн [<http://met.no>, <http://www.smhi.se>, <http://ilmatieteenlaitos.fi>, <http://www.dmi.dk>] хуртовини розглядаються як супутнє явище при проходженні фронтів і на периферії циклонів і антициклонів. Чисельний прогноз хуртовин особливо розвинений у Канаді. Канадськими дослідниками розроблені дві моделі низового хуртовинного переносу, які широко використовуються в оперативній практиці.

Короткостроковий чисельний прогноз хуртовин був розроблений В.І.Бичковою і К.Г. Рубінштейном [27]. На основі даних моделі WRF-ARW запропонований наступний алгоритм для прогнозу загальної та низової хуртовини:

1. Аналізується поле температури повітря, розрахованого моделлю WRF-ARW. Якщо температура перевищує 0 °С, то приймається, що хуртовин (загальних і низових) в даному осередку немає.

2. Аналізується факт випадання опадів у твердому вигляді. Якщо опади випадають і швидкість вітру на 10 м перевищує 7 м/с, то прогнозується загальна хуртовина.

3. Якщо твердих опадів немає і висота снігового покриву менше 0,1 см, то хуртовина не прогнозується.

4. При наявності снігового покриву, якщо швидкість вітру перевищить критичну, прогнозується низова хуртовина.

Критична швидкість, відповідна початку низової хуртовини, залежить від стану підстильної поверхні, тобто від властивостей снігу. Щільність снігу визначається за прогностичними даними моделі як відношення водного еквівалента снігу до висоти снігу. Таким чином, виділені чотири типи снігу з урахуванням:

1. Сухий свіжий сніг щільність 0,01-0,05 г/см³, динамічна швидкість 0,15 м/с;

2. Сухий сніг, щільність 0,05-0,1 г/см³, що відклався кілька годин тому динамічна швидкість 0,22 м/с;

3. Ущільнений сніг щільність 0,1-0,4 г/см³, динамічна швидкість 0,4 м/с;

4. Старий затверділий сніг щільність 0,4-0,7 г/см³, динамічна швидкість 1 м/с.

Відповідно, якщо динамічна швидкість вітру, прогнозована моделлю, перевищує запропоновані критичні значення, прогнозується низова хуртовина. Ще один метод заснований на обчисленні граничного значення швидкості вітру на 10 м. У його розрахунках враховується параметр

шорсткості сніжної поверхні, розмір снігових частинок, об'ємні щільності снігу та повітря (рис. 3.7).

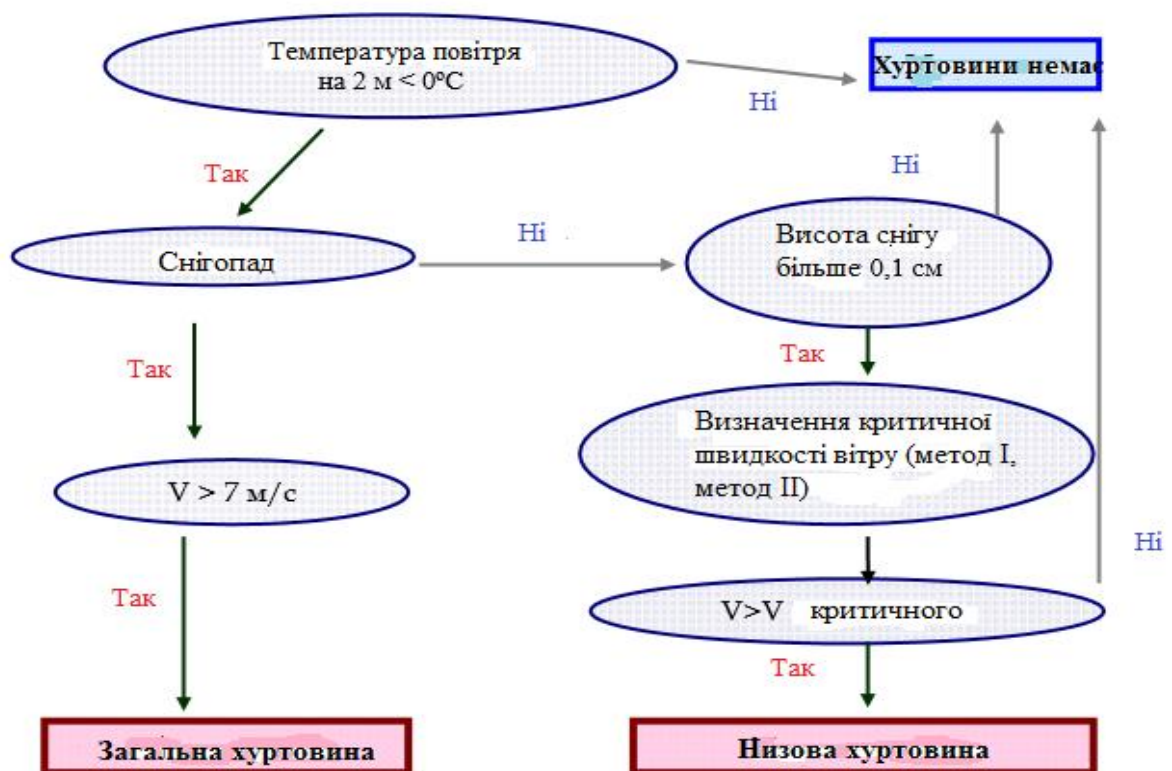


Рисунок 3.7 – Алгоритм прогнозу загальних і низових хуртовин

При прогнозі хуртовини також рекомендується слідувати такої схемі:

1. Необхідно проаналізувати крупно масштабних-і синоптичні процеси, щоб визначити потенційні проблеми, які можуть виникнути при прогнозі. Порівняти ініціалізацію WRF, GFS та ECMWF прогнозів.

Визначення погодних особливостей, які можуть викликати небезпечні метеорологічні явища зимового періоду:

- чи існують у верхній тропосфері (200-300 гПа) струменеві течії або великомасштабні улоговини зниженого тиску?

- чи спостерігається на рівні АТ-500 вузька улоговина і позитивна адвекція вихору швидкості?

- чи спостерігається у землі (приземному карта) і на поверхні АТ-850, проходження циклонів, атмосферних фронтів або інтенсивна адвекція холоду?

2. По карті **АТ-300 гПа** проаналізувати динаміку струменевої течії на даному рівні протягом прогнозованого періоду, де передбачається розвиток циклону і де можуть виникати вертикальні руху, пов'язані зі струменевою течією. Визначити зони конвергенції повітряних потоків.

3. По карті АТ-500 гПа проаналізувати адвекцію вихору швидкості, виділити зони позитивної та негативної адвекцій. Позитивна адвекція

вихору швидкості (PVA) призводить до виникнення висхідних вертикальних потоків, зволоженню стовпа повітря, сприяючи випаданню опадів (циклогенезу). NVA (негативна адвекція) відповідає низхідному руху повітря, збільшення тиску на поверхні і збільшення геопотенціальної висоти, а також зменшення вологості атмосферного стовпа.

4. По карті АТ- 850 гПа визначити термічну і вологісну структуру шару. Знайти зони фронтогенезу.

5. Вивчити 6-годинну динаміку зміни тиску на рівні моря, температури поверхні і прогнозованого розподілу опадів. Визначити де існує ймовірність виникнення хуртовин. Визначити місце розташування атмосферних фронтів.

Видимість при хуртовинах. Загальна видимість супроводжується найбільш значним погіршенням видимості внаслідок того, що одночасно відбувається перенос сніжинок, піднятих поривами сильного вітру з поверхні снігового покриву. Однак погіршення видимості при загальних хуртовинах у більшій мірі залежить від інтенсивності снігопаду, ніж від швидкості вітру. Низові хуртовини також погіршують горизонтальну видимість, причому при нещільному сніговому покриві вона пропорційна швидкості вітру. Видимість при низовій хуртовині можна спрогнозувати на основі зв'язку між градаціями видимості і швидкістю вітру (рис. 3.8).

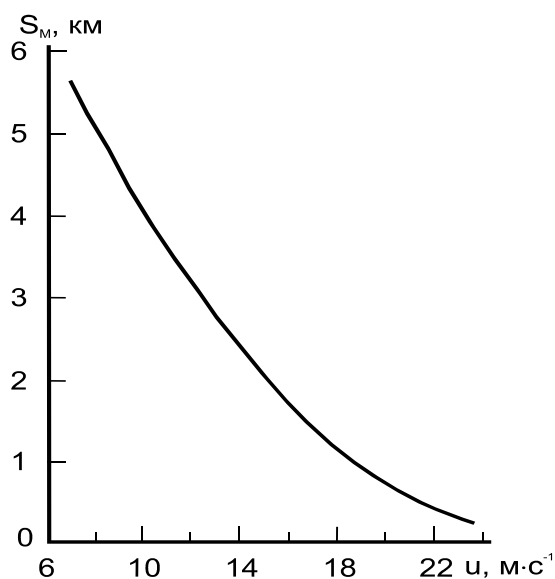


Рисунок 3.8 –Залежність метеорологічної видимості від швидкості вітру при низовій хуртовині та поземку для України

Контрольні питання

1. Які особливості просторового розподілу хуртовин (повторюваність, тривалість) у різних регіонах?
2. Яка роль особливостей рельєфу в просторово-часовому розподілі хуртовин.

3. Характеристика комплексу метеорологічних умов при виникненні хуртовин.
4. При яких типах синоптичних процесів частіше виникають небезпечні та стихійні хуртовини?
5. В чому полягає суть методики прогнозу хуртовин?
6. Від яких факторів залежить видимість у хуртовинах і як вона прогнозується?

Вихідні матеріали

1. Приземні та висотні карти погоди (дата вказується викладачем).
2. Дані WRF, GFS та ECMWF моделей .

Завдання

1. Використовуючи методику дати прогноз хуртовин і видимості в них у відповідності із вказівкою викладача.
2. За вказівкою викладача детально проаналізувати найбільш характерні типи синоптичних процесів, що супроводжуються інтенсивними хуртовинами та найбільшим погіршенням видимості.

Звітні матеріали

Короткий огляд синоптичних процесів і дані про прогноз хуртовин та видимість (у робочому зошиті).

Література до розділу 3

1. Бычкова В.И., Рубинштейн К.Г. Краткосрочный численный прогноз метелей. *Труды ГМНИЦ России*. 2012. № 347. с. 126-143.
2. Волеваха В.А. Прохоренко В.М. Рекомендации к прогнозу умеренного и сильного гололеда на Украине. *Труды УкрНИГМИ*, 1991. Вып. 239. С. 48-55.
3. Пясецька С.І., Савчук С.В., Тимофеев В.Є. Побудова функції лінійного дискримінантного аналізу та її оцінка для визначення екстремальних метеорологічних явищ (ожеледь) на території України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 1 (56).С. 82-94. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.9>.
4. Таран И.В., Купянская Т.П. Прогноз метели различной интенсивности, включая стихийные для Европейской территории СССР. *Труды Гидрометцентра СССР*. 1989. Вып. 299. С. 22–24.
5. Gauder P. Blowing and Drifting Snow in Alpine Terrain: A Physically-Based Numerical Model and Related Field measurements. Swiss federal institute of technology, Zurich, 1999.

4 ПРОГНОЗ ПОГОДИ ДЛЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

4.1 Вплив несприятливих явищ погоди на роботу водного транспорту

До основних морських галузей народного господарства, котрі є споживачами гідрометеорологічних прогнозів, відносяться: судноплавство, рибний і звіробійний промисли, припливні електростанції, морські курорти, гідротехнічне будівництво, пошук і видобуток корисних копалин. Гідрометеорологічне забезпечення населення в прибережних районах полягає перш за все у своєчасній інформації про штормові нагони, паводки і цунамі.

Виробнича діяльність морських галузей господарства і безпека людей в прибережних районах значною мірою залежать від аномальних гідрометеорологічних умов. Небезпечними гідрометеорологічними явищами (НЯ) на морях і океанах називаються такі, які можуть спричинити порушення в роботі морських галузей господарства і завдати збитків. До стихійних гідрометеорологічних явищ відносяться гідрометеорологічні процеси, які за часом виникнення, інтенсивністю, тривалістю і площею поширення можуть заподіяти значних збитків і спричинити стихійне лихо.

Перелік морських стихійних метеорологічних явищ та їх критерії

- сильний вітер (у т.ч. шквали) – швидкість вітру (у т.ч. при поривах) $25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та більше;
- сильний туман та інші гідрометеорологічні явища, що погіршують видимість на морі – 100 м і менше протягом 12 год і більше;
- швидке та дуже швидке обмерзання – $0,7 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$ і більше;
- поява льодових явищ, замерзання моря в ранні строки – повторюваність 1 раз на 10 років;
- сильні (високі) хвилі - на Азовському морі 3,5 м і більше, на Чорному морі 6 м і більше;
- високі або низькі рівні моря – відгінно-нагінні коливання рівнів моря нижче або вище умовних відміток, при яких спостерігаються аварійні ситуації на флоті, затоплення територій портів та інших господарських об'єктів на узбережжі, а також населених пунктів;
- сильний тягун в морських портах – створює аварійні ситуації для суден в акваторіях портів;
- інтенсивний дрейф льоду, поява непрохідного для суден льоду, напір льоду на берег – створює небезпечні умови для мореплавства та виникнення аварійних ситуацій на флоті, пошкодження портового та іншого обладнання, об'єктів та споруд на узбережжі.

4.2 Морські метеорологічні прогнози і попередження про небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища

Інформація про погоду завжди була життєво важливою для забезпечення безпеки і ефективної роботи морських галузей економіки, особливо транспорту і рибальського промислу. На початку двадцятого століття радіотелеграфний зв'язок дозволив забезпечити регулярний зв'язок між судном і берегом, і почалася передача по радіо метеорологічних зведень для судів. Перша Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (Конвенція СОЛАС) закликала транслювати по радіо інформацію про погоду на акваторію всіх судноплавних морських шляхів і рибпромислових районів; уряди погодилися розділити відповідальність за проведення цих радіопередач з океанічних районів. Всесвітня служба Міжнародної морської організації (ІМО)/ ВМО метеорологічної і океанографічної інформації та попереджень (ВМОІП) забезпечує рівномірне покриття прогнозами і попередженнями судів, які перетинають океани. Полярний кодекс ІМО надає додаткові керівні вказівки з надання відповідного морського метеорологічного обслуговування та інформації про стан морського льоду в цілях підтримки безпеки судноплавства в полярних водах.

Узгоджені на міжнародному рівні методи надання обслуговування морського співтовариства по всьому світу описані у Настанові по морському метеорологічному обслуговуванню (ВМО-№ 558), том I (https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5443).

В узагальненому вигляді схема потоків даних оперативних спостережень містить дві ланки. Від оглядової платформи в океані дані вимірювань різними способами (радіозв'язок, комунікаційні ШСЗ, Інтернет та ін.) надходять до центрів збору даних. Це найчастіше центри національних метеослужб або спеціалізовані центри, які мають інше підпорядкування. Тут інформація об'єднується і може проходити якісний контроль даних. На наступному етапі ці дані переводяться в спеціальні кодові форми і передаються в Глобальну систему телезв'язку (ГСТ). Ця система призначена для забезпечення основних комунікаційних функцій Всесвітньої служби погоди ВМО [28]. Прямий доступ до інформації, поширюваної по каналах ГСТ, мають тільки відповідні центри національних метеослужб. Дані оперативних спостережень в ГСТ циркулюють в спеціальних форматах, які називаються кодовими формами.

У 2000-ті роки була розроблена нова інформаційна система ВМО (ICB) (<http://www.wmo.int/pages/prog/www/WIS>), побудова якої базується на трехуровенній структурі інформаційних центрів пов'язаних як через ГСТ, так і за допомогою інших відкритих комунікаційних технологій:

1) GISC (ГЦІС) - Global Information System Centres (Глобальні центри інформаційної системи). Ці центри, об'єднані високошвидкісною мережею,

забезпечують збір і поширення даних для глобального обміну і поширення відповідно до регламенту ВМО. Ці центри також служать "точкою входу" для обслуговування інформаційних запитів, що обробляються за допомогою уніфікованих каталогів і порталів.

2) DCPC (ЦЗДП) - Data Collection or Production Centres (Центри збору даних і продукції). Такі центри мають справу зі збором даних спостережень, підготовкою і архівацією спеціалізованих наборів вихідних і оброблених даних, випуском прогностичної продукції відповідно до програм ВМО та суміжних проектів по навколишньому середовищу.

3) NC (НЦ) - National Centres (Національні центри). Схожі за функціями з ЦЗДП, але забезпечують збір і поширення інформації на національному рівні, а також координують і авторизують доступ національних користувачів до сервісів всій ІСВ. Статус НЦ отримують, як правило, вже діючі національні гідрометеорологічні центри.

Станом на початок 2018 року було зареєстровано 15 ГЦС, 134 ЦЗДП і 225 НЦ, які мають різну ступінь готовності до виконання необхідних функцій.

Метеослужби більшості морських держав на добровільній основі забезпечують оснащення комерційних і інших суден, що приписані до їх портів, обладнанням для проведення морських метеорологічних спостережень. Результати попутних спостережень, які виконуються у встановлені терміни зазвичай штурманським складом, передаються в берегові центри збору даних на безоплатній основі, а судноплавні компанії отримують взамін прогностичну інформацію і штормові оповіщення (рис.4.1). Звідси пішла назва системи - Voluntary Observing Ship (VOS) або Добровільні Суднові Спостереження (ДСС).



Рисунок 4.1 – Попутні суднові спостереження - показані точки вимірювань ТПО, отриманих по ГСТ

На більшості судів вимірюються основні характеристики приводного шару атмосфери і морські величини, що включають температуру поверхні океану (ТПО), параметри хвилювання і стан льодового покриву. Спостереження як правило проводяться чотири рази на добу в встановлені синоптичні терміни (00, 06, 12, 18 год UTC).

Дрифтерами називають вільно дрейфуючі поверхневі буї, призначені для лагранжевих вимірювань швидкості приповерхневих течій і для реєстрації температури води близько поверхневого поплавка [29]. Інформація про переміщення дрифтеру та інших вимірюваних характеристиках транслюється через супутниковий передавач в центри збору даних, а потім в систему ГСТ.

У частині дрифтерних спостережень надходження основного обсягу оперативної інформації забезпечує Global Drifter Program (GDP) (http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp_information.php), яка заснована в 1996 році. Серед її головних цілей - підтримка глобального масиву що включає не менше 1250 дрифтерів, які відстежують зі супутників з просторовим дозволом порядку $5^0 \times 5^0$.

Основна частина повідомлень, що надходять з дрифтерів, обробляється спеціалізованою супутниковою системою Argos (<http://www.argos-system.org>), але останнім часом починають використовуватися більш сучасні системи, наприклад система глобальної супутникової телефонії Iridium, що забезпечує більшу оперативність при меншій вартості комунікаційних повідомлень (рис.4.2).

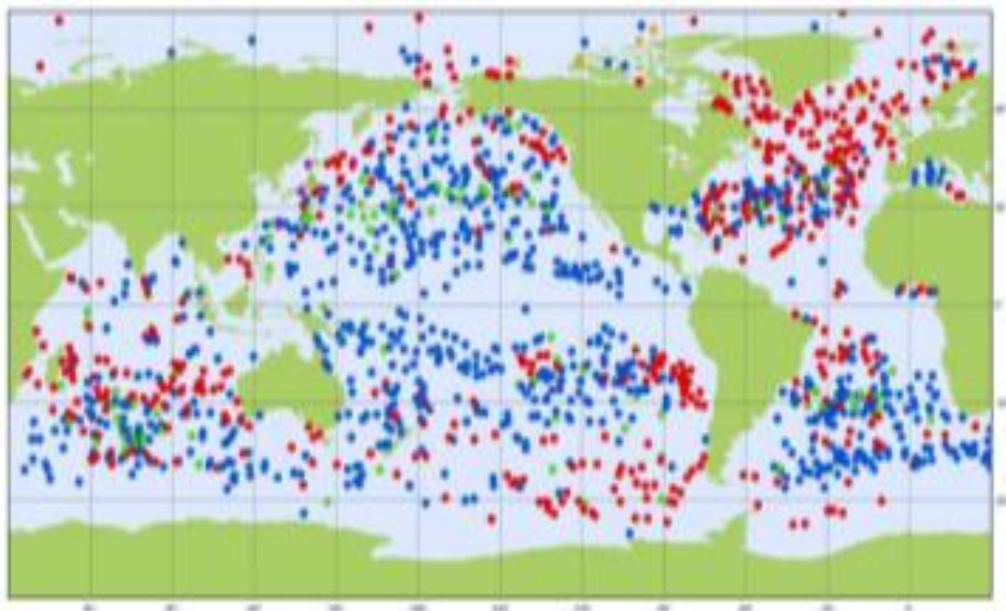


Рисунок 4.2 – Положення дрифтерів і супутникова система: Argos - сині та зелені маркери, Iridium - червоні маркери

Низька точність візуальних попутних спостережень за параметрами хвилювання, а також суттєве зменшення їх кількості за рахунок все більшого оснащення судів VOS автоматичними метеостанціями були причинами створення мережі оперативних хвильових буїв. Використання радіозв'язку для збору даних з хвильових буїв витісняється у все більшій мірі застосуванням для цієї мети комунікаційних супутників (Iridium, Argos, Orbcomm). Зазвичай спектральні дані з буїв надходять щогодини і далі в оперативному режимі поширюються по каналах ГСТ. Для цього призначена спеціальна кодова форма ВМО (FM 65-XI Ext. WAVEOB), що передбачає передачу як одновимірних, так і двовимірних хвильових спектрів.

Протягом 2017 року діяло близько 300 хвильових буїв, положення яких станом на вересень показано на рисунку 4.3. Крім цього в ГСТ надходять оперативні дані ще приблизно з 50 фіксованих морських платформ, типу бурових, нафтовидобувних і т.п. Але на цих платформах використовуються, як правило, інші засоби вимірювання хвильових параметрів, такі як струнні волнографи.

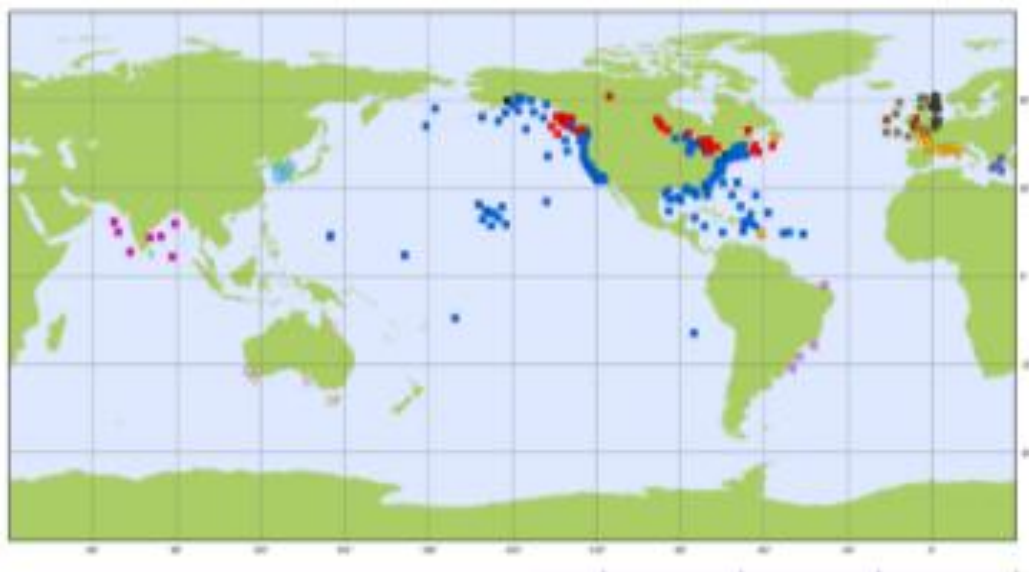


Рисунок 4.3 – Хвильові буї, колір маркерів відображає національну приналежність буїв

З урахуванням важливості даних по рівню моря для багатьох галузей господарської діяльності та наукових досліджень щодо змін клімату, в 1985 році під егідою МОК було засновано спеціальний проект - Global Sea Level Observing System (GLOSS) (<http://www.gloss-sealevel.org>). До завдань GLOSS входить організація і координація глобальної мережі спостережень за рівнем моря на базі чисельних національних систем (в проекті бере участь понад 90 країн).

Основу GLOSS складає мережа з приблизно 300 постійно діючих прибережних станцій на континентах і островах (рис. 4.4). У більшості випадків спостереження виконуються з високою частотою, дискретність передачі результатів вимірювань знаходиться в діапазоні 1-15 хв. Два центри GLOSS здійснюють збір, контроль, архівацію і поширення даних вимірювань рівня на цих станціях [30]. Для передачі даних вимірювань в ці центри використовуються в основному канали ГСТ та Інтернет.



Рисунок 4.4 – Основна мережа спостережень за рівнем моря за програмою GLOSS

Ще одна система оперативних спостережень за рівнем моря була розроблена в 2000-і роки для раннього попередження небезпечних явищ цунамі. Були засновані чотири регіональні системи попередження цунамі [31]. На рисунку 4.5 показана глобальна конфігурація спостережної мережі цих систем.

Реалізована прогностична технологія, заснована на новому підході, який включає етап виявлення і моніторингу характеристик цунамі у глибокому океані і етап засвоєння одержуваних вимірів в модельному прогнозі еволюції цунамі. Ці ж моделі можуть використовуватися і у розрахунках сценаріїв наслідків потенційних епізодів явища для різних потенційних джерел виникнення цунамі. Спостережну основу системи попередження становлять глибоководні буї, спочатку розроблені для національної програми США щодо попередження цунамі - Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami (DART) станції. Комплекс такої станції складається з донного реєстратора тиску і заякіреного поверхневого буя для комунікацій через ШСЗ. Обидва елементи конструкції пов'язані двостороннім акустичним каналом. Рівень моря обчислюється по донному тиску з урахуванням поправки на температуру води. Тиск вимірюється і передається в двох режимах: стандартному з

інтервалом 15 хв і тривожному з інтервалом 1 хв. Включення останнього режиму проводиться якщо бортовий комп'ютер детектує за спеціальним алгоритмом епізод цунамі.



Рисунок 4.5 – Спостережна мережа регіональних систем попередження цунамі: зелені кружки - станції GLOSS, червоні трикутники- буї DART

Станом на вересень 2017 року діяло 40 станцій DART, інформація з яких поширюється і по каналам ГСТ.

Оперативними органами Держгідрометслужби України прогнози і штормові попередження для забезпечення судноплавства і морських галузей народного господарства складаються по закріплених за ними акваторіях морів, маршрутах, районах промислу, портах тощо.

Прогнози в залежності від тривалості дії і призначення складаються на добу, півдобу, наступні дві доби та період (у виді консультації).

Гідрометеорологічна інформація для суден передається радіостанціями морського та річкового флоту: прогнози - циркулярно, відповідно до розкладу, штормові попередження – негайно, після одержання. Для інформаційних передач по радіо гідрометеорологічна інформація подається до бюро погоди в такому порядку (за формою, яка прийнята ВМО):

1. Штормові попередження.
2. Огляд синоптичної ситуації.
3. Прогноз погоди на поточний день, добу і наступні дві доби.

Перша частина тексту починається попередженнями про НЯ або СГЯ. Якщо НЯ або СГЯ не очікуються, то вказується "шторм не очікується", якщо НЯ або СГЯ тривають - вказується "збереження шторму" з повторенням тексту попередження.

У другій частині дається короткий огляд основних характеристик елементів приземної карти погоди: баричних систем, що визначають умови погоди в даному районі із вказівкою тиску в центрі, місця розташування, напрямку і швидкості переміщення (в румбах і метрах за секунду), висоти вітрових хвиль і хвиль брижів (при наявності даних).

У третій частині даються прогнози на добу, наступні дві доби або уточнення на поточний день.

В прогнозах по акваторії моря в наступному порядку вказуються:

- період дії прогнозу, дата і час;
- район, для якого складений прогноз;
- напрямок і швидкість вітру в метрах за секунду;
- видимість в кілометрах або метрах;
- явища, які погіршують видимість (туман, серпанок, опади тощо);
- висота вітрових хвиль і хвиль брижі в метрах;
- обмерзання суден, якщо це явище буде мати місце;
- температура повітря;
- льодові явища.

В прогнозах, які складаються по акваторії порту, вказуються ті ж величини і явища погоди, що і в прогнозах для сухопутних районів, за винятком заморозків; додатково включаються прогнози видимості, обмерзання суден, тягуна, висоти вітрових хвиль і хвиль брижі, відгінно - нагінних коливань рівня моря та льодових явищ.

4.3 Складання рекомендації по вибору найвигіднішого шляху судна в океані

Вибір морських та океанських шляхів з метою судноплавства визначається економічною ефективністю їх використання. Найвигіднішим (або оптимальним) шляхом між двома пунктами Світового океану є той, який судно проходить в умовах існуючої гідрометеорологічної обстановки та фактичного його стану за найкоротший термін при найменших витратах палива, дотриманні безпеки та збереженні вантажів.

Для прокладання корабельних маршрутів визначальними є два базових поняття – це *ортодромія та локсодромія*.

Ортодромія – це найкоротший шлях між двома точками на земній поверхні (між точками А та В на рис. 4.6), який лежить на дузі великого кола (ДВК), що проходить через ці точки. У зв'язку з тим, що меридіани при наближенні до полюсів сходяться, то ортодромія в загальному випадку (коли вона не співпадає з яким-небудь меридіаном чи екватором) перетинає меридіани під різними кутами, тобто ортодромія не являється лінією єдиного курсу. Щоб прямувати з пункту в пункт за ДВК, судно повинне поступово змінювати свій курс, що потребує розрахунків – в яких точках змінювати курс і наскільки.

Локсодромія – це лінія, що перетинає всі меридіани під однаковим кутом (під кутом η на рис. 4.6). Внаслідок збіжності меридіанів локсодромія на всьому протязі постійно вигинається у бік найближчого полюса, обертаючись навколо земної кулі по спіралі. В двох окремих випадках, коли судно прямує постійним істинним курсом вздовж меридіана або екватора, локсодромія співпадає з ДВК – ортодромією. Отже, локсодромія являється лінією єдиного курсу, що спрощує судноводіння, але в загальному випадку вона не співпадає з найкоротшим шляхом між двома точками на земній поверхні.

Отже, перехід за ДВК на великих відстанях у порівнянні з плаванням за локсодромією є більш економним, але лише у випадку, якщо шлях за ДВК не проходить через райони сильних штормів, криги чи зустрічних течій, що відсутні на шляху за локсодромією.

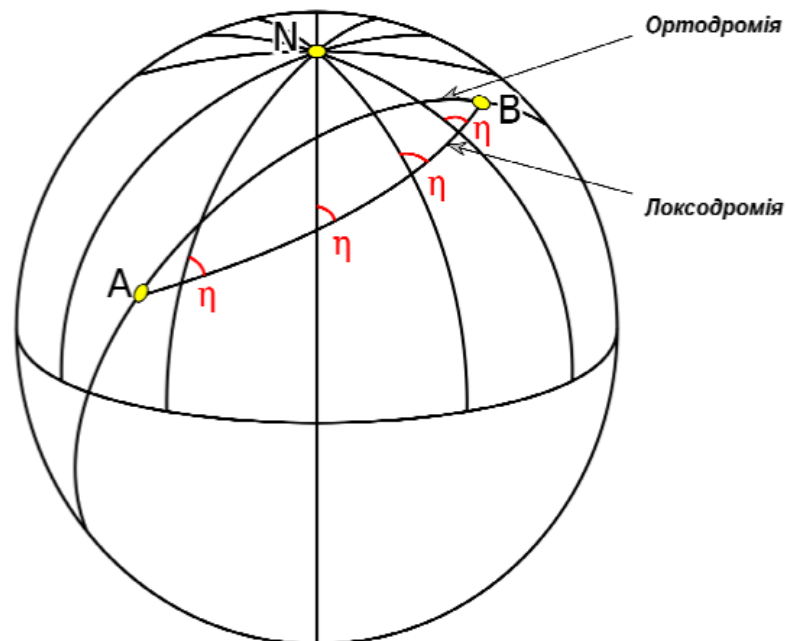


Рисунок 4.6 – Ортодромія та локсодромія, що з'єднують точки А та В

Під час плавання облік курсу судна та облік пройденого шляху зручно вести на морській навігаційній карті графічним способом. На морські навігаційні карти наносять лінії істинних курсів, знімають та відкладають на них відстані. Тому такі карти повинні задовольняти наступним вимогам:

- лінія постійного курсу – локсодромія – повинна зображуватись у вигляді прямої;
- напрямки на карті відносно істинного меридіана між якими-небудь точками повинні дорівнювати напрямкам між тими ж точками на місцевості (проекція карти повинна бути рівнокутною).

Цим вимогам відповідає карта у меркаторській проекції (рис. 4.7), що має прямокутну сітку меридіанів та паралелей. Курси та інші кути бу-

дують або вимірюють транспортом, користуючись тим, що проекція рівнокутна та передає всі кути без викривлень. Коли прокладають або вимірюють відстані, то циркуль-вимірювач (чи лінійку) зіставляють з бічною рамкою карти симетрично до середньої широти відстані, що вимірюється.

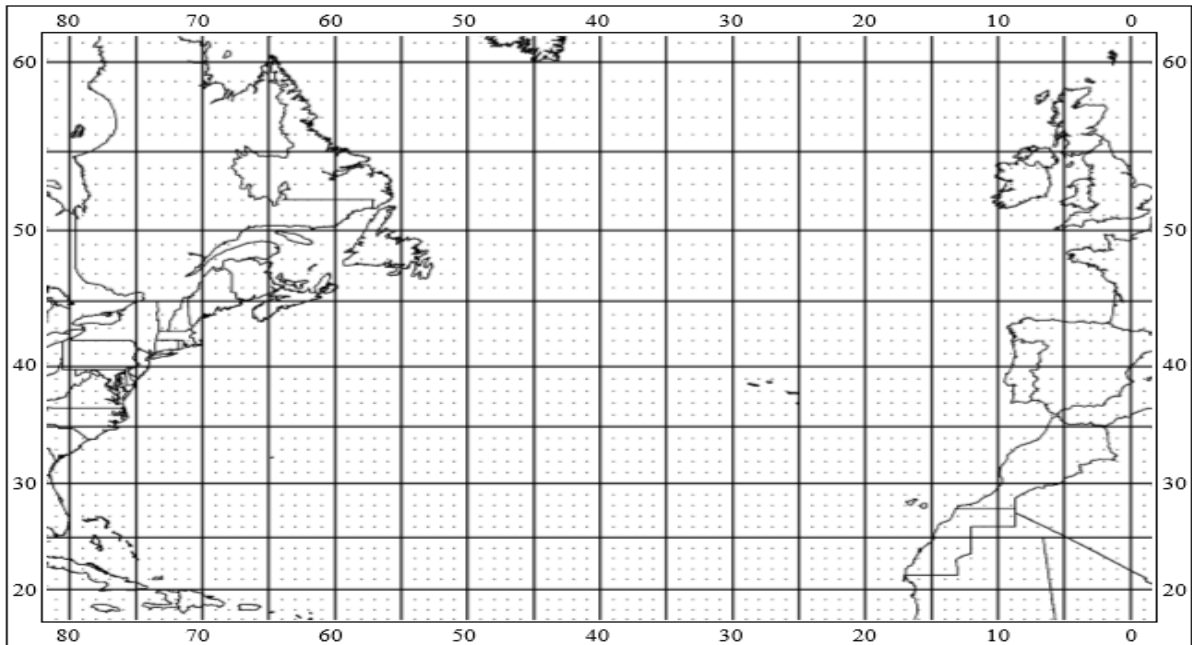


Рисунок 4.7 – Морська навігаційна карта у меркаторській проекції

Локсодромія на морських навігаційних картах, що виконані у меркаторській проекції, проводиться у вигляді прямої лінії, а ортодромія на цих картах має вигляд кривої лінії, що завжди повинна бути своєю опуклістю обернена в бік найближчого полюса (рис. 4.8).

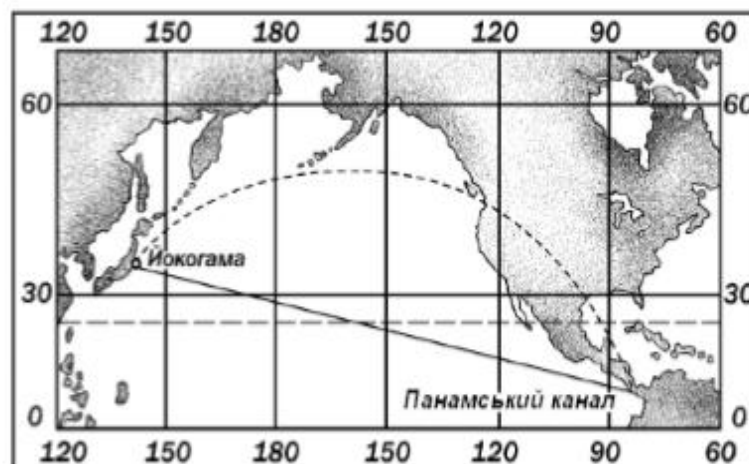


Рисунок 4.8 – Ортодромія (крива лінія) та локсодромія (пряма лінія) на морській навігаційній карті у меркаторській проекції, що з'єднують Йогогаму та Панамський канал

Для судноводіння, крім навігаційних карт у меркаторській проекції, видаються карти і в інших проекціях, але вони використовуються в якості допоміжних. Наприклад, видаються карти у гномонічній проекції (рис. 4.9), на яких ортодромія зображується у вигляді прямої лінії.

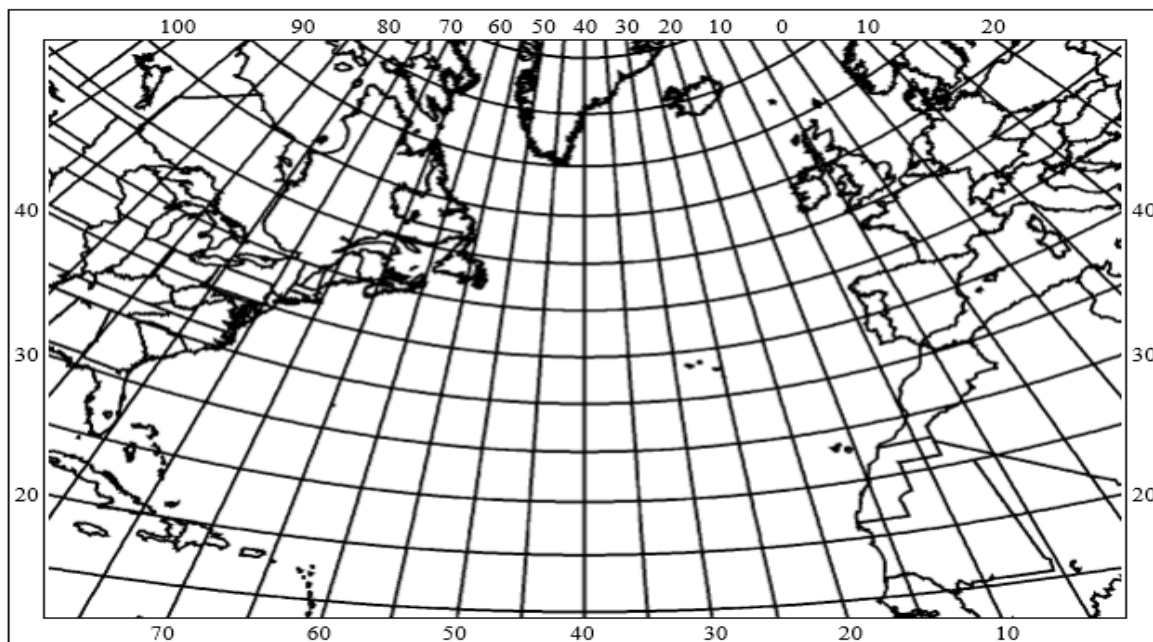


Рисунок 4.9 – Карта у косій гномонічній проекції з центральною точкою, що має координати 43° пн. ш., 40° зх. д.

Під час вибору оптимальних маршрутів між портами переходу вирішальну роль грає швидкість судна. Швидкість ходу судна виражають у вузлах. Це лінійна швидкість, що складає 1 морську милю в 1 годину. 1 вузол дорівнює $0,5144 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Швидкість ходу V виражають відношенням пройденого шляху S до часу t , за який ця відстань пройдена. Якщо відстань виражена у морських милях, а час у годинах, то:

$$V = \frac{S}{t} \text{ вузлів} \quad (4.1)$$

Якщо необхідно розрахувати і прокласти відстань в морських милях (S_{24}), що була пройдена судном за добу, тоді потрібно помножити швидкість судна у вузлах (V_{24}) на 24:

$$S_{24} \approx V_{24} \cdot 24 \quad (4.2)$$

Прокладання відстані добового переходу судна на карті здійснюється після розрахунку:

$$n_{24} \approx \frac{S_{24}}{60} \quad (4.3)$$

де S_{24} – добовий шлях в морських милях, що був пройдений судном;
 n_{24} – число градусів меридіана на широті середньої точки шляху.

Для визначення місця та руху судна в морі використовують декілька видів напрямків. *Істинним курсом* судна називається напрямок, що вказує, куди рухається судно або як воно орієнтоване. *Істинний курс* – це кут між північною частиною істинного меридіана та носовою частиною діаметральної площини судна, що вимірюється за годинниковою стрілкою в межах від 0° до 360° . На рис. 4.10 зображено істинний курс (ІК) судна відносно істинного меридіана NI , коли: а) $0 \leq IK \leq 180^\circ$; б) $180^\circ \leq IK \leq 360^\circ$.

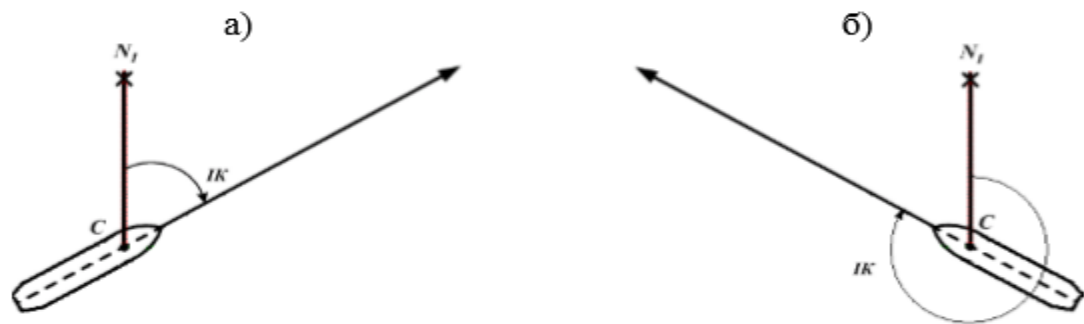


Рисунок 4.10 – Схема для визначення істинного курсу (ІК) судна

Курсовим кутом називається горизонтальний кут між носовою частиною діаметральної площини судна та напрямком з точки спостереження на об'єкт. Курсовий кут часто вимірюють від 0 до 180° в сторону правого чи лівого борту. Наприклад, курсовий кут хвиль – це кут, що відраховується від носової частини діаметральної площини судна до напрямку на точку небосхилу, звідки приходять хвилі. На рис. 4.11 зображено взаємне розташування судна, що рухається зі швидкістю V , та хвиль, що спрямовані під курсовим кутом q відносно судна.

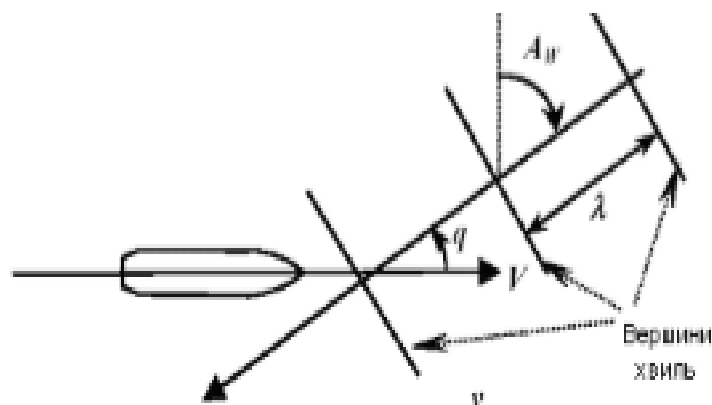


Рисунок 4.11 – Схема для визначення курсового кута (q) хвиль, які мають довжину λ , напрямок AW та фазову швидкість v

Відомо, що з гідрометеорологічних елементів найбільший вплив на швидкість судна чинять вітри, хвилі та течії. Прямий вплив вітру, хвиль та течій на швидкість судна уможливорює кількісний облік, тому є визначальним під час вибору оптимального шляху. Для прокладання найвигіднішого шляху застосовують карти хвилювання (рис. 4.12) або дані прогностичних моделей (рис. 4.13).

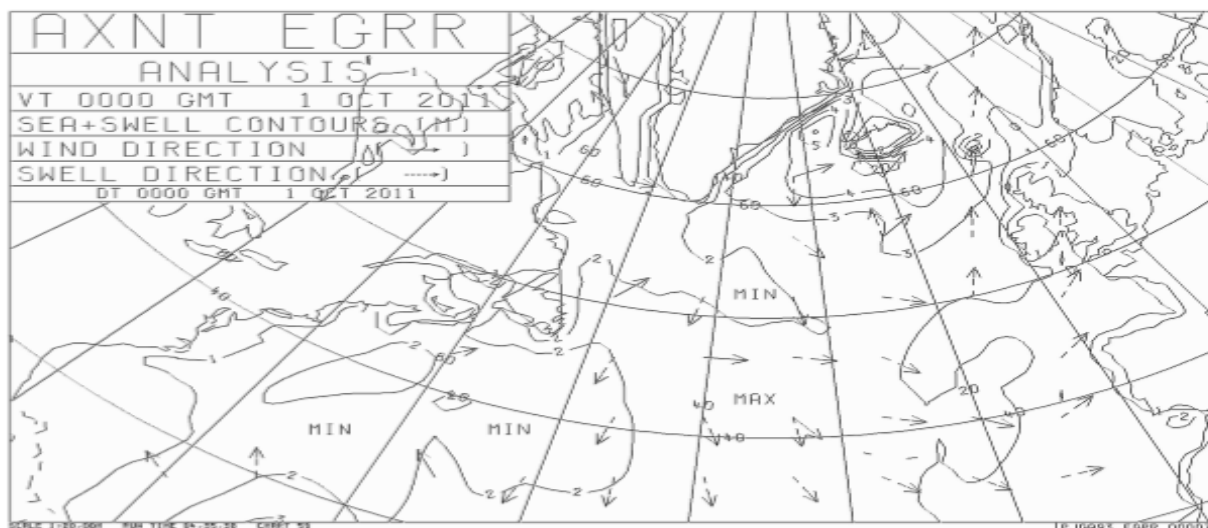


Рисунок 4.12 – Фактична карта хвилювання для Північної Атлантики від 0° до 70° зх. д. (висота хвиль в метрах, напрямок вітру та хвиль) у нормальній стереографічній проекції. Bracknell, England

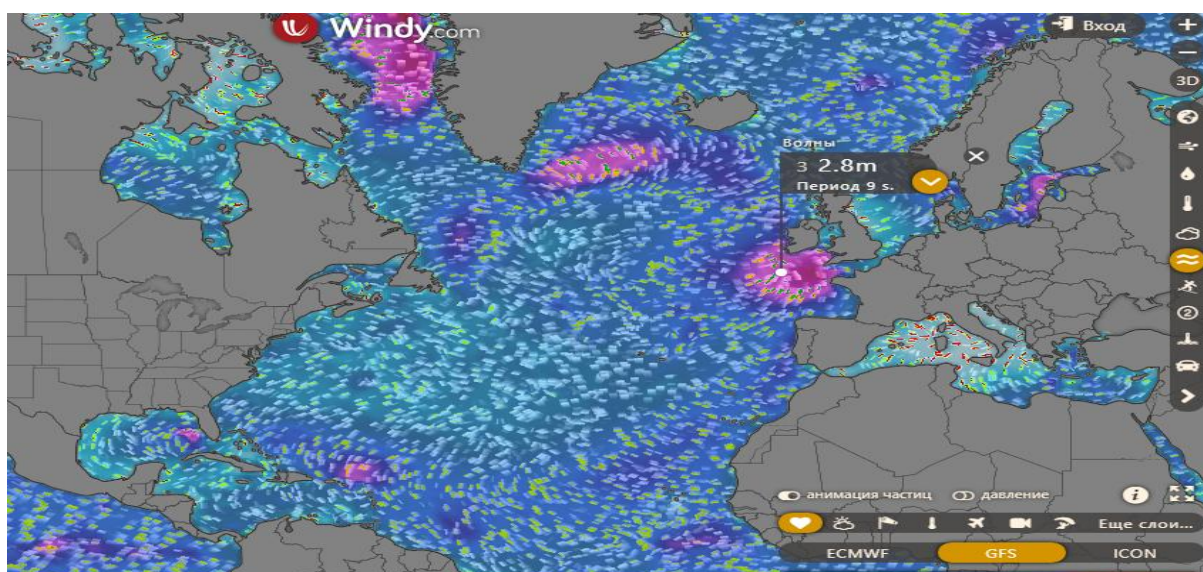


Рисунок 4.13 – Висота і періодичність хвиль за даними моделі GFS (URL: <https://www.windy.com/ru>)

Розрахунок оптимальної траєкторії проводиться відносно дуги великого кола (ДВК), яка в умовах спокійного стану поверхні океану є найкоротшим шляхом між початковою та кінцевою точками маршруту судна.

Для визначення швидкості ходу (V) судна в залежності від висоти хвиль та їх курсового кута використовується універсальна формула:

$$V = V_0 - (0,745 \cdot h - 4,49 \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot h) \cdot (1 - 1,35 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot V_0) \quad (4.4)$$

де V – швидкість ходу судна на хвилях (вузли); V_0 – технічна швидкість судна (вузли); h – висота хвиль (метри); q – курсовий кут хвиль (градуси); D – водотоннажність судна (тонни).

За найсприятливіших умов, коли маршрут по ДВК не перетинається зі штормовими зонами, прокладання оптимального шляху зводиться до поділу ДВК на відрізки, які дорівнюють добовим переходам судна, що рухається зі швидкістю V в залежності від висоти хвиль (h) та їх курсового кута (q) на маршруті. Маршрут по ДВК може бути найвигіднішим шляхом лише у тому випадку, коли час плавання за ДВК є найменшим у порівнянні з іншими маршрутами. Якщо ця вимога не виконується, то потрібно прокласти інший, більш довгий шлях, який судно подолає за найменший проміжок часу.

Найбільш ефективно прокладання оптимального шляху судна здійснюється за допомогою автоматизованих технологій розрахунку рекомендованих курсів (рис. 4.14), які використовуються спеціальними береговими службами, що мають відповідне апаратне та програмне забезпечення.

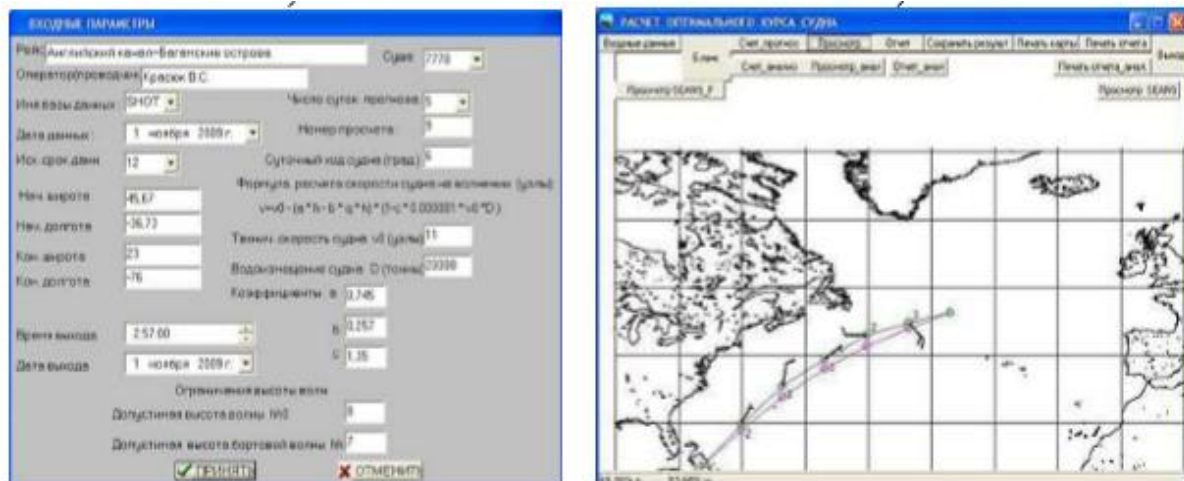


Рисунок 4.14 – Ілюстрація аналітичних та графічних можливостей сучасних автоматизованих технологій розрахунку рекомендованих курсів на прикладі робочого місця (РМ) “КУРС СУДНА” – комп’ютерної програми розрахунку оптимальних курсів суден в океанах:

Штурманський метод. Розрахунок найбільш вигідного шляху плавання за цим методом ведеться відносно найкоротшої відстані (по ДВК - ортодромії).

На бланк карти наносять фактичне і очікуване положення центрів циклонів і антициклонів, атмосферних фронтів, зон штормового хвилювання. Визначають швидкість і напрям переміщення баричних утворень і зон штормового хвилювання, райони сильних вітрів, великої брижі, поганої видимості і обледеніння. Потім аналізують гідрометеорологічні умови на прокладеному найкоротшому шляху. Якщо його перетинають штормові зони і райони з небезпечними гідрометеорологічними явищами, то прокладають новий маршрут в обхід небезпечних зон. Коли маршрут судна остаточно встановлений, за формулами (4.2) та (4.4) виконують розрахунок щодобового шляху судна в залежності від висоти хвиль (h) та їх курсового кута (q) на маршруті. Щодня уточнюють прогнози і при необхідності коректують рекомендації судну. Якщо із-за гідрометеорологічних умов неможливо прокласти маршрут судна, минувши небезпечні зони, то рекомендують затриматися з виходом в океан.

Метод ізохрон. Суть методу ізохрон, запропонованого Г.Джиблеттом і застосованого для обслуговування суден Р.Джеймсом, полягає в наступному.

На бланк карти наносять крапки А і В (пункти відправлення і приходу), сполучають їх прямою лінією, що представляє ДВК (ортодромію). Із точки А по обидві сторони від ортодромії креслять промені (з однаковими кутами між ними), що представляють можливі шляхи судна на наступну добу (рис. 4.15).

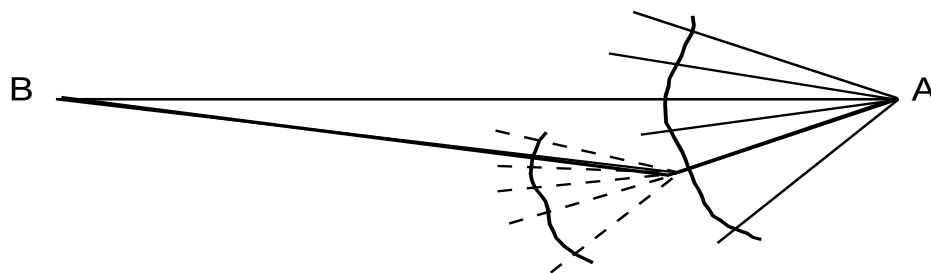


Рисунок 4.15 –Побудова найбільш вигідного шляху за методом ізохрони:

- _____ - найкоротший шлях (по ДВК);
- - рекомендований шлях.

Потім з прогностичної карти хвилювання на першу добу (24 год) знімаються висоти хвиль і їх напрям на кожному з можливих шляхів. За формулами (4.2) та (4.4) визначається швидкість судна при даній висоті хвилі та її курсовому куті на кожному передбачуваному шляху.

Знаходиться відстань, яку пройде судно за першу добу на кожному шляху. Одержані точки з'єднуються плавно лінією (ізохроною).

Можливі положення судна до кінця других, третіх і т.д. діб розраховуються аналогічним чином, поки ізохрона не пройде через пункт призначення. Провівши ламану лінію через вигнуті частини ізохрон (якщо дивитися з точки А) або через точки дотику кіл з ізохронами, проведеними з центру, що знаходиться в точці В, одержимо траєкторію найбільш вигідного шляху плавання, де витрата часу на перехід буде мінімальна.

Оскільки прогноз поля хвилювання складається на 3-5 діб, то і розрахунок рекомендованого шляху робиться на той же час. У розрахований шлях вводять корективи на льодові умови, течії при $V > 0,5$ вузла, видимість і навігаційні небезпеки.

Найбільш вигідний шлях пропонується капітану судна не пізніше, ніж за 24 год до виходу в океан. В запиті необхідно повідомити наступні відомості:

- назва, тип, швидкість, завантаження судна, порт приписки, плановий час рейсу;
- місцезнаходження судна (координати, час);
- пункт призначення;
- обмеження на перехід.

Вставши на проводку рекомендованим шляхом, капітан судна двічі на добу (в 00 і 12 год СГЧ) повинен повідомляти групі обслуговування необхідні відомості (час, координати, курс і швидкість судна, напрямок і швидкість вітру, висоту хвиль, видимість, в холодний період року льодову обстановку).

У випадку відхилення судна від рекомендованого шляху капітан повідомляє причину відхилення і необхідність в подальшому обслуговуванні.

У разі виникнення на рекомендованому шляху СГЯ судну дається радіограма (РДО), в якій пропонується інший, більш сприятливий (безпечний) шлях.

В останній РДО на судно (за добу до приходу в порт призначення) повідомляється останній прогноз погоди, про закінчення обслуговування, прохання повідомити час приходу в пункт (район) призначення.

Під час проводки судна на бланк карти наноситься інформація про очікувані гідрометеорологічні умови, що передаються на судно, і одержані з судна відомості про поточну погоду і стан моря. Після закінчення проводки розраховується економічна ефективність обслуговування.

Контрольні запитання

1. Де буде найкоротший шлях: вздовж ортодромії чи локсодромії?
2. Які матеріали використовуються при розрахунку рекомендованого шляху?
3. Роз'ясніть, чому для прокладання найвигіднішого шляху судна потрібно використовувати карти у гномонічній проекції.
4. Навіщо виконують відкладання пройденого шляху судна на карті в меркаторській проекції?
5. Який порядок обслуговування суден рекомендованими шляхами?

Вихідні матеріали

При розрахунку найбільш вигідного шляху використовуються наступні матеріали:

- карти хвилювання (для Північної Атлантики), що охоплюють 5 діб: фактичні та прогностичні (оперативні або архівні), зразок карти наведений на рис. 4.12-4.13;
- приземні синоптичні карти (для Північної Атлантики), що охоплюють 5 діб: фактичні та прогностичні (оперативні або архівні), зразок карти наведений на рис. 4.16;
- морські прогностичні карти, що містять інформацію про висоту хвиль, швидкість і напрямок вітру, поле тиску, атмосферні фронти та метеорологічні явища (опади, туман, грозу) над Північною Атлантикою, зразок карти наведений на рис. 4.17.

Варіанти завдання для студентів наводяться у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдання для розрахунку оптимального курсу судна

Варіант	Маршрут судна	Географічні координати початкової та кінцевої точок маршруту	
		Пункт виходу	Пункт призначення
1	Багамські острови – Англійський канал. Англійський канал – Багамські острови	25° пн. ш., 75° зх. д. 50° пн. ш., 4° зх. д.	50° пн. ш., 4° зх. д. 25° пн. ш., 75° зх. д.
2	Нью-Йорк – Лісабон Лісабон – Нью-Йорк	40° пн. ш., 73° зх. д. 38° пн. ш., 10° зх. д.	38° пн. ш., 10° зх. д. 40° пн. ш., 73° зх. д.
3	Галіфакс – Канарські острови Канарські острови – Галіфакс	45° пн. ш., 60° зх. д. 30° пн. ш., 20° зх. д.	30° пн. ш., 20° зх. д. 45° пн. ш., 60° зх. д.

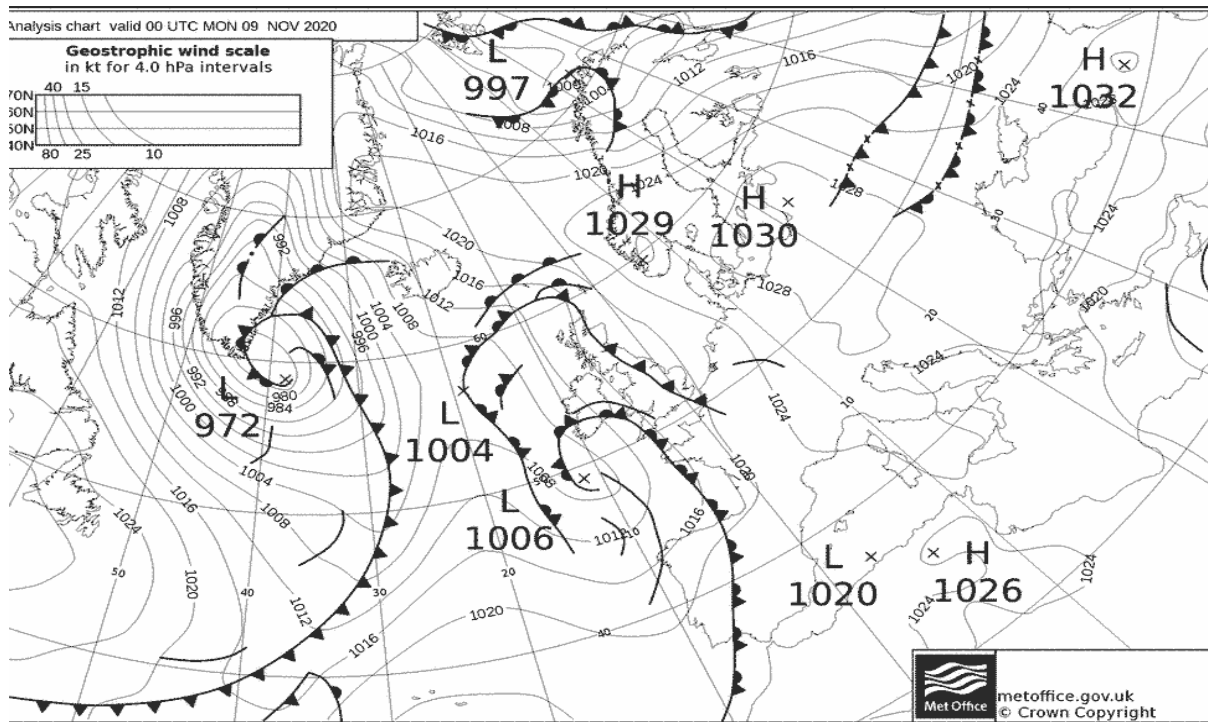


Рисунок 4.16 – Фактична приземна карта у стереографічній проекції (за 00 UTC 9 листопада 2020 р.). Bracknell, England

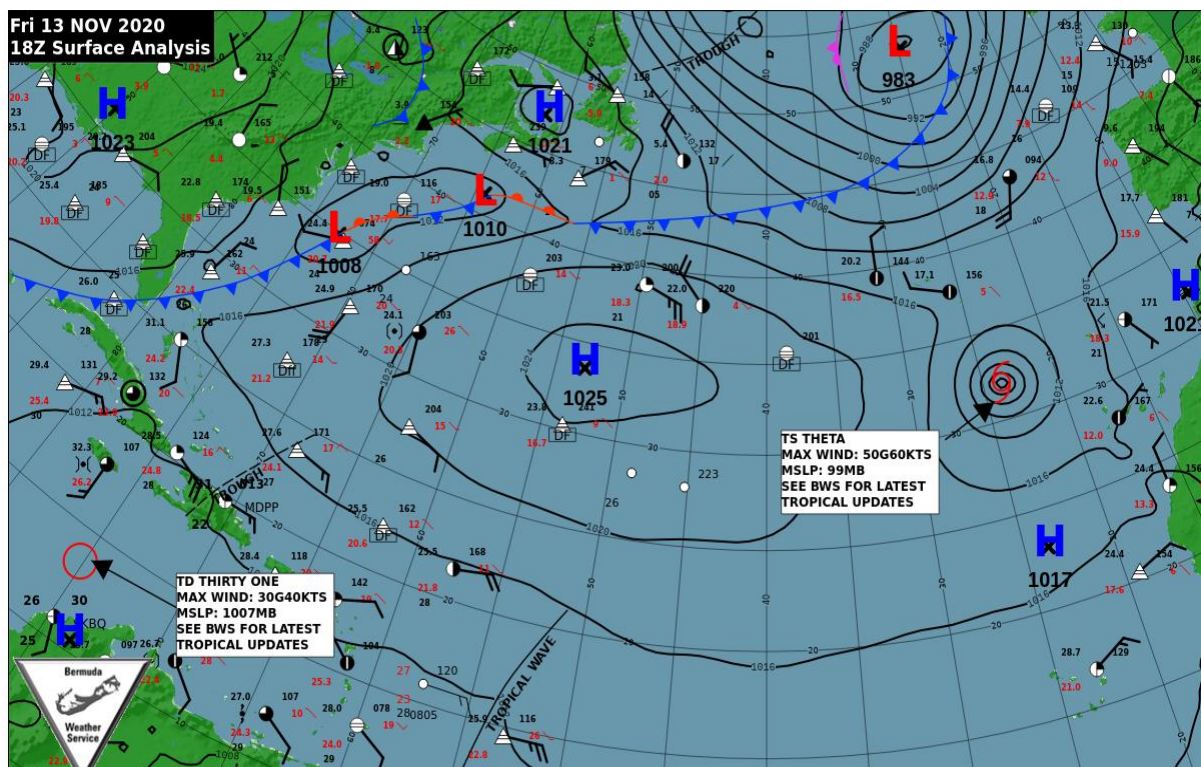


Рисунок 4.17 – Морська прогностична карта у стереографічній проекції (прогноз на 24 години від 18 UTC 13 листопада 2020 р.)
URL: <http://www.weather.bm/charts.asp>.

Під час виконання завдання використовуються наступні технічні характеристики судна: технічна швидкість судна (V_0) дорівнює 16 вузлам, водотоннажність судна (D) складає 20000 тонн. Початком переходу є 00 UTC першої доби, для якої наявні дані про висоту і напрямок хвилювання.

Етапи роботи:

Крок 1. Проаналізувати поточну синоптичну ситуацію та визначити ймовірні райони виникнення та розташування штормових зон в період плавання (на протязі 5 діб) у Північній Атлантиці.

Крок 2. Для вказаного маршруту (за табл. 4.1) провести локсодромію на карті у меркаторській проекції та ортодромію на карті у гномонічній проекції. Перенести (за координатами перетину локсодромією меридіанів через кожні 5°) локсодромію на карту у гномонічній проекції.

Крок 3. Використати штурманський метод: на карту у гномонічній проекції нанести межі прогностичних зон штормового хвилювання ($h \geq 4$ м) за 00 UTC кожної доби плавання (різними кольорами); підписати центри цих зон; прокреслити траєкторію для кожної зони протягом 5 діб плавання; проаналізувати зміни швидкості, напрямку зміщення та інтенсивності штормових зон. Також переноситься положення центрів циклонів та антициклонів; центри баричних утворень з'єднують лініями, що візуалізують траєкторію їх зміщення; вказують значення тиску в центрі, дату та час. Таким чином, вдається створити схематичну карту розвитку синоптичних процесів та хвилювання на 5 діб (рис. 4.18).

Проводимо аналіз, як розташовані штормові зони відносно ортодромії чи локсодромії.

Потрібно обрати безпечний маршрут (надаючи перевагу ортодромії) або прокласти новий найкоротший шлях до пункту призначення в обхід небезпечних зон. Якщо прийнято рішення про плавання за ортодромією (ДВК), то потрібно виконати попередню прокладку.

ДВК на морській навігаційній карті (у меркаторській проекції) зображується у вигляді кривої лінії, опуклої до полюса, тому практично плавання за ДВК виконується за ламаною лінією, яка складається з відрізків прямих, з'єднаних в точках, що лежать на ДВК, тобто з відрізків локсодромій, вписаних у ДВК. Такі проміжні точки можна нанести на морську карту у меркаторській проекції, використовуючи координати, що були зняті з карти у гномонічній проекції.

Потрібно перенести ортодромію з карти у гномонічній проекції (за координатами точок перетину ортодромією меридіанів через кожні 5°) на карту у меркаторській проекції. Аналогічно можна перенести будь-який інший обраний маршрут з карти у гномонічній проекції на карту у меркаторській проекції.

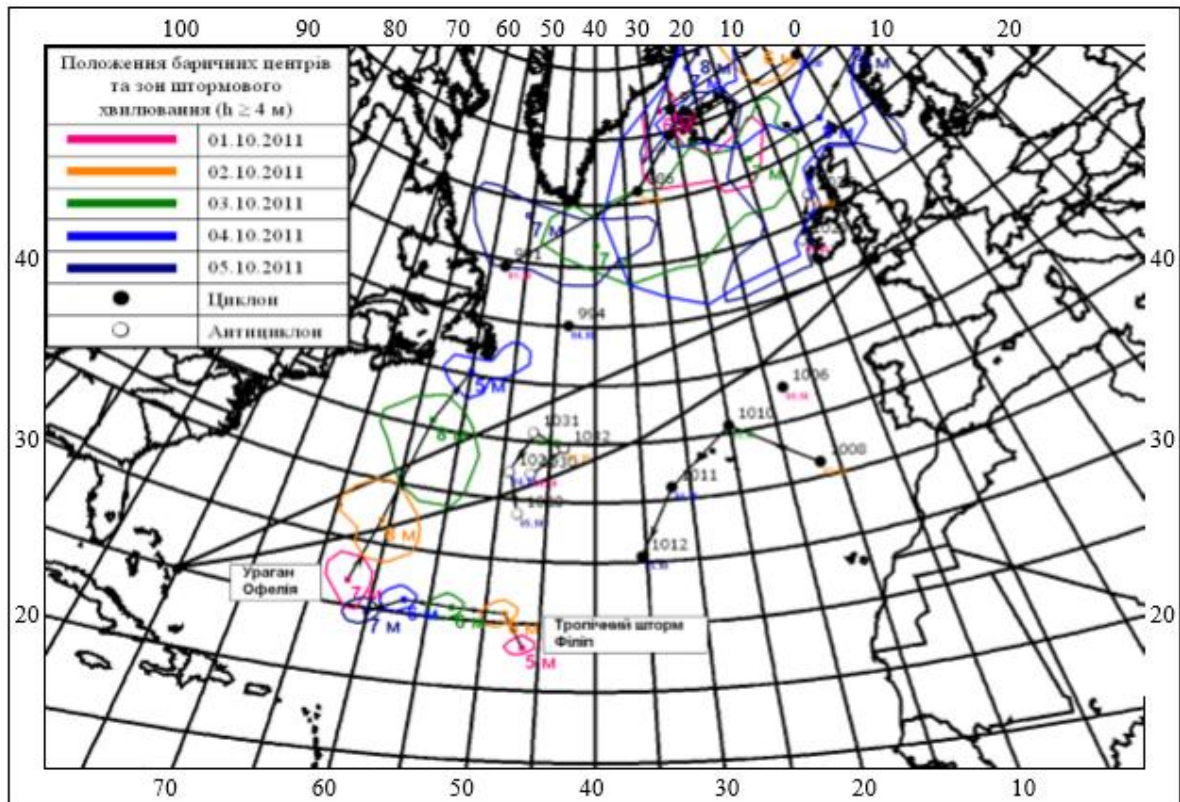


Рисунок 4.18 – Схематична карта розвитку синоптичних процесів та хвилювання для Північної Атлантики (у гномонічній проекції) (для трансатлантичного рейсу Англійський канал – Багамські острови). Пункт виходу та пункт призначення з'єднані ортодромією та локсодромією

Крок 4. Використовуючи метод ізохрон, розрахувати щодобовий шлях судна (на 5 діб) в залежності від висоти хвиль та прокласти маршрут на карті у меркаторській проекції.

Потрібно переносити (за координатами) положення судна на початку кожної доби переходу (у 00 UTC) на карту хвилювання, потім враховується середня висота хвиль (h) на шляху судна (куди воно буде рухатися на протязі найближчої доби), оцінюється курсовий кут хвиль (q).

На основі даних про хвилювання за формулою (4.4) розраховують швидкість ходу (V) судна у вузлах; потім за формулою (4.2) розраховують добовий шлях судна (за кожну добу) в морських милях (S_{24}).

Використовуючи формулу (4.3), переводимо відстань S_{24} у число градусів меридіана n_{24} . Отримавши число градусів меридіана, потрібно прикласти лінійку (або циркуль-вимірювач) до меридіана (карти у меркаторській проекції) в тому діапазоні широт, де знаходиться й робитиме перехід судно, симетрично до середньої широти шляху, який потрібно прокласти. Після цього градуси меридіана можна перевести в шлях судна і відкласти за допомогою лінійки (або циркуля-вимірювача).

В проміжних точках маршруту судна на карті (рис. 4.19) у вигляді стрілки з оперенням вказується прогноз швидкості та напрямку вітру, а також наноситься значення прогнозованої висоти хвилі (в метрах).

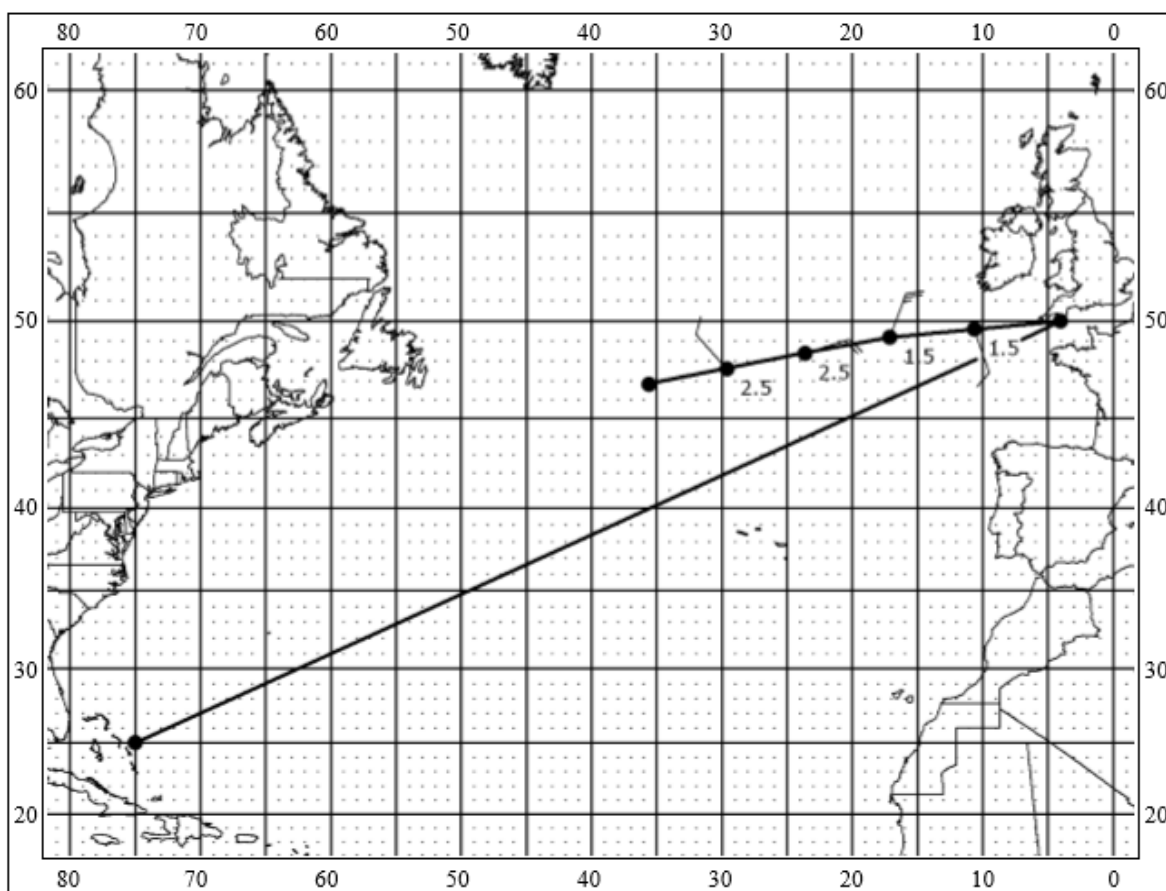


Рисунок 4.19 – Результати розрахунку оптимального курсу судна на морській навігаційній карті у меркаторській проекції та гідрометеорологічні умови (прогноз вітру та висоти хвиль) для трансатлантичного рейсу Англійський канал – Багамські острови. Пункт виходу та пункт призначення з'єднані локсодромією

Крок 5. Заповнити звітну таблицю результатами розрахунку оптимального курсу судна. Приклад рекомендації по вибору найвигіднішого шляху судна наводиться у табл. 4.2.

Звітні дані містять в собі результати, які були отримані аналітичним методом (після розрахунків за формулами) та графічним методом (під час виконання креслень на морських навігаційних та факсимільних картах).

Таблиця результатів розрахунків містить для всіх проміжних точок маршруту дату й час проходження судном цієї точки, географічні координати, курс, середню швидкість, відстань і час плавання до наступної точки

маршруту, а також прогностичні значення напрямку і швидкості вітру та висоти хвиль.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку оптимального курсу судна

Рекомендований курс 09.11.2020 р. Оператор (провідник): Петренко А.М. Рейс: Англійський канал – Багамські острови Планова швидкість ходу судна: 11 вузлів Водотоннажність судна: 20000 тонн										
Дата	Час	Широта	Довгота	Курс та відстань вздовж рекомендованого маршруту		Час плавання	Середня швидкість судна	Напрямок та швидкість вітру		Висота хвиль
	год. UTC									
				град.	м. м.	год.	вузли	град.	м/с	м
9.11.2020	00	50,00N	04,00W	267	246	24	10,25			
10.11.2020	00	49,60N	10,55W	267	248	24	10,33	156	4,7	1,5
11.11.2020	00	49,21N	17,09W	262	255	24	10,63	19	12,9	1,5
12.11.2020	00	48,43N	23,64W	257	251	24	10,46	68	11,5	2,5
13.11.2020	00	47,63N	29,63W	257	250	24	10,46	318	4,7	3
13.11.2020	00	46,83N	35,62W							
Час переходу: 120 годин										
Загальна відстань: 1251 м. м.										
Середня швидкість: 10,43 вузла										

Широту та довготу проміжних точок отримують з морської навігаційної карти у меркаторській проекції, курс вимірюють за допомогою кругового транспортира, відстань і середню швидкість розраховують за формулами, напрямок та швидкість вітру знімають з морських прогностичних карт, висоту хвиль у проміжних точках встановлюють шляхом інтерполяції по картам хвилювання за відповідні дати.

Щоб визначити курс судна на морській навігаційній карті у меркаторській проекції, транспортер потрібно прикласти центральним штрихом до проміжної точки на лінії курсу, розгорнути його нульовою поділкою на північ (вздовж істинного меридіана) та зняти відлік.

Звітні матеріали

Звітними матеріалами є заповнена табл. 4.2 і робоча карта, на яку нанесений рекомендований шлях.

Література до розділу 4

1. Manual on the Global Telecommunication System: Annex III to the WMO Technical Regulations. WMO-No. 386 / WMO. 2015. (2015 edition, updated in 2017).
2. Sybrandy F.L., Niiler P.P., et al. Barometer drifter design reference / *Global drifter program*. 2009. DBCP Report No. 4. Revision 2.2. 47 p.
URL: http://www.jcommops.org/doc/DBCP/svpb_design_manual.pdf. (дата звернення 25.05.2021).
3. Merrifield, M., et al. The Global Sea Level Observing System (GLOSS). *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. Venice, Italy, 21-25 September 2009. / Edited by Hall J., Harrison D.E., Stammer D. ESA Publication WPP-306. 2010. Vol. 2. P. 63.
4. Bernard, et al. Tsunami Resilient Communities // *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. 2009. Vol. 1. Venice, Italy. Pp. 21-25.
5. Meinig C., Stalin S.E., et al. Real-Time Deep-Ocean Tsunami Measuring, Monitoring, and Reporting System: The NOAA DART II Description and Disclosure / NOAA. 2005.
URL: http://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart_ii_description_6_4_05.pdf
(дата звернення 25.05.2021).
6. Івус Г.П. Практикум зі спеціалізованих прогнозів погоди: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2007. 328 с.
7. Руководство по морскому метеорологическому обслуживанию. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5447 (дата звернення 20.05.2021).
8. Абузьяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание / под ред. Е.С. Нестерова. Москва: ИГ–СОЦИН, 2009. 289 с.

5 ОПТИМАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГНОЗІВ ПОГОДИ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

5.1 Методи оцінки якості та критерії успішності прогнозів

Спеціалізовані прогнози погоди повинні характеризуватися певної якістю, яка визначається їх точністю, достовірністю, формулюванням та інформативністю.

Існують дві системи оцінки прогнозів, а саме: адміністративна та таблична (матрична).

Адміністративна система заснована на зібранні правил та допусків помилок при оцінці успішності одиничних прогнозів погоди. Прогнози по пункту чи окремої території оцінюються з відповідної *Настанові з прогнозування*. Згідно *Настанові* успішність прогнозу відзначається у відсотках, у вигляді загальної справджуваності. Адміністративна оцінка є одним з найкорисніших застосувань оцінки прогнозів, як визначення відносних здібностей різних синоптиків.

Зведення у вигляді таблиць зв'язаності. Коли прогнози даються по категоріях, то корисні зведення даних про передбачену і фактичну погоду можуть бути представлені у формі таблиці зв'язаності. Така таблиця сама по собі неслужить методом оцінки, проте вона забезпечує основу, по якій можна одержати ряд корисних критеріїв або індексів.

Міра успішності прогнозів. Інформація, що міститься в таблиці зв'язаності часто об'єднується в один індекс (S), який зветься коефіцієнтом успішності прогнозів. Він визначається рівністю

$$S = \frac{R - E}{T - E}, \quad (5.1)$$

де R - реальне число прогнозів, що виправдалися; T - загальне число прогнозів; E - очікуване число прогнозів, що виправдалися.

Число E одержують виходячи з якого-небудь простого стандартного прогнозу. Міра успішності прогнозів рівна *одиниці*, коли всі прогнози виправдалися, і рівна *нулю*, коли число прогнозів, що виправдалися, рівне їх очікуваному числу.

Коли значення прогнозованого елементу представлені безперервною чисельною шкалою, як завжди виражається температура, часто бажано дати критерій оцінки у вигляді середньої абсолютної або середньої квадратичної помилки.

Оцінка формулювань імовірності. Припустимо, що в кожному з N випадків подія може здійснюватися в одній із r можливих градацій і для одного з таких випадків, випадку за номером 1, величини $f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{ir}$ є

прогнозованими ймовірностями того, що подія відбудеться в градаціях з номерами 1, 2, ..., r відповідно. Якщо r градацій вибрані такими, що взаємно виключаються і вичерпуються, то

$$\sum_{j=1}^r f_{ij} = 1 \text{ при будь-якому } i = 1, 2, \dots, N.$$

Критерій успішності прогнозу Р може бути тоді визначений за допомогою наступної формули:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^N (f_{ij} - E_{ij})^2,$$

в якій E_{ij} приймає значення 1 або 0 залежно від того, чи відбулася подія в градації j чи не відбулася. Для ідеального прогнозу цей коефіцієнт дорівнює нулю, а для найгіршого прогнозу він дорівнює двом.

5.2 Аналіз справджуваності та економічної ефективності спеціалізованих прогнозів погоди

Підсправджуваністю прогнозу розуміють відповідність передбачуваного стану атмосфери тому, що здійснився. Визначення справджуваності всіх видів прогнозів проводиться негайно по закінченні строку їх дії.

Аналіз справджуваності полягає у виявленні причин розходження між передбаченим і тим, що спостерігався, станом атмосфери і отриманні статистичних характеристик, необхідних для визначення меж застосовності різних прогностичних методів і вибору із них найефективніших, вироблення оптимальної стратегії використання прогностичної інформації і рішення інших задач.

Помилки прогнозів залежно від причин, що їх викликали, бувають наступні:

1) помилки, що виникають за рахунок недостатньої точності і повноти вихідних даних, які використовувалися при розробці або при випуску прогнозу;

2) помилки, що виникають в результаті неправильного застосування прогностичного методу;

3) помилки, викликані недосконалістю самого прогностичного методу.

У реальних умовах помилки прогнозів викликаються сумісною дією всіх трьох чинників.

Кількісні прогнози. Для оцінки успішності кількісних прогнозів елементу Ф використовуються наступні критерії:

1) середня абсолютна помилка прогнозу (з точністю до 0,1)

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Phi_{\Pi} - \Phi_{\Phi}|_i; \quad (5.2)$$

2) середня відносна помилка прогнозу (з точністю до 0,01)

$$\varepsilon = \delta / \delta_{\Phi}, \quad (5.3)$$

де $\delta_{\Phi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Phi_{\Phi} - \Phi_{B}|_i$ - середня абсолютна фактична мінливість.

У формулах (5.2) і (5.3) N – загальне число складених прогнозів; Φ_{Π} , Φ_{Φ} , Φ_{B} – відповідно прогностичне, фактичне (у строк прогнозу) і вихідне значення елемента.

Чим менше δ і ε , тим кращий прогноз. При $\varepsilon = 1$ якість методичних прогнозів знаходиться на рівні інерційних, а при $\varepsilon > 1$ методичні прогнози гірші за інерційні;

3) середня квадратична помилка прогнозу (з точністю до 0,1)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Phi_{\Pi} - \Phi_{\Phi})_i^2}. \quad (5.4)$$

Чим менше σ , тим вища якість прогнозу.

4) середня арифметична (систематична) помилка прогнозу (з точністю до 0,1)

$$\hat{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Phi_{\Pi} - \Phi_{\Phi})_i. \quad (5.5)$$

Систематична помилка дозволяє судити про так звану фонову погрішність, тобто про методичне середнє зміщення прогностичної величини. Додатні значення $\hat{\delta}$ вказують на систематичне прогностичне завищення значень прогностичного елемента, від'ємні $\hat{\delta}$ - на їх заниження.

5) середнє квадратичне відхилення помилки прогнозу (стандартна помилка) (з точністю до 0,1)

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left((\Phi_{\Pi} - \Phi_{\Phi})_i - \overline{(\Phi_{\Pi} - \Phi_{\Phi})} \right)^2}. \quad (5.6)$$

У порівнянні з σ , величина $\hat{\sigma}$ враховує вклад систематичних помилок, що допомагає автору вносити необхідну корекцію в метод прогнозу;

6) кореляція тенденцій – коефіцієнт кореляції між прогностичними і фактичними змінами елемента (з точністю до 0,01)

$$r_T = \frac{\sum_{i=1}^N ((\delta_n)_i - \bar{\delta}_n)((\delta_\Phi)_i - \bar{\delta}_\Phi)}{N\sigma_n\sigma_\Phi}, \quad (5.7)$$

При точному прогнозі $r_T = 1$, при поганому $r_T = 0$.

Альтернативні прогнози. При альтернативних прогнозах розподіл випадків здійснення фаз предиктанта Φ_1 і Φ_2 представляється у вигляді матриці зв'язаності (табл. 5.1). За даними таблиці оцінюється успішність альтернативних прогнозів за допомогою наступних критеріїв: справджуваність прогнозів наявності і відсутності явища, попередження випадків з явищем і без явища, критерії М.О.Багрова, О.М.Обухова та інші.

Таблиця 5.1 – Справджуваність альтернативних прогнозів

Прогноз	Спостерігалось		
	Φ_1	Φ_2	Сума
Φ_1	n_{11}	n_{12}	n_{10}
Φ_2	n_{21}	n_{22}	n_{20}
Сума	n_{01}	n_{02}	n_{00}

Справджуваність прогнозів у відсотках розраховується:

- загальна (U);
- наявності ($U_{\text{я}}$) явища;
- відсутності ($U_{\text{б,я}}$) явища.

$$U = 100 (n_{11} + n_{22}) / n_{00}; \quad (5.8)$$

$$U_{\text{я}} = 100 n_{11} / n_{10}; \quad (5.9)$$

$$U_{\text{б,я}} = 100 n_{22} / n_{20}, \quad (5.10)$$

де n_{11} і n_{22} – число прогнозів, що спрадилися, з явищем і без явища відповідно; n_{00} – загальне число прогнозів; n_{10} і n_{20} – відповідно число прогнозів з явищем і без явища. Крім того, розраховується попередженість у процентах випадків з явищем ($\Pi_{\text{я}}$) і без явища ($\Pi_{\text{б,я}}$) за формулами:

$$\Pi_{\text{я}} = 100 n_{11} / n_{01}; \quad (5.11)$$

$$\Pi_{\text{б,я}} = 100 n_{22} / n_{02}, \quad (5.12)$$

де n_{01} і n_{02} – відповідно фактичне число днів з явищем і без явища.

Для характеристики успішності методу прогнозів з урахуванням випадкових прогнозів необхідно розрахувати *критерій надійності* М.О.Багрова:

$$H = \frac{(U - U_0)}{(1 - U_0)}, \quad (5.13)$$

де $U_0 = (m_1 + m_2) / n_{00}$ – справджуваність випадкових прогнозів;

$m_1 = n_{10} n_{01} / n_{00}$; $m_2 = n_{20} n_{02} / n_{00}$;

$\alpha = n_{21} / n_{01}$ – помилка ризику метода;

$\beta = n_{12} / n_{02}$ – помилка страховки метод;

$Q_0 = 1 - \alpha - \beta$ – критерій якості за *О.М.Обуховим*.

Встановлено, що прогнози з $H < 0,33$ є ненадійними. Для того, щоб значення критерію надійності було показовим, імовірність здійснення явища, що прогнозується, повинна перевищувати його природну повторюваність.

Для оцінки якості альтернативних прогнозів може бути застосований і критерій якості прогнозів *Пірсі-Обухова*:

$$T = n_{11} / n_{01} - n_{12} / n_{02} = n_{22} / n_{02} - n_{21} / n_{01}, \quad (5.14)$$

де n_{12} і n_{21} – число прогнозів, що не справилися, з явищем і без явища, відповідно.

Значення T може змінюватися від -1 до 1 . Від'ємне значення T свідчить про те, що відношення помилкових прогнозів явища до фактичного числа днів без явища перевищує відношення прогнозів явища, що виправдалися, до фактичного числа днів з явищем ($\Pi_{\text{я}}$). Додатні значення T свідчать про те, що попередженість явища ($\Pi_{\text{я}}$) перевищує відношення помилкових прогнозів явища до фактичного числа днів без явищ. При ідеальному прогнозі $T = 1$.

Сумарний показник ($U_{\text{я}} + \Pi_{\text{я}}$), характеризує найважливіші сторони методупрогнозу. Величина $(U_{\text{я}} + \Pi_{\text{я}}) \geq 130\%$ характеризує задовільну якість прогнозів і успішність методики, що перевіряється, в цілому.

Всі відомості про успішність методів прогнозів доцільно представляти за формою табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Матриця зв'язаності

Прогноз	Спостерігалось		Сума	U	U + П
	явище	без явища			
Явище	n_{11}	n_{12}	n_{10}	$U_{\text{я}}$	$U_{\text{я}} + \Pi_{\text{я}}$
Без явища	n_{21}	n_{22}	n_{20}	$U_{\text{б,я}}$	$U_{\text{б,я}} + \Pi_{\text{б,я}}$
Сума	n_{01}	n_{02}	n_{00}		
П	$\Pi_{\text{я}}$	$\Pi_{\text{б,я}}$	T	H	

Оцінка справджуваності прогнозів, що містять кількісні характеристики температури повітря, швидкості і напрямку вітру (включаючи шквали), опадів, хуртовин, ожеледі і граду, проводиться згідно Настанови. Крім цього для температури повітря, точки роси, вітру і опадів розраховуються статистичні характеристики.

Контрольні запитання

1. Чім визначається якість спеціалізованого прогнозу погоди?
2. Для чого проводять оцінку метеорологічних прогнозів?
3. Які критерії використовуються при аналізі справджуваності альтернативних прогнозів загального користування?
4. За допомогою яких критеріїв можна оцінити успішність кількісних прогнозів?
5. Що таке справджуваність прогнозів?

Завдання

Оцінити успішність прогнозів гроз, складених за методом Лебедєвої, Уайтінга, Фауста, Кокса, Славіна, Бейлі для заданого району.

Методичні вказівки

Розрахувати критерії успішності за формулами 5.8 – 5.14 двома способами за вказівкою викладача. Критерії Багрова, Обухова, Пірсі-Обухова визначити до сотих долей. Порівняти результати виконаних розрахунків і зробити висновок про відносну успішність розглянутих методів прогнозу гроз.

Вихідні матеріали

Таблиця справджуваності вказаних методів прогнозу (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Справджуваність (число випадків) прогнозу гроз за різними методами

Фактичне значення	Метод								
	Лебедєвої			Уайтінга			Фауста		
	П	$\bar{П}$	Σ	П	$\bar{П}$	Σ	П	$\bar{П}$	Σ
Φ	89	160	249	190	23	213	96	108	204
$\bar{\Phi}$	175	1232	1407	646	553	1199	141	1071	1212
Σ	264	1392	1656	836	576	1412	237	1179	1416
	Кокса			Славіна			Бейлі		
Φ	126	66	192	159	47	206	148	54	202
$\bar{\Phi}$	229	913	1142	492	664	1156	445	690	1135
Σ	355	979	1334	651	711	1362	593	744	1337

Звітні матеріали

Заповнена таблиця оцінки успішності прогнозу гроз (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Характеристики справджуваності прогнозу метеорологічних явищ

Метод (автор)	Завчасність прогнозу	Кількість прогнозів	Справджуваність					T	H	Q
			Загальна (U)	Наявності явища ($U_{\text{я}}$)	Відсутності явища ($U_{\text{б,я}}$)	Попередження явища ($\Pi_{\text{я}}$)	Попередження відсутності явища ($\Pi_{\text{б,я}}$)			

Література до розділу 5

1. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди. Одеса: ТЕС. 2012. 407 с.
2. Настанова з метеорологічного прогнозування/ Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2019. 35 с. URL: https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/настанова%20з%20метеорологічного%20прогнозування.pdf (дата звернення 30.05.2021)
3. Шевченко О.Г., Сніжко С. І., Вітренко А. О. Економічна метеорологія. – Київ: Майстерня книг. 2019. 352 с.
4. Sene K. Hydrometeorology: Forecasting and Applications. United Kingdom: Springer, 2010.

Предметний покажчик

А Альтернативні прогнози 57, 139 В Видимість 65, 111 Г Град 67 Гроза 69 Д Дрифтер 116 Е Економічна ефективність 137 З Зони конвергенції 83 І Індекси нестійкості атмосфери 70, 71, 72 Інверсія 55 К Конвективні явища 69, 80 Л Лінії нестійкості (шквалів) 84 Локсодромія 120 М Мезомасштабні конвективні комплекси 80 Метеорологічні умови забруднення 54, 57 Міра успішності прогнозів 140 Мряка 97	Н Небезпечні метеорологічні явища 29 О Обледеніння 96 Обмерзання 113 Ожеледь 96 Ожеледиця 98 Ортодромія 120 П Паморозь 98 Пилова буря 64 Пожежна безпека 37 Р Радар 73, 84 С Смерч 69 Системи глибокої конвекції 69, 80 Справджуваність прогнозів 137 Стихійні метеорологічні явища 29 Стратифікація атмосфери 55, 75 Ф Фронт атмосферний 69, 82 Х Хуртовини 106 Ш Шар змішення 57 Шквал 25, 79 Штормове попередження 14, 29
---	--

Навчальне електронне видання

АГАЙАР Елліна Вікторівна

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ПРОГНОЗИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЯВИЩ ПОГОДИ

Навчальний посібник

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

Е-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016