

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для лабораторних робіт з дисципліни

«Спеціалізовані прогнози погоди» на тему:

«Оцінка надійності, якості та ефективності методів прогнозу погоди»

ОДЕСА – 2010

Методичні вказівки для лабораторних робіт з дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди» на тему: «Оцінка надійності, якості та ефективності методів прогнозу погоди» для студентів 5 курсу, напрям підготовки – «Гідрометеорологія», спеціальність «Метеорологія» / Укладачі: к. геогр.н., проф. Івус Г.П., ас. Гурська Л.М.; укр., 30 стор.

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Спеціалізовані прогнози погоди» належить до циклу професійно-орієнтованих дисциплін підготовки студентів з напрямку «Гідрометеорологія» за спеціальністю 7.070601 – «Метеорологія».

**Мета дисципліни** - підготовка фахівців, які володіють глибокими теоретичними знаннями та практичними навиками, що необхідні для якісного проведення метеорологічного обслуговування народного господарства.

Дані методичні вказівки спрямовані на організацію лабораторних робіт під час вивчення тем: «Оцінка справджуваності прогнозів погоди» і «Аналіз ефективності, надійності та якості спеціалізованих прогнозів погоди», які є складовими частинами розділу «Аналіз справджуваності прогнозів погоди». Завдання складає – 4 години лабораторних занять і 15 годин - самостійна робота студентів.

Методичні вказівки містять дві лабораторні роботи, які становлять один модуль з практичної частини дисципліни. Оцінювання завдання проводиться за кредитно-модульною системою відповідно до робочої програми.

При вивченні теми студент повинен:

**Знати:** основні принципи контролю якості прогнозів погоди;

**Вміти:** оцінювати успішність, надійність, ефективність методів прогнозу явищ погоди для заданого району і за вказаною методикою.

### Перелік літератури

1. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 616 с.
2. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 712 с.
3. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди. – Одеса, 1998. – 160 с.
4. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди. – Одеса, «Екологія», 2007. – 322 с.
5. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. - Київ, Держ. ком. України з гідрометеорології, 2004. - 31 с.
6. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. - М.: Госгидромет, 1991. – 150 с.

# 1 ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ, ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУ ПОГОДИ

Під оцінкою справджуваності звичайно розуміють весь процес порівняння передбаченої і фактичної погоди. Отримані таким чином дані використовуються для обчислення одного чи більше індексів або критеріїв успішності. Потім, в залежності від цілі вказаної перевірки, ці критерії порівнюються з деяким стандартом.

Спочатку оцінки прогнозів проводили для того, щоб підтвердити доцільність існування тільки но організованих національних служб погоди.

Економічні цілі оцінки. Оскільки єдиною метою оперативного прогнозування є економія праці і засобів, зрозуміло, що однією з головних задач оцінки справджуваності є визначення економічної цінності виконаних прогнозів. Проте така оцінка, особливо коли йдеться про економіку в цілому, складна або взагалі неможлива, бо застосування прогнозів надзвичайно різноманітне і споживачі розкидані по всій країні. Оскільки звичайно оцінка прогнозів в економічному виразі неможлива, в більшості випадків бажано визначити надійність прогнозів погоди шляхом оцінки ступеня їх відповідності дійсності і виразу результатів у деякій довільній шкалі такій, як помилки прогнозу в градусах Цельсія (Фаренгейта) або успішність прогнозу у відсотках.

Адміністративні цілі оцінки прогнозу. Одним з найкорисніших застосувань оцінки прогнозів є визначення відносних здібностей різних синоптиків. Методики оцінки, застосовані до офіційних прогнозів бюро погоди, можуть значною мірою сприяти контролю за якістю продукції цього бюро. Ще одна перевага системи перевірки полягає у тому, що саме її існування, нехай навіть у недосконалому вигляді, примушує синоптиків бути більш уважними і зацікавленими в збереженні точності прогнозів.

Наукові цілі оцінки прогнозу. Однією з цілей метеорологічної науки є отримання можливості точно передбачати стан атмосфери у будь-який момент часу в майбутньому. Добитися цього складно, але все-таки за останні декілька десятиліть був досягнутий значний прогрес в розумінні фізики атмосфери. Для отримання інформації про тенденцію в точності прогнозів можна застосувати статистичні характеристики, хоча технічні труднощі в отриманні таких точних характеристик можуть бути великими. Іншою науковою ціллю оцінки прогнозів є аналіз помилок прогнозів для визначення їх природи і можливої причини.

## 1.1 Методи оцінки якості і критерії успішності прогнозів

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 не служить 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

$$S = \frac{R - E}{T - E},$$

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 елемента представлені безперервною чисельною шкалою, якою завжди виражається температура, часто бажано дати критерій оцінки у вигляді середньої абсолютної або середньої квадратичної помилки.

Ці критерії можна також використовувати для оцінки чисельних моделей прогнозів тиску шляхом порівняння прогнозованого і спостереженого значень тиску або градієнтів тиску для ряду вибірових станцій або точок на карті.

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  $P$  може бути тоді визначений за допомогою наступної формули:

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

у 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. Ідеальний прогноз визначається в даному випадку як "правильний прогноз очікуваного явища з імовірністю одиниця, тобто зі 100% впевненістю". Якнайменше точний з можливих прогнозів визначається як "затвердження ймовірності, що дорівнює одиниці, тобто впевненості в настанні явища, яке не здійснилося" (і також "затвердження ймовірності, рівної нулю, для явища, яке фактично здійснилося"). Можна показати, що, якщо  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_r$  - відповідна кліматологічна імовірність для градації 1, 2, 3, ..., r, то при повній відсутності синоптичної кваліфікації якнайкращі значення, які слід вибрати для  $f_{ij}$  і у всіх  $N$  випадках, будуть  $P_j$ . Це призведе до того, що при постійних значеннях  $f_{1j} = f_{2j} = \dots = f_{Nj}$  критерій  $P$  буде мінімальним і очікувана величина його

$$E(P) = 1 - \sum_{j=1}^N P_j^2.$$

Для оцінки прогнозів можна розробити велике число критеріїв.

Іноді може знадобитися оцінка вибраних випадків, при яких прогностичні або спостережувані значення представляють особливий інтерес. При цьому зручно до оцінки прогнозів перетворити їх в прогнози не самих величин, а їх змін.

## 1.2 Оптимальна стратегія використання прогностичної інформації

Відомості про очікуваний стан атмосфери, що містяться в прогнозах погоди, використовуються споживачами метеорологічної інформації при плануванні їх діяльності на відповідний період. План дій споживача, складений з урахуванням прогнозу, називають оптимальною стратегією використання прогностичної інформації. Ефективність діяльності споживача може оцінюватися матеріальними витратами.

Погодні умови, до здійснення яких готувався споживач, назвемо тими, що очікувалися. Припустимо, що для кожного із можливих поєднань умов, що очікувалися і здійснилися, визначені витрати (збиток) споживача. У загальному випадку, якщо позначити через  $\Delta_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ ) витрати споживача, що очікував здійснення  $i$ -того стану атмосфери, при здійсненні  $j$ -того її стану, і через  $P_j$  вказану в прогнозі ймовірність здійснення  $j$ -того стану, то очікувані витрати споживача при різних планах його дій можна представити у вигляді суми:

$$R_i = \sum_{j=1}^N \Delta_{ij} P_j, \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Оптимальним для даного розподілу  $P_j$  є план, що забезпечує  $R_{i \min}$ .

У теорії статистичних рішень очікувані витрати (втрати) споживача, відповідні певному плану його дій, прийнято називати умовним ризиком, а сформульоване вище правило вибору плану дій – байєсовським вирішальним правилом. Виробленню оптимальної стратегії перешкоджає як прийнята практика розробки прогнозів у категоричній формі, так і відсутність для ряду споживачів таблиць витрат залежно від метеорологічних умов.

Єдиним методом оптимізації є метод експертних оцінок, зміст якого зручно показати на конкретному прикладі. Розглянемо стратегію використання в авіації альтернативних прогнозів гроз (табл. 1).

Таблиця 1 – Розподіл критерію ефективності (К) за різних погодних умов

Погодні умови, що очікувались	Погодні умови, що здійснилися	
	Гроза	Без грози
Гроза	$K_{11}$	$K_{12}$
Без грози	$K_{21}$	$K_{22}$

Нехай у відповідності з прогнозом імовірність грози на протязі періоду, що розглядається, дорівнює  $P$ . Тоді для оцінки імовірності ефективності діяльності споживача, який розраховував на здійснення грози, отримаємо

$$\bar{K}_{\text{ГР}} = K_{11}P + K_{12}(1 - P),$$

і який розраховував на відсутність гроз:

$$\bar{K} = K_{21}P + K_{22}(1 - P).$$

Оптимальна стратегія визначається шляхом порівняння вказаної в прогнозі імовірності гроз  $P$  з граничним значенням імовірності  $P_{\Pi}$

$$P_{\Pi} = \frac{1}{1 + \alpha}, \quad \alpha = \frac{K_{21}}{K_{12}},$$

причому стратегія «гроза» вибирається при  $P > P_{\Pi}$  і стратегія «без грози» при  $P < P_{\Pi}$  (при  $P = P_{\Pi}$  обидві стратегії однаково ефективні).

### 1.3 Аналіз справджуваності та економічної ефективності прогнозів

Під справджуваністю 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.

Середнє значення вказаних внесків порівняно просто знаходиться в припущенні про статистичну незалежність помилок різних груп:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 ,$$

де  $\Delta_{\Sigma}$  - сумарна помилка прогнозу;  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  - помилки прогнозу 1, 2, 3 груп.

Відносний внесок кожного з доданків у сумарну помилку прогнозів:

$$\frac{\Delta_1^2}{\Delta_{\Sigma}^2} ; \quad \frac{\Delta_2^2}{\Delta_{\Sigma}^2} ; \quad \frac{\Delta_3^2}{\Delta_{\Sigma}^2} .$$

Жоден із сучасних прогностичних методів не гарантує постійного збігу передбаченого значення (фази) даної метеорологічної величини зі спостереженням. З цієї точки зору всі прогнози є імовірнісними. Споживачу повідомляються ті значення метеорологічної величини, здійснення яких у даному випадку найбільш імовірне. Проте споживачу прогнозів зовсім не байдуже, з якою саме імовірністю очікується те чи інше погодне явище. Споживачу повинні бути відомі значення ймовірностей здійснення різних явищ при даному формулюванні прогнозу. Визначення цих імовірностей також складає одну з важливих задач аналізу справджуваності прогнозів.

Першим кроком аналізу є формування початкової вибірки, тобто відбір випадків (прогнозів), за якими будуть проводитися розрахунки. До неї повинні увійти прогнози, складені за аналогічних початкових умов (географічний район, пора року і доби, синоптична обстановка). Разом з тим бажано, щоб початкова вибірка включала всі варіанти атмосферних процесів, для яких рекомендовано застосування даного прогностичного методу.



За матеріалами початкової вибірки будується таблиця розподілу (табл. 2), що є основою для подальшої статистичної обробки, оскільки надалі повторюваності, приведені в табл. 2, розглядатимуться як імовірності відповідних подій. Причому, табл. 2 містить якнайповнішу статистичну характеристику справджуваності прогнозів, але для аналізу справджуваності прогнозів основні особливості розподілу, представленого табл. 2, бажано виразити одним числом.

Методика розрахунку числових характеристик розподілу, так званих, критеріїв успішності, залежить від виду прогнозів.

Кількісні прогнози. Для оцінки успішності кількісних прогнозів елементу  $\mathcal{E}$  використовуються наступні критерії:

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

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

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

$$\varepsilon = \delta / \delta_{\Phi}, \quad (2)$$

де  $\delta_{\Phi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\mathcal{E}_{\Phi} - \mathcal{E}_{\text{В}}|_i$  - середня абсолютна фактична мінливість.

У формулах (1) і (2)  $N$  – загальне число складених прогнозів;  $\mathcal{E}_{\Pi}$ ,  $\mathcal{E}_{\Phi}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{В}}$  – відповідно прогностичне, фактичне (у строк прогнозу) і вихідне значення елемента.

Чим менше  $\delta$  і  $\varepsilon$ , 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)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathcal{E}_{\Pi} - \mathcal{E}_{\Phi})_i^2}. \quad (3)$$

Чим менше  $\sigma$ , тим вища якість прогнозу. У порівнянні з середньою абсолютною помилкою прогнозу  $\delta$  в середню квадратичну помилку  $\sigma$  найбільший вклад вносять значні різниці  $(\mathcal{E}_{\Pi} - \mathcal{E}_{\Phi})$ . При нормальному розподілі помилок  $\sigma = 1,25\delta$ . У реальних умовах значення  $\sigma$  приблизно на 20% перевищують значення  $\delta$ ;

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

$$\hat{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Y}_{\Pi} - \hat{Y}_{\Phi})_i. \quad (4)$$

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)

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( (\hat{Y}_{\Pi} - \hat{Y}_{\Phi})_i - (\bar{Y}_{\Pi} - \bar{Y}_{\Phi}) \right)^2} . \quad (5)$$

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

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

$$r_T = \frac{\sum_{i=1}^N \left( (\delta_n)_i - \bar{\delta}_n \right) \left( (\delta_{\Phi})_i - \bar{\delta}_{\Phi} \right)}{N \sigma_n \sigma_{\Phi}} , \quad (6)$$

$$\text{де } \bar{\delta}_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathcal{E}_{\Pi} - \mathcal{E}_B)_i ; \quad \bar{\delta}_{\Phi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathcal{E}_{\Phi} - \mathcal{E}_B)_i ;$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( (\delta_n)_i - \bar{\delta}_n \right)^2} ; \quad \sigma_{\Phi} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( (\delta_{\Phi})_i - \bar{\delta}_{\Phi} \right)^2} .$$

При точному прогнозі  $r_T = 1$ , при поганому  $r_T = 0$ . Слід відмітити, що значення  $\varepsilon$  та  $r$  при нормальному розподілі величин, що перевіряються, пов'язані між собою співвідношенням:

$$r = \sqrt{1 - \varepsilon^2} \quad \text{або} \quad r^2 + \varepsilon^2 = 1 .$$

Звідси слідує, що зі зменшенням (збільшенням)  $\varepsilon$  повинен збільшуватись (зменшуватись) коефіцієнт кореляції  $r$ .

Альтернативні прогнози. При альтернативних прогнозах розподіл випадків здійснення фаз предиктанта  $\mathcal{E}_1$  і  $\mathcal{E}_2$  представляється у вигляді матриці зв'язаності (табл. 2). 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 2 – Справджуваність альтернативних прогнозів

Прогноз	Спостерігалось		
	Э <sub>1</sub>	Э <sub>2</sub>	Сума
Э <sub>1</sub>	n <sub>11</sub>	n <sub>12</sub>	n <sub>10</sub>
Э <sub>2</sub>	n <sub>21</sub>	n <sub>22</sub>	n <sub>20</sub>
Сума	n <sub>01</sub>	n <sub>02</sub>	n <sub>00</sub>

Тут  $n_{ij}$  – число прогнозів і фактичне число днів з явищем / без явища.

Багатофазові якісні прогнози. Основним критерієм успішності багатофазових якісних прогнозів є кількість прогностичної інформації. Як наголошувалося, таблиця розподілу (табл. 1) дозволяє приблизно судити про імовірність здійснення різних градацій (фаз) елементу при даному формулюванні прогнозу. Так, при формулюванні прогнозу  $A_i$  імовірність здійснення градації  $A_1$  можна вважати рівною  $P_{i1}$ , а градації  $A_2$  рівною  $P_{i2}$  і т.д. Цей розподіл імовірностей, очевидно, характеризує ступінь невизначеності висновку прогнозиста про очікуваний стан атмосфери (градацію або фазу предиктанта). Як міра невизначеності станів імовірних систем в математиці використовується статистична ентропія  $H$ , яка розраховується за формулою

$$H = -\sum_n P \log P,$$

де  $n$  - число можливих станів (фаз) системи;  $P$  - імовірність того, що система знаходиться в даному стані (у даній фазі).

Стосовно даного розподілу (табл. 1) вказана формула для сукупності прогнозів з формулюванням  $A_i$  набуває вигляду:

$$H_{i0} = -\sum_{j=1}^l P_{ij} \log P_{ij}.$$

Величина окремої статистичної ентропії  $H_{i0}$  характеризує невизначеність відомостей про майбутнє значення предиктанта, що містяться в прогнозах з формулюванням  $A_i$ .

Повна або середня ентропія всієї сукупності прогнозів  $H$  утворюється як середня зважена із значень  $H_{i0}$ :

$$H = \sum_{i=1}^k P_{i0} H_{i0}.$$

Нагадаємо основні властивості статистичної ентропії, що дозволяють використовувати її як міру невизначеності прогностичних відомостей.

Величина  $H_{i0}$  досягає максимуму, якщо при даному формулюванні прогнозу здійснення всіх значень предиктанта рівноймовірно ( $P_{i1} = P_{i2} = P_{il}$ ). Навпаки, якщо будь-яка із його градацій передбачається з імовірністю,

близькою до одиниці (наприклад,  $P_{i2} \approx 1$ ,  $P_{ij} \approx 0$  при  $j \neq 2$ ), то  $H_{i0} \approx 0$ , тобто прогностичні відомості містять мінімальну невизначеність. Збільшення числа градацій в табл. 1 приводить до зростання  $H_{i0}$ . Оскільки  $P_{ij}$  завжди менше одиниці,  $\log P_{ij} < 0$  і  $H_{ij} > 0$  - ентропія завжди є позитивною величиною. Нескладно бачити, що при випадковому прогнозі, коли, за визначенням випадкового прогнозу,  $P_{ij} = P_{0j}$  будь-яких  $i$  та  $j$ :

$$H_0 = -\sum_{j=1}^l P_{0j} \log P_{0j}.$$

Ентропія випадкових прогнозів визначається кліматологічним розподілом імовірностей різних градацій елемента, незалежним від формулювання прогнозу. Тому ентропію випадкових прогнозів  $H_0$  прийнято називати кліматологічною або безумовною.

Для оцінки змістовності прогностичних відомостей зручно ввести величину  $I = H_0 - H$ , яка характеризує зменшення невизначеності відомостей про майбутній стан атмосфери (градацію або фазу елемента), що містяться в методичних прогнозах, в порівнянні із випадковими, й що одержала назву кількості прогностичної інформації. Іноді як критерій успішності прогнозів використовують питому кількість прогностичної інформації, рівну відношенню  $I/H_0$ .

При порівнянні різних прогностичних методів більш досконалим признається той метод, для якого величина  $I$  (або  $I/H_0$ ) виявляється максимальною. Легко бачити, що для будь-яких випадкових прогнозів  $I = 0$  і  $I/H_0 = 0$ , а для ідеальних  $I = H_0$ ,  $I/H_0 = 1$ . Таким чином, величини  $I$  та  $I/H_0$  лежать у діапазонах:  $0 \leq I \leq H_0$  та  $0 \leq I/H_0 \leq 1$ .

#### **1.4 Оцінка якості нових та удосконалених методів прогнозу із завчасністю до 48 год у виробничих умовах**

Виробничі (оперативні) випробування нових та удосконалених методів гідрометеорологічних прогнозів є невід'ємною частиною процесу їх впровадження в оперативну практику. Рішення про доцільність впровадження в оперативну практику підрозділів Гідрометслужби України нових і вдосконалених методів прогнозів приймаються при позитивних результатах їх виробничих випробувань.

Встановлена наступна тривалість випробування різних видів прогнозів:

- для чисельних схем прогнозу метеорологічних елементів - не більше шести місяців (на оперативному матеріалі або з використанням стандартних архівів метеорологічних полів);

- для короткострокових і середньострокових прогнозів погоди, гідрологічних і морських прогнозів - до одного року.

Для скорочення термінів випробування і отримання статистично надійних висновків про надійність методів прогнозу гідрометеорологічних явищ з малою природною повторюваністю (небезпечних і стихійних) в період виробничих випробувань рекомендується використовувати незалежний ряд спостережень з архівів минулих років.

На підставі розгляду результатів випробувань Технічні (Вчені) ради ухвалюють рішення про доцільність впровадження розробленого методу в якості основного, допоміжного або консультативного, а також про недоцільність впровадження у зв'язку з низькою надійністю методу, у разі потреби - про подальше вдосконалення методу.

У дані методичні вказівки включені сучасні системи оцінок і методики проведення виробничих випробувань різних видів гідрометеорологічних прогнозів деяких небезпечних і стихійних явищ.

В основу оцінок різних видів прогнозів, що приводяться нижче, покладені принципи, висловлені у відповідних Наставляннях по службі прогнозів.

#### **1.4.1 Особливості випробування розрахункових методів прогнозу погоди**

Розрахункові методи короткострокових прогнозів погоди призначені, як правило, для передобчислення будь-якого метеорологічного елементу або явища погоди по пункту або по території з приблизним радіусом 100...150 км. Завчасність цих прогнозів складає від 1 год (авіаційні або надкороткострокові прогнози) до 48 год (прогнози загального користування, спеціалізовані прогнози). Ці методи дозволяють прогнозувати або факт виникнення окремих метеорологічних явищ (гроза, ожеледь тощо), або кількісні характеристики метеорологічних елементів і явищ погоди (температури, опадів, швидкості вітру, видимості в туманах, розміри граду тощо). При цьому останні можна поділити за інтенсивністю елементів і явищ, що прогнозуються, на три групи методів:

- ті, що передбачають прогноз метеорологічних елементів будь-яких значень і явищ погоди різної інтенсивності (температура, опади, вітер, ожеледь, град, туман, завірюха тощо);

- ті, що передбачають в прогнозі певний діапазон метеорологічних величин або певну інтенсивність явищ погоди (значні дощі, сильний вітер, включаючи шквал, помірний і сильний град, помірну і сильну бовтанку тощо). Це перш за все методи прогнозу метеорологічних елементів, віднесених до категорій стихійних і тих, що представляють найбільшу важливість для організацій народного господарства;

- ті, що передбачають прогноз комплексу метеорологічних елементів або явищ погоди (два або більше), які спостерігаються одночасно (сильний вітер і сильний дощ, дощ з грозою і шквалом тощо). Це методи прогнозу метеорологічних величин і явищ погоди, які відносяться до категорії

стихійних, а також що мають будь-які кількісні значення.

Відмічені особливості методів прогнозів обумовлюють відмінності в методиці проведення їх оперативних випробувань. А саме, ряд випадків при випробуванні вказаних методів може бути неоднаковим. Так, для отримання надійних висновків про якість методів прогнозу першої і третьої груп необхідний ряд в 60...100 випадків. При випробуванні методів прогнозу стихійних явищ погоди і тих, що рідко спостерігаються, або окремої градації метеорологічних величин об'єм вибірки повинен бути не менше їх природної повторюваності або більше за неї. Зважаючи на це встановлення природної повторюваності вказаних метеорологічних елементів і явищ погоди шляхом опрацювання режимного матеріалу є попереднім і дуже важливим етапом випробування.

Для збільшення ряду випадків з явищами погоди, що рідко спостерігаються, допускається залучення незалежного (що не брав участь в розробці цього методу) матеріалу минулих років. У зв'язку з цим авторам методів доцільно в програмах випробувань указувати тривалість залежного ряду спостережень.

Як відомо, в оперативному режимі прогнози погоди складаються синоптиком у термінах, відповідних визначеним кількісним градаціям, оцінюються з урахуванням територіального розподілу метеорологічних елементів (явищ), згідно діючій Настанові.

#### **1.4.2 Оцінка надійності методів, які прогнозують факт наявності (відсутності) метеорологічних явищ, у тому числі стихійних**

При встановленні надійності розрахункових методів прогнозу таких метеорологічних явищ, як гроза, град, ожеледь, ожеледиця, хуртовина, пилова буря, шквал і смерч, спочатку складається таблиця зв'язаності прогнозу з фактичними даними про явища (табл. 3). На підставі цих даних розраховуються справджуваності у відсотках прогнозів: загальна (U), наявності (U<sub>я</sub>) і відсутності (U<sub>б,я</sub>) явища, які також представляються у формі табл. 3:

$$U = 100 (n_{11} + n_{22}) / n_{00}; \quad (7)$$

$$U_{я} = 100 n_{11} / n_{10}; \quad (8)$$

$$U_{б,я} = 100 n_{22} / n_{20}, \quad (9)$$

де  $n_{11}$  і  $n_{22}$  – число прогнозів, що справилися, 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 ( $\Pi_{я}$ ) і без явища ( $\Pi_{б,я}$ ) за формулами:

$$\Pi_{я} = 100 n_{11} / n_{01}; \quad (10)$$

$$\Pi_{б,я} = 100 n_{22} / n_{02}, \quad (11)$$

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

$$H = \frac{(U - U_0)}{(1 - U_0)}, \quad (12)$$

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

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

$$\alpha = n_{21} / n_{01} - \text{помилка ризику методу};$$

$$\beta = n_{12} / n_{02} - \text{помилка страховки методу};$$

$$Q_0 = 1 - \alpha - \beta - \text{критерій якості за О.М.Обуховим.}$$

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:

$$T = n_{11} / n_{01} - n_{12} / n_{02} = n_{22} / n_{02} - n_{21} / n_{01}, \quad (13)$$

де  $n_{12}$  і  $n_{21}$  – число прогнозів, що не справдилися, 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  $T = 1$ .

Приведені різного виду справджуваності прогнозів і статистичні показники при випробуванні того чи іншого методу прогнозу можуть опинитися в різноманітних співвідношеннях (одні високі, інші низькі навіть при порівняно високій загальній справджуваності прогнозів). Ця обставина досить часто ускладнює правильний висновок про надійність методів короткострокових прогнозів погодних явищ.

У рішенні даного питання цілком ефективним може бути сумарний показник  $(U_{\text{я}} + \Pi_{\text{я}})$ , що характеризує найважливіші сторони методу. 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. 3.

Таблиця 3 – Таблиця зв'язаності

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

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

Температура повітря і точка роси біля поверхні землі. Методи кількісного прогнозу температури і вологості повітря біля поверхні землі можуть передбачати прогноз екстремальної (максимальної і мінімальної) температури повітря або точки роси, прогноз T і Td в окремі строки (наприклад, 00 або 12 СГЧ), прогноз середньодобової температури повітря (T<sub>доб</sub>).

При встановленні надійності методів прогнозу тієї чи іншої температури повітря і точки роси біля поверхні землі необхідно порівнювати прогнозовані значення T і Td відповідно з фактичними їх значеннями в ті терміни, для яких виконаний розрахунок. При цьому у разі потреби оцінки середньодобової температури фактичне її значення визначається за даними про T за вісім строків по формулі:

$$T_{\text{доб}} = 1/8 (T_0 + T_3 + T_6 + T_9 + T_{12} + T_{15} + T_{18} + T_{21}).$$

При оцінці прогнозів T і Td окрім справджуваності P<sub>n</sub> розраховуються статистичні характеристики  $\delta_T$ ,  $\sigma_T$ ,  $\epsilon_T$  і  $\delta_{Td}$ ,  $\sigma_{Td}$ ,  $\epsilon_{Td}$ , а також середні арифметичні помилки  $\hat{\delta}_T$  і  $\hat{\delta}_{Td}$ , що визначають систематичні похибки методу, за формулами (1...4). Крім того, визначається справджуваність прогнозів у процентах  $P_t = 100 N_1 / N$  при заданих градаціях помилок:  $\leq 1,0$ ;  $\leq 2,0$ ;  $\leq 3,0$ ;  $\leq 4,0$ ;  $\leq 5,0$  °С. Тут N<sub>1</sub> – кількість прогнозів, в яких відхилення прогностичної величини від фактичної не перевищує задану похибку; N – загальне число складених прогнозів.

Результати випробування слід представляти у вигляді таблиці.

Інверсії температури повітря у граничному шарі атмосфери. У теперішній час розроблені методи прогнозу інверсій передбачають тільки альтернативний прогноз їх наявності і виду (приземна або піднесена



інверсія) без кількісних показників (вертикальна протяжність, температура на верхній та нижній межах). Для встановлення надійності методів прогнозу наявності інверсій розраховуються оцінки, які характеризують якість прогнозу факту метеорологічних явищ і викладені вище; зокрема, розглядаються справджуваності прогнозів інверсій загальна (U), наявності (U<sub>я</sub>) і відсутності (U<sub>б,я</sub>), критерій надійності Н і критерій якості Пірсі-Обухова Т відповідно за формулами (7 - 13). Отримані результати представляються у формі табл. 3.

Для встановлення надійності методів прогнозу виду інверсій розраховується справджуваність прогнозів. При цьому прогноз слід вважати виправданим на 100%, якщо фактично спостерігався прогнозований вид інверсії. У випадках, коли був прогнозований один вид інверсій, а спостерігався інший вид або інверсія була відсутня (нормальний хід розподілу температури повітря з висотою, ізотермія), справджуваність прогнозів складає відповідно 50 або 0%. Середні оцінки справджуваності прогнозів виду інверсії слід представляти у вигляді таблиці.

При порівняльній оцінці двох чи більше методів прогнозу інверсій температури повітря в таблиці приводяться відомості про успішність всіх методів. До впровадження в оперативну практику рекомендується метод, що має кращі показники успішності.

За наявності одного розрахункового методу прогнозу інверсії складені методичні прогнози порівнюються з інерційними прогнозами, коли прогнозом є наявність (відсутність) певного виду інверсії у вихідний строк прогнозу. Перевага методичних прогнозів перед інерційними за більшістю показників успішності може служити підставою для впровадження методу прогнозу інверсій в оперативну прогностичну практику.

Швидкість і напрямок вітру біля поверхні землі, включаючи шквали. Розрахункові методи прогнозу вітру можуть передбачати переважаючу середню або максимальну швидкість вітру при поривах (включаючи шквали), а також напрямок вітру (переважаючий або за певний строк).

Надійність методів прогнозу, що наперед обчислюють будь-які швидкості вітру у вигляді конкретного їх значення, встановлюються за допомогою статистичних характеристик:

- середня абсолютна помилка прогнозу вектора вітру (з точністю до 1)

$$\bar{\delta}_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\vec{V}_n - V_\Phi|_i = \frac{1}{N} \sqrt{(u_n - u_\Phi)_i^2 + (v_n - v_\Phi)_i^2}, \quad (14)$$

де  $u$  і  $v$  – зональна і меридіональна складові швидкості вітру;

- середня квадратична помилка прогнозу швидкості вітру (з точністю до 1)

$$\sigma_v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_n - V_{\Phi}|_i; \quad (15)$$

- середня систематична помилка прогнозу швидкості вітру (з точністю до 1)

$$\hat{\delta}_v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_n - V_{\Phi})_i; \quad (16)$$

- середня абсолютна помилка прогнозу напрямку вітру (з точністю до 1 °)

$$\delta_{dd} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |dd_n - dd_{\Phi}|_i \quad (17)$$

- оцінка  $P_v$  (%) для наступних значень відхилення прогностичного значення швидкості вітру від фактичного:  $\leq 5$ ,  $\leq 10$ ,  $\leq 15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$

$$P_v = 100 N_1 / N, \quad (18)$$

де  $N_1$  – число прогнозів, в яких відхилення прогностичних значень швидкості вітру від фактичних не перевищує заданої межі;  $N$  - загальне число прогнозів.

Крім того, обчислюється справджуваність прогнозів, згідно діючій Настанові.

Оскільки при випробуваннях важливо встановити практичну значущість методики не лише в цілому, але і в окремих діапазонах швидкості вітру, всі статистичні показники і справджуваності прогнозів вітру розраховуються для всієї сукупності складених прогнозів і окремо для трьох наступних градацій:  $V_n < 15$ ,  $15 \leq V_n < 25$  (НЯ),  $V_n \geq 25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (СГЯ). Для побереж і акваторій океанів, арктичних і далекосхідних морів критеріями НЯ і СГЯ є інші значення швидкості вітру. Тому в цих районах статистичні показники слід розраховувати для встановлених градацій. Для градацій НЯ або СГЯ обчислюється також попередженість у відсотках за формулою  $\Pi_{\text{я}} = 100 n_{11} / n_{01}$ , де  $n_{11}$  - число прогнозів, що виправдалися, із значеннями швидкості вітру в градаціях НЯ або СГЯ;  $n_{01}$  - фактичне число днів з явищем (вітром небезпечних або стихійних значень).

Надійність методів прогнозу, що передбачають вітер у вигляді певної градації (наприклад  $\geq 15$  або  $\geq 25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ), встановлюється шляхом розрахунку наступних показників успішності:

- справджуваності прогнозів у даній градації за фактом  $(U_{\text{я}})_{\text{ф}}$  і з допуском Настанови  $(U_{\text{я}})_{\text{н}}$ ;
- справджуваності прогнозів відсутності даної градації  $(U_{\text{б,я}})_{\text{ф}}$ ,  $(U_{\text{б,я}})_{\text{н}}$ ;
- загальної справджуваності прогнозів вітру  $(U)_{\text{ф}}$ ,  $(U)_{\text{н}}$ ;
- попередженості випадків з вітром у даній градації  $(\Pi_{\text{я}})_{\text{ф}}$ ,  $(\Pi_{\text{я}})_{\text{н}}$ ;

- попередженості випадків відсутності вітру в даній градації  $(\Pi_{\sigma,я})_ф$ ,  $(\Pi_{\sigma,я})_н$
- критерію якості Пірсі-Обухова (Т);
- сумарного показника  $(U_я)_ф + (\Pi_я)_ф$  і  $(U_я)_н + (\Pi_я)_н$ .

Наведені показники успішності прогнозів розраховуються за формулами (7 - 11) і (13). Отримані результати подаються у вигляді табл. 4, в якій у якості прикладу наведені дані про успішність прогнозу сильних шквалів ( $\geq 25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) на поточний день по території з використанням супутникових, радіолокаційних і аеросиноптичних даних (автор методу В.Ф.Лапчева).

Таблиця 4 – Результати випробування методу прогнозу сильних шквалів

Прогноз	Спостерігалось		Сума	$U_ф, \%$	$U_н, \%$	$U_ф + \Pi_ф, \%$	$U_н + \Pi_н, \%$
	$\geq 25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	$< 25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$					
$\geq 25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	14	39	53	26	62	60	143
$< 25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	27	3738	3765	99	97	198	194
Сума	41	3777	3818				
$\Pi_ф, \%$	34	99					
$\Pi_н, \%$	81	97					
				$T_ф = 0,33$		$T_н = 0,80$	

При оцінці прогнозів напрямку вітру необхідно за (17) обчислити середню абсолютну помилку напрямку вітру  $\delta_{dd}$  і її повторюваність у процентах по градаціям: 0...30, 31...60, 61...90,  $> 90^\circ$ , а результати представити у вигляді таблиці.

Опади. Надійність методів кількісного прогнозу опадів характеризується показниками успішності прогнозів як самого факту випадіння опадів, так і їх кількості.

Якість прогнозів опадів за фактом їх випадання встановлюється за допомогою критерію надійності ( $H_Q$ ) або критерію якості Пірсі-Обухова ( $T_Q$ ), а також значеннями справджуваності прогнозів (загальної, з опадами і без опадів) та їх попередженості. Ці результати представляються у вигляді табл. 5.

При оцінці прогнозів кількості опадів будь-яких значень крім їх справджуваності, згідно Настанові необхідно обчислювати статистичні характеристики  $\delta_Q$ ,  $\hat{\delta}_Q$  і  $P_Q$ .

Для детальної оцінки якості способів прогнозу опадів різної інтенсивності, що перевіряються, необхідно обчислювати статистичні характеристики для різних градацій діючої Настанови.

У тих випадках, коли метод передбачає прогноз в окремих градаціях (наприклад,  $Q \geq 30$  мм), ці прогнози оцінюються за фактом опадів ( $U_{\phi}$ ) і з допуском Настанови ( $U_{н}$ ), а також розраховується їх попередженість і сумарні показники аналогічно приведеним в табл. 5.

Таблиця 5 – Відомості про успішність прогнозів сильних опадів (метод Н.І.Глушкової)

Прогноз кількості опадів	Фактично спостерігалось			Сума	$U_{\phi}$ , %	$U_{н}$ , %	$U_{\phi} + П_{\phi}$ , %	$U_{н} + П_{н}$ , %
	$30 \leq Q < 50$	$Q \geq 50$	$Q < 30$					
$30 \leq Q < 50$	83	61	62	206	71	75	127	127
$Q \geq 50$	20	47	4	71	66	75	98	111
$Q < 30$	46	39	3525	3610	98	98	196	196
Сума	149	149	3591	3887	94	96		
$П_{\phi}$	56	32	98					
$П_{н}$	52	36	98					

Хуртовина, ожеледь, град, гроза. При оцінці прогнозів цих явищ погоди необхідно обчислювати справджуваності прогнозів за (7 - 9), попередженості явищ за (10 - 11), а також критерії якості Пірсі-Обухова і надійності М.О.Багрова за формулами (13) і (12). Результати представляються у формі табл. 6.

Таблиця 6 – Характеристики справджуваності прогнозу метеорологічних явищ

Метод (автор)	Завчасність прогнозу	Кількість прогнозів	Справджуваність					Т	Н	Q
			Загальна (U)	Наявності явища ( $U_{я}$ )	Відсутності явища ( $U_{б,я}$ )	Попередженість явища ( $П_{я}$ )	Попередженість відсутності явища ( $П_{б,я}$ )			

За відсутністю раніше впроваджених в оперативну практику розрахункових методів прогнозів явищ погоди, що розглядаються, проводиться порівняння з інерційними прогнозами цих явищ. Доцільність впровадження методу визначається його перевагами перед інерційними прогнозами.

При порівняльній оцінці ряду методів прогнозів перевага віддається методу, який має кращі показники успішності.

Оцінка прогнозів лавинної небезпеки. Методи прогнозів лавинної небезпеки визначаються наступними параметрами:

- територія дії прогнозу – територія, на якій передбачається схід, рух і зупинка лавини. Оцінка прогнозу проводиться лише на фактах сходу лавин у межах цієї території;

- завчасність прогнозу;

- тривалість (період) дії прогнозу. Оцінка прогнозу проводиться тільки за фактами сходу лавин на протязі цього проміжку часу;

- предмет прогнозу - лавинонебезпечний період, обумовлений єдиним фізико-географічним комплексом умов і причин лавиноутворення. Прогноз складається лише для випадків, що належать даному комплексу. Такий комплекс може характеризуватися як загальними причинами виникнення (генезис), які визначаються згідно тієї або іншої генетичної класифікації лавин, так і конкретними причинами виникнення ("спусковий чинник").

Альтернативні прогнози лавинної небезпеки мають формулювання «лавинонебезпечно», «нелавинонебезпечно». Формулювання «лавинонебезпечно» означає, що на території дії прогнозу за час його дії прогнозується схід хоча б однієї лавини об'ємом не менше  $10 \text{ м}^3$ , який потенційно небезпечний для життя одинокого пішохода або лижника.

При оцінці кожен випадок альтернативного прогнозу може попасти в одну з наступних п'яти груп:

- прогноз «лавинонебезпечно» виправдався - є схід лавини;

- прогноз «лавинонебезпечно» не виправдався - немає сходу лавини;

- прогноз «нелавинонебезпечно» не виправдався - є схід лавини;

- прогноз «нелавинонебезпечно» виправдався - немає сходу лавини;

- прогноз не оцінювався незалежно від формулювання (наприклад, через відсутність видимості).

Диференційовані по градаціях прогнози лавинної небезпеки можуть містити якісні показники, що уточнюють формулювання «лавинонебезпечно». Наприклад: «слабка лавинна небезпека» або «помірна». Такі показники повинні розшифровуватися кількісними градаціями визначальних параметрів: кількістю лавин, їх об'ємами тощо.

Ряд випадків альтернативного прогнозу лавин за методом, що перевіряється, за весь період випробувань  $n$  складається з ряду  $n_{00}$ , які оцінюються, і ряду  $n_{xx}$  випадків, які не оцінюються;  $n = n_{00} + n_{xx}$ .

Якщо ряд  $n_{00}$  менше ряду природної повторюваності випадків, що підлягають прогнозу, то метод не оцінюється. Весь ряд випадків прогнозу  $n_{00}$ , що оцінюються, розбивається на групи  $n_{ij}$  за формою табл. 12.3.

Основні показники для оцінки прогнозів лавинонебезпеки розраховуються за (7 - 13), включаючи оцінки ризику, страховки і критерій надійності М.О.Багрова. Всі показники успішності методу

обчислюються як для всього періоду випробувань в цілому, так і для кожного зимового сезону окремо і представляються в таблиці.

Якщо сума основних показників надійності методу за весь період випробувань менше або дорівнює природній повторюваності випадків з явищами  $P_{\text{я}}$  плюс 100%, тобто якщо справедлива нерівність  $U + \Pi_{\text{я}} \leq P_{\text{я}} + 100$ , і (або) критерій надійності, по М.О.Багрову,  $H$  менше 0,5, то метод не приймається до розгляду.

Якщо на даній території до пропонованого методу не було інших діючих об'єктивних методів прогнозу даного явища, то в рекомендаціях про впровадження методу приймається в якості основного за умови, що для нерівності  $U + \Pi_{\text{я}} > P_{\text{я}} + 100$  і  $H \geq 0,5$  виконуються як за весь період випробувань, так і окремо за кожний зимовий сезон.

Якщо на даній території окрім пропонованого методу існує інший об'єктивний метод прогнозу даного явища, то необхідно провести порівняння основних показників успішності прогнозів за цими методами.

Для оцінки диференційованих за градаціями прогнозів лавинної небезпеки використовуються ті ж показники і правила, за допомогою яких оцінюються альтернативні прогнози. При цьому всі випадки прогнозів, диференційованих за градаціями лавинної небезпеки, потрапляють у групу  $n_{10}$ .

Для оцінки прогнозів, що порівнюються, застосовуються наступні показники успішності:

- справджуваність диференційованих прогнозів у відсотках  $U_{\text{д}} = 100 n_1/n_0$ , де  $n_1$  - число правильних диференційованих прогнозів (що потрапили в свою градацію), зокрема з формулюванням «нелавинонебезпечно»;  $n_0$  - число всіх диференційованих прогнозів;

- попередженість диференційованих прогнозів у відсотках  $\Pi_{\text{д}} = 100 n_3/n_2$ , де  $n_3$  - число правильних і виданих з перевищенням ступеню лавинної небезпеки диференційованих прогнозів за винятком прогнозів з формулюванням «нелавинонебезпечно»;  $n_2$  - число всіх випадків зі сходом лавин;

- помилка ризику диференційованих прогнозів  $\alpha_{\text{д}} = n_4/n_2$ , де число помилкових диференційованих прогнозів, що потрапили в сильніші в порівнянні з градаціями, що передбачалися, зокрема помилкові прогнози з формулюванням «нелавинонебезпечно»;

- помилка страховки диференційованих прогнозів  $\beta_{\text{д}} = n_6/n_5$ , де  $n_6$  - число помилкових диференційованих прогнозів, що потрапили в слабкіші в порівнянні з градаціями, що передбачалися;  $n_5$  - число всіх випадків, за винятком числа випадків з лавинами найсильнішої градації.

При порівнянні таких методів один з одним  $U_{\text{д}}$  і  $\Pi_{\text{д}}$  виступають як основні показники, а помилки ризику і страховки диференційованих прогнозів - як додаткові. Порівняння проводиться за тими ж правилами, що і для методів альтернативного прогнозу.

## Запитання для самоперевірки студентів

1. Дати визначення наступних понять: прогнози загального користування, спеціалізовані прогнози, кількісні, якісні та альтернативні прогнози, випадкові, кліматологічні, інерційні і методичні прогнози.
2. Як розробляється оптимальна стратегія використання прогностичної інформації при імовірнісних (категоричних) прогнозах і наявності таблиці затрат?
3. Як оцінюється оптимальна стратегія з використанням експертних оцінок?
4. Перелічити задачі, при вирішенні яких використовуються результати аналізу справджуваності прогнозів.
5. Які критерії використовуються при аналізі справджуваності кількісних (альтернативних) прогнозів загального користування?
6. Як розраховується кількість прогностичної інформації? Чому величина  $I$  може використовуватися як міра змістовності прогностичних зведень?

### Завдання 1

Оцінити успішність прогнозів гроз, складених за методом Лебедевої, Уайтинга, Фауста, Кокса, Славіна, Бейля для заданого району.

### Рекомендації щодо виконання завдання

Розрахувати критерії успішності за формулами 7 - 13 для двох способів 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. 7).

### Звітні матеріали

Заповнена таблиця оцінки успішності прогнозу гроз (табл. 6).

Таблиця 7 – Справджуваність (число випадків) прогнозу гроз за різними методами

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

## 2 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГНОЗІВ ПОГОДИ

При оцінці успішності прогнозів, розрахованих на конкретного споживача, ступінь корисності їх може бути охарактеризована імовірним зниженням витрат споживача в результаті використання прогностичної інформації. Вихідним матеріалом для вирішення вказаної задачі є дані справджуваності для альтернативних прогнозів (табл. 9) і витрати споживача (табл. 8).

Таблиця 8 - Витрати споживача

Значення, що спостерігались	Передбачені значення метеорологічних величин (явищ)					
	$П_1$	$П_2$	...	$П_i$	...	$П_m$
$\Phi_1$	$S_{11}$	$S_{12}$		$S_{1i}$		
$\Phi_2$				$S_{2i}$		
⋮				⋮		
$\Phi_j$				$S_{ji}$		
$\Phi_m$				$S_{mi}$		

Імовірні витрати споживача  $Q_i$  при прогнозах, в яких передбачена градація  $П_i$  будуть:

$$Q_i = \frac{1}{n_{0i}} \sum_{j=1}^m n_{ji} s_{ji},$$



а середні імовірні витрати для всіх градацій

$$Q_{\text{ср.}i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i n_{0i}.$$

У табл. 8 передбачається, що у всіх випадках споживач планує свою діяльність у відповідності з отриманим прогнозом («довіряє прогнозу»).

При порівнянні економічної ефективності різних прогностичних методів кращим признається той метод, який забезпечує середні якнайменші імовірні витрати  $Q_{\text{ср.}}$ . Для абсолютної оцінки економічної ефективності слід розрахувати імовірні витрати даного споживача при використуванні їм випадкових прогнозів  $Q_{\text{ср.0}}$  і обчислити різницю  $Q_{\text{ср.0}} - Q_{\text{ср.}i}$  відношення  $(Q_{\text{ср.0}} - Q_{\text{ср.}i})/Q_{\text{ср.0}}$ .

На жаль, необхідні таблиці витрат можуть бути складені лише у виняткових випадках. Відсутність об'єктивних показників впливу погодних умов на діяльність споживачів викликає найбільші труднощі при оцінці комплексних спеціалізованих прогнозів, коли кожному індивідуальному прогнозу повинна надаватися своя "вага", яка визначається важливістю цього прогнозу для даного споживача. Через вказані труднощі оцінка комплексних спеціалізованих прогнозів, як правило, проводиться в спрощеній формі. Принцип такої спрощеної оцінки полягає в наступному. Перш за все для кожної категорії прогнозів встановлюється перелік метеоелементів, точність прогнозу яких враховується при оцінці. Потім для кожного з відібраних елементів визначаються допустимі розбіжності між передбаченими значеннями і тими, що здійснилися.

Всі оцінювані комплексні прогнози діляться на дві категорії: що "справдилися" і не "справдилися". У прогнозах, що справдилися, допустимі розбіжності між передбаченими значеннями і тими, що здійснилися, можуть бути перевищені тільки для передбаченої інструкцією частини включених в перелік метеовеличин. Вся решта прогнозів вважається тими, що не справдилися.

### **Запитання для самоперевірки студентів**

1. Наведіть приклади критеріїв ефективності спеціалізованих прогнозів.
2. Який вихідний матеріал необхідний для оцінки успішності прогнозів для конкретного споживача?
3. Як оцінюється успішність спеціалізованих прогнозів погоди?

## Завдання 2

Розрахувати імовірні витрати «умовного» споживача, який використовує прогнози гроз, складені за методами Лебедевої, Уайтинга, Фауста, Кокса, Славіна, Бейлі, і порівняти їх економічну ефективність.

### Вихідні матеріали

1. Дані справджуваності прогнозу гроз (табл. 7).
2. Витрати «умовного» споживача (табл. 9).

Таблиця 9 – Витрати «умовного» споживача ( $S_{ij}$ )

Спостерігалось	«Умовний» споживач					
	1		2		3	
	П	$\bar{П}$	П	$\bar{П}$	П	$\bar{П}$
Ф	1	5	2	10	1	2
$\bar{Ф}$	2	0	3	0	5	0

### Рекомендації щодо виконання завдання

Для оцінки ефективності спеціалізованих прогнозів необхідно наступне:

1. Розрахувати з точністю до тисячних часток імовірні витрати одного з «умовних» споживачів стосовно до двох прогностичних методів (номери споживача і прогностичні методи вказуються викладачем).
2. Визначити імовірні витрати того ж споживача при використанні кліматологічного прогнозу і зниженні витрат у результаті залучення прогностичної інформації.
3. Порівняти результати розрахунків з аналогічними для інших споживачів і прогностичних методів та зробити висновок про їх порівняльну економічну ефективність.

### Звітні матеріали

Таблиця результатів розрахунку (табл. 10).

В якості прикладу розглянемо статистичний аналіз справджуваності прогнозу гроз, складений за двома методами (1 і 2). Розподіли числа випадків і повторюваностей (табл. 11) отримані для прогнозів, одночасно розроблених в одному і тому ж пункті за двома методами.

Таблиця 10 – Оцінка економічної ефективності прогнозу гроз стосовно до «умовного» споживача

Критерії оцінки		Спосіб прогнозу		
		П	$\bar{П}$	Сума
$n_{ij}$	$\Phi$			$n_{10} =$
	$\bar{\Phi}$			$n_{20} =$
	Сума	$n_{01} =$	$n_{02} =$	$N =$
$Q_i$				$Q_{ср.}$
$(n_i)_0$		$(n_1)_0 = n_{10}n_{01}/N$	$(n_2)_0 = n_{10}n_{02}/N$	
		$(n_3)_0 = n_{20}n_{01}/N$	$(n_4)_0 = n_{20}n_{02}/N$	
$(Q_i)_0$				$Q_{ср.0}$
$Q_{ср.0} - Q_{ср.}$				
$\frac{Q_{ср.0} - Q_{ср.}}{Q_{ср.0}}$				

Таблиця 11 – Повторюваність (число випадків) / (частки одиниці) передбаченої фази для прогнозу гроз і тієї, що здійснилася

Передбачено	Здійснилося		$\Sigma$
	Гроза ( $R$ )	Без грози ( $\bar{R}$ )	
Метод 1			
$R$	150/0,75	50/0,25	200/0,20
$\bar{R}$	200/0,25	600/0,75	800/0,80
$\Sigma$	350/0,35	650/0,65	1000/1,00
Метод 2			
$R$	300/0,55	250/0,45	550/0,55
$\bar{R}$	50/0,11	400/0,89	450/0,45
$\Sigma$	350/0,35	650/0,65	1000/1,00

Обчислимо деякі значення критеріїв успішності для прогнозів, складених за першим методом:

$$U = (150 + 600) / 1000 = 0,75;$$

$$U_0 = (350 \cdot 200 + 650 \cdot 800) / 1000 \cdot 1000 = 0,59;$$

$$H = (0,75 - 0,59) / (1 - 0,59) = 0,39;$$

$$Q = 1 - (200/350 + 50/650) = 0,35;$$

$$T = 150/350 - 50/650 = 600/650 - 200/350 = 0,35.$$

Аналогічно для прогнозів, складених за другим методом, отримаємо:

$$\begin{aligned}
U &= (300 + 400) / 1000 = 0,70; \\
U_0 &= (350 \cdot 550 + 650 \cdot 450) / 1000 \cdot 1000 = 0,485; \\
H &= (0,70 - 0,485) / (1 - 0,485) = 0,42; \\
Q &= 1 - (50/350 + 250/650) = 0,47; \\
T &= 300/350 - 250/650 = 400/650 - 50/350 = 0,47.
\end{aligned}$$

Порівняння значень критерію  $U$  показує, що перший метод забезпечує дещо більшу повторюваність справджених прогнозів, ніж другий. Однак значення інших критеріїв ( $H$ ,  $Q$ ,  $T$ ) виявляються більшими для прогнозів, складених за другим методом, тобто ці прогнози містять менший елемент випадковості і несуть більшу інформацію про майбутній стан атмосфери. Тому, оцінюючи ступінь досконалості прогностичних методів, слід віддати перевагу другому із них.

На цьому ж прикладі розглянемо методику аналізу ефективності індивідуальних спеціалізованих прогнозів.

Припустимо, що для даного споживача відомі величини збитку, обумовленого грозами (табл. 12).

Таблиця 12 – Витрати споживача прогнозу гроз (умовні одиниці)

Очікувані погодні умови	Погодні умови, що здійснилися	
	$R$	$\bar{R}$
$R$	2	4
$\bar{R}$	10	0

Визначимо імовірні витрати споживача при отриманні прогнозу «гроза», складеного за першим методом. Якщо споживач «повірів» прогнозу, то ці витрати будуть:

$$\bar{\Delta} R = 2 \cdot 0,75 + 4 \cdot 0,25 = 2,5,$$

інакше 
$$\bar{\Delta} \bar{R} = 10 \cdot 0,75 + 0 \cdot 0,25 = 7,5.$$

Отже, оптимальна стратегія в даному випадку – готуватися до грози, імовірні витрати при цьому  $\bar{\Delta}(R) = 2,5$ .

Для прогнозу «без грози» отримаємо:

$$\bar{\Delta} R = 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,75 = 3,5;$$

$$\bar{\Delta} \bar{R} = 10 \cdot 0,25 + 0,75 = 2,5$$

і, таким чином,  $\bar{\Delta}(\bar{R}) = 2,5$ .

Отже, середні імовірні витрати при оптимальному використанні даним споживачем прогнозів, складених за першим методом, дорівнюють:

$$\bar{\Delta} = 2,5 \cdot 0,20 + 2,5 \cdot 0,80 = 2,5$$

Для прогнозів, розроблених за другим методом, аналогічно отримуємо:

При прогнозах «гроза»

$$\bar{\Delta} R = 2 \cdot 0,55 + 4 \cdot 0,45 = 2,9; \quad \bar{\Delta} \bar{R} = 10 \cdot 0,55 + 0 \cdot 0,45 = 5,5;$$

$$\bar{\Delta}(R) = 2,9;$$

При прогнозах «без грози»

$$\bar{\Delta} R = 2 \cdot 0,11 + 4 \cdot 0,89 = 3,78; \quad \bar{\Delta} \bar{R} = 10 \cdot 0,11 + 0 \cdot 0,89 = 1,1;$$

$$\bar{\Delta}(\bar{R}) = 1,1; \quad \bar{\Delta} = 2,9 \cdot 0,55 + 1,1 \cdot 0,45 = 2,09.$$

Нарешті, для випадкових прогнозів:

при прогнозах «гроза»

$$\bar{\Delta} R = 2 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,65 = 3,3; \quad \bar{\Delta} \bar{R} = 10 \cdot 0,35 + 0 \cdot 0,65 = 3,5;$$

$$\bar{\Delta}(R) = 3,3;$$

При прогнозах «без грози»

$$\bar{\Delta} R = 2 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,65 = 3,3; \quad \bar{\Delta} \bar{R} = 10 \cdot 0,35 + 0 \cdot 0,65 = 3,5;$$

$$\bar{\Delta}(\bar{R}) = 3,3.$$

Оцінка економічної ефективності для прогнозів, складених за першим і другим методом, дає відповідно:

$$\bar{\Delta}_0 - \bar{\Delta} = 3,3 - 2,5 = 0,8 \quad \text{і} \quad \bar{\Delta}_0 - \bar{\Delta} = 3,3 - 2,09 = 1,21.$$

Таким чином, використання даним споживачем прогнозів, розроблених за другим методом, забезпечує в середньому зменшення економічних витрат на 0,41 умовної одиниці. З цієї точки зору, другий метод є більш переважним, ніж перший.

У прикладі, що розглядається, висновки про порівняльну цінність методів, отримані із аналізу критеріїв успішності (Н, Q, Т) і економічної ефективності прогнозів, співпали.

Як відомо, для більшості споживачів альтернативних прогнозів найбільший економічний ефект дає застосування методів, які характеризуються максимальними величинами критеріїв Н і особливо Т (Q). Проте, оскільки такий збіг не є обов'язковим, основою для оцінки спеціалізованих прогнозів повинні служити результати розрахунків їх економічної ефективності, що, як відмічалось вище, не завжди можливо.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
для лабораторних робіт з дисциплін  
**«Спеціалізовані прогнози погоди» і**  
**«Спеціалізовані прогнози погоди, аномальні погодні явища»**

Укладачі: к.геогр.н., проф. Івус Г.П.  
ас. Гурська Л.М.

Електронна версія © Гурська Л.М.

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

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

Надруковано з готового оригінал-макета

---

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