

І. М. Олексієнко

КЛІМАТИЧНИЙ ПРОГНОЗ ЗАМОРОЗКУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Наведено результати розрахунку ймовірності останнього весняного й першого осіннього заморозку в повітрі та на поверхні ґрунту для кожної фізико-географічної зони. Побудовано інтегральні криві розподілу дати заморозку для 25 досліджуваних метеостанцій. Отримано значення дат заморозку, що відповідають 5, 10, ... 90, 95 %-й ймовірності. Побудовано номограми для визначення дат перших та останніх заморозків у повітрі та на поверхні ґрунту.

Ключові слова: ймовірність заморозку, інтегральні криві розподілу, останній і перший заморозки.

Вступ

Сьогодні втрати врожайності від несприятливих явищ погоди досить значні. Одним із найнебезпечніших кліматичних чинників для сільськогосподарських культур, особливо теплолюбних, є заморозки, які часто завдають значних збитків сільськогосподарській галузі. Особливо сильно на врожайність впливають пізні весняні та ранні осінні заморозки, які виникають на початку і наприкінці вегетації сільськогосподарських культур.

Для обслуговування різних галузей господарства України інформації про середні та крайні дати заморозку не достатньо. Дати першого осіннього та останнього весняного заморозку з року в рік можуть коливатися в значних межах, тому є важливими характеристики їх ймовірності або забезпеченості. Ймовірнісні характеристики розкривають динаміку метеорологічного явища, яка регулюється процесами досить різних масштабів. Ця різномасштабність залежить не лише від процесів, що пов'язані з періодичністю радіаційних факторів, але й від циркуляційних процесів.

Ймовірнісні методи, які було розроблено в математичній статистиці, пізніше почали застосовуватися і в метеорології. Уперше цей метод в агрометеорологію впровадив Г.Т. Селянінов, який показав, що за

допомогою інтегральних кривих можна добре описати тривалість безморозного періоду, а також дати весняних та осінніх заморозків.

Пізніше в кліматологічних та агрокліматичних дослідженнях досить широко використовували метод повторюваності та забезпеченості, розроблений радянськими вченими І. А. Гольцберг [2, 3], С. А. Сапожніковою [8], А. Н. Лебедевим [6, 7] та ін. І. А. Гольцберг у своїх роботах представила криві ймовірності абсолютних річних мінімумів температури повітря для всіх континентів світу. У 1949 р., допускаючи симетричність розподілу кривих, вона використала для типізації забезпеченості дат початку та закінчення безморозного періоду середнє квадратичне відхилення [2].

А. Н. Лебедев у своїх роботах представив детальний розрахунок кліматичних характеристик різної забезпеченості (сумарної ймовірності) для різних районів Європейської території колишнього Радянського Союзу [7].

У сучасний період дати переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15°C восени та навесні різної ймовірності було представлено В. М. Бабіченко та ін. [1, 4].

Матеріали та методика дослідження

Для дослідження використано матеріали, розміщені в метеорологічних щорічниках, метеорологічних щомісячниках та опубліковані Центральною геофізичною обсерваторією за період 1991-2010 рр. За основу кліматичних досліджень заморозку покладено дані про дату першого заморозку восени та останнього заморозку навесні. Для дослідження використовувалися метеорологічні дані 25 метеорологічних станцій, рівномірно розміщених по території України, де ряди є безперервними та кліматологічно однорідними.

Кліматологічне опрацювання метеорологічних даних проводилося за допомогою методів математичної статистики. Статистичні розрахунки виконано на ПК за допомогою табличного редактора «Microsoft Excel».

У роботі застосовано графо-аналітичний метод, який впровадив у практику кліматологічних досліджень А. Н. Лебедев [7]. Цей метод дозволяє за допомогою відомих параметрів визначити ймовірнісну характеристику будь-якої величини, у нашому випадку – дату останнього весняного та першого осіннього заморозку. Розрахунок імовірнісних характеристик ґрунтується на статистичному зв'язку між середньою (нормою) і можливими значеннями і проводиться в декілька етапів.

Передусім, вихідна інформація ранжується в порядку спадання, а потім розраховується сумарна ймовірність відповідно до формули Н. Н. Чегодаєва:

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де m – порядковий номер члена ряду; n – кількість років спостережень; P – сумарна ймовірність (забезпеченість).

Для кожного члена ряду обчислюється ймовірність за значеннями P і відповідним до них середнім та будуються емпіричні інтегральні криві розподілу, які дають змогу екстраполювати відомості й на ту територію, яка не забезпечена даними.

За допомогою таких інтегральних кривих отримано значення характеристик метеорологічних величин, що відповідають 5, 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 95 %-й ймовірності і даті заморозку, яка відмічалася один раз на N років та є основою для побудови номограм у системі прямокутних координат, де на осі абсцис відмічають середні дати заморозку, а на осі ординат – можливі. У полі графіка проводять лінії рівних ймовірностей. Можливість проведення таких ліній указує, що в межах даного району діє один закон розподілу.

Ураховуючи те, що номограми ґрунтуються на статистичному зв'язку між можливими значеннями величин різної ймовірності та їх середніми, для отримання графічної залежності доцільно застосовувати закони математичної статистики.

Точність і надійність номограм було визначено шляхом зіставлення фактичних даних і даних, що зняті з номограм. Як виявилось, здебільшого розбіжності між ними несуттєві і не перевищують 1-5 %. Лише для ліній 5 % і 95 % ймовірності вони можуть досягати на окремих станціях до 10 %. Форма і структура номограм значною мірою визначається ще й мінливістю величини за сезонами року, міжрічною і по території залежно від фізико-географічних умов.

Номограми дають змогу порівнювати кількісні значення величин у часі та просторі та аналізувати розсіювання рядів. Середнє значення величини в симетричних розподілах становить 50 % ймовірності, а в асиметричних – не збігається з 50 %-ю ймовірністю. Коли асиметрія додатна, середнє значення величини лежить справа від значення 50 % ймовірності, а коли асиметрія від'ємна – зліва. При цьому характер

асиметрії вказує, до якого закону розподілу належить розподіл метеорологічної величини.

Мета дослідження – визначити дати останнього весняного та першого осіннього заморозку в повітрі та на поверхні ґрунту різної ймовірності.

Основні результати досліджень

Для вирішення поставленої мети було побудовано інтегральні криві ймовірності дат перших осінніх та останніх весняних заморозків у повітрі і на поверхні ґрунту для кожної із досліджуваних метеостанцій. За допомогою цих кривих можна не лише охарактеризувати (залежно від середньої багаторічної дати заморозку) ймовірність будь-якої можливої дати заморозку, але й визначити середню дату заморозку, що відповідає заданій ймовірності.

Для побудови інтегральних кривих ймовірності дати заморозку, використовувалися дані метеорологічних станцій, де ряди даних є найдовшими та безперервними. Метеорологічні станції, дані яких використано в роботі, розміщені по території України досить рівномірно й повністю відображають місцеві особливості території, що є достатньою вимогою для висвітлення всієї території країни.

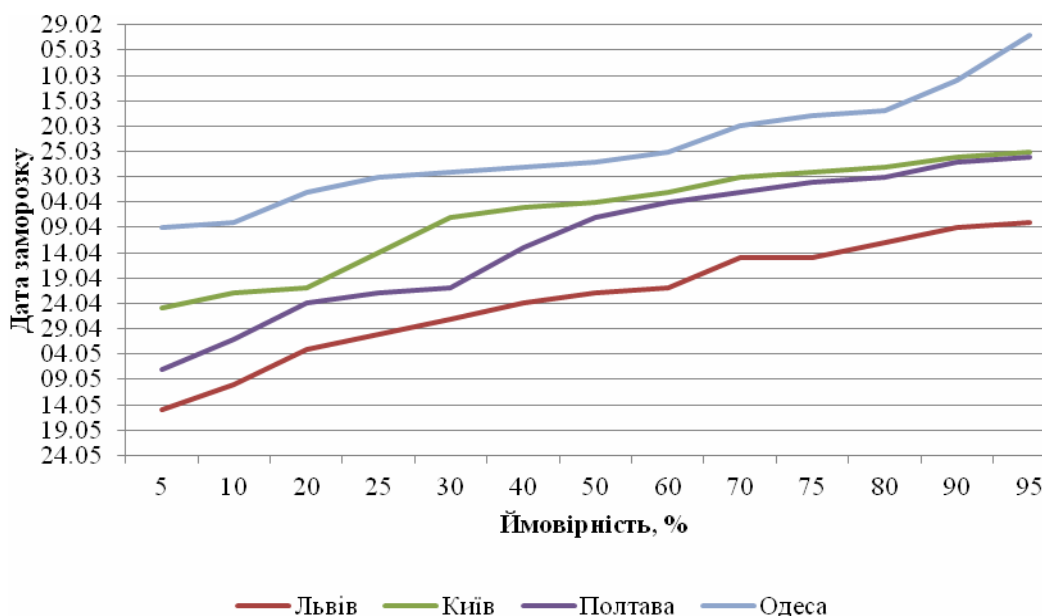


Рис. 1. Емпіричні інтегральні криві розподілу дати останнього заморозку в повітрі для станцій різних фізико-географічних зон України

У степовій зоні (Одеса), як бачимо з рис. 1, із 95 %-ю ймовірністю останній весняний заморозок може відмічатися на початку березня, але з 5 %-ю ймовірністю він можливий і в першій декаді квітня. У зоні мішаних лісів (Київ) останній заморозок у повітрі з імовірністю 95 % може спостерігатися наприкінці березня, із 50 %-ю ймовірністю він можливий на початку квітня, і навіть наприкінці квітня (імовірність 5 %). Для лісостепової зони (Полтава) останній заморозок у повітрі, як і для зони мішаних лісів, може спостерігатися наприкінці березня (з імовірністю 95 %), але можливий він і в першій декаді травня (5 %). У зоні широколистяних лісів (Львів) останній заморозок найпізніше відмічається з першої декади квітня (95 %) до 15 травня (5 %).

Останній заморозок (рис. 2) на поверхні ґрунту із 95 %-ю ймовірністю в степовій зоні (Одеса) фіксується наприкінці березня, із 50 %-ю ймовірністю – у другій декаді квітня і навіть у першій декаді травня (імовірність 5 %).

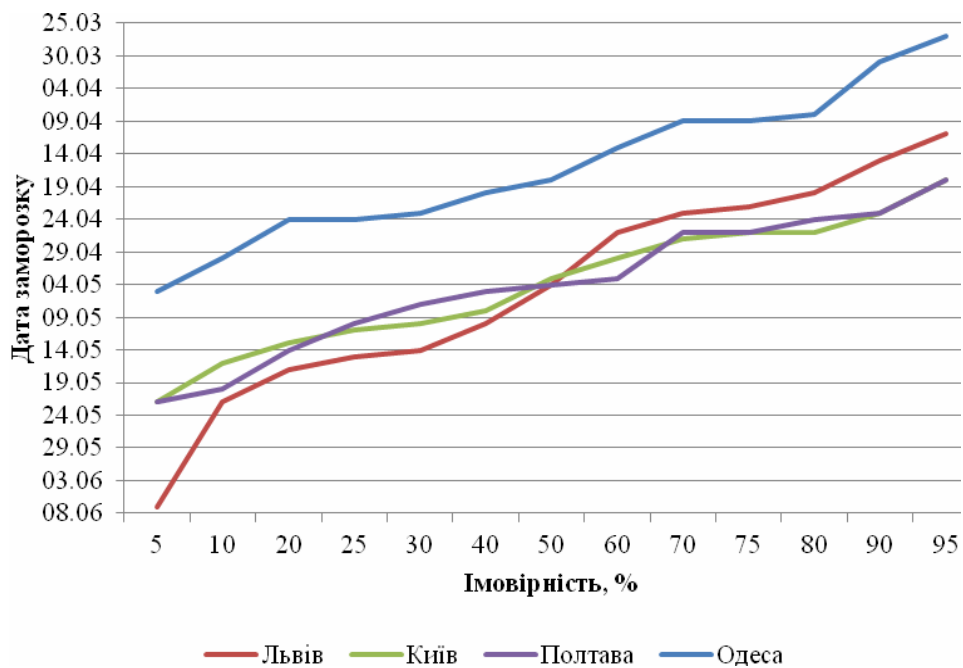


Рис. 2. Емпіричні інтегральні криві розподілу дати останнього заморозку на поверхні ґрунту для станцій різних фізико-географічних зон України

У зоні мішаних лісів (Київ) останній заморозок у повітрі з імовірністю 95 % може спостерігатися в другій декаді квітня, з 50 %-ю ймовірністю він можливий на початку травня, і навіть у третій декаді травня (імовірність 5 %). Для лісостепової зони (Полтава) останній

заморозок у повітрі, як і для зони мішаних лісів, спостерігається в другій декаді квітня (з імовірністю 95 %), але можливий він і в третій декаді травня (5 %). У зоні широколистяних лісів (Львів) заморозок може відмічатися з першої декади квітня (95 %) до першої декади червня (5 %). Загалом, якщо порівняти ймовірність останнього заморозку в повітрі і на поверхні ґрунту, то можна сказати, що різниця можливих дат настання становить близько місяця, тобто на поверхні ґрунту останні заморозки можуть відмічатися на 20-30 днів пізніше ніж заморозки в повітрі.

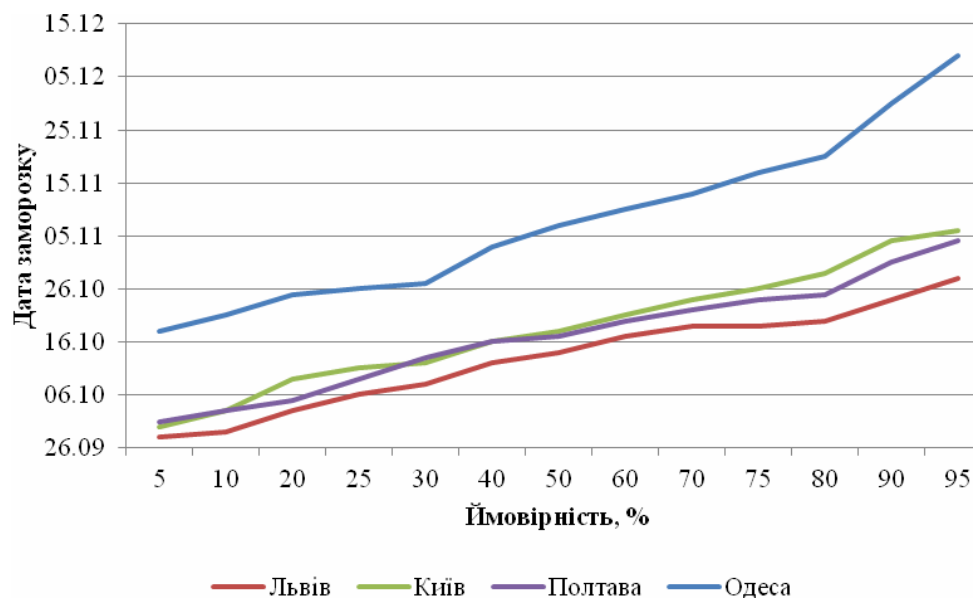


Рис. 3. Емпіричні інтегральні криві розподілу дати першого заморозку в повітрі для станцій різних фізико-географічних зон України

Перший заморозок у повітрі з імовірністю 95 % у зоні широколистяних лісів (Львів) може відмічатися в третій декаді жовтня, із ймовірністю 50 % у першій та другій декаді жовтня, із імовірністю 5 % – у третій декаді вересня (рис. 3). У зоні мішаних лісів (Київ) і лісостеповій зоні (Полтава) перший заморозок у повітрі може фіксуватися в першій декаді листопада (імовірність 95 %), у другій декаді жовтня (50 %) і навіть наприкінці вересня (5 %). З рисунка добре видно, що інтегральні криві для Києва й Полтави дуже схожі. Цього не можна сказати про інтегральну криву ймовірності першого заморозку в Одесі, адже в степовій зоні України перший заморозок із імовірністю 95 % спостерігається аж у першій декаді листопада, але можливий і в другій декаді жовтня (імовірність 5 %).

У зоні мішаних лісів (Київ), лісостеповій зоні (Полтава) та зоні широколистяних лісів (Львів) з імовірністю 95 % перший заморозок на поверхні ґрунту може спостерігатися в другій, на початку третьої декади жовтня (рис. 4). Як видно з рисунка, інтегральні криві для цих зон майже паралельні, але 5%-ва ймовірність заморозку для різних станцій помітно відрізняється. Так, для Львова і Полтави – це друга декада вересня, а в Києві перший заморозок може відмічатися навіть на початку вересня.

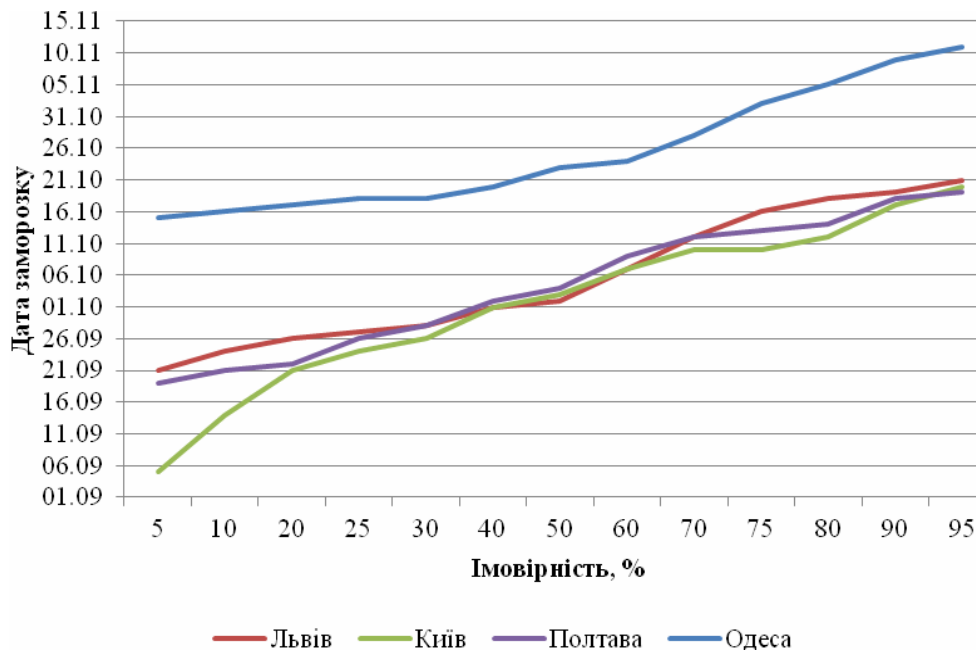


Рис. 4. Емпіричні інтегральні криві розподілу дати першого заморозку на поверхні ґрунту для метеостанцій різних фізико-географічних зон України

Для степової зони (Одеса) з імовірністю 95 % заморозок можливий наприкінці другої декади листопада, а з імовірністю 5 % – у другій декаді жовтня.

Такі інтегральні криві побудовано також і для інших досліджуваних метеостанцій. За допомогою їх отримано значення дат останнього весняного та першого осіннього заморозку в повітрі та на поверхні ґрунту, що відповідають 5, 10, ... 90, 95 %-й ймовірності. Ці дані є основою для побудови номограм для визначення дат перших та останніх заморозків у повітрі та на поверхні ґрунту.

Зовнішній вигляд номограми відображає закономірність розподілу можливих та середніх дат останнього заморозку в повітрі. Нахил лінії різної ймовірності вказує на характер мінливості дат у просторі, а відстань між ними – на мінливість дат у часі.

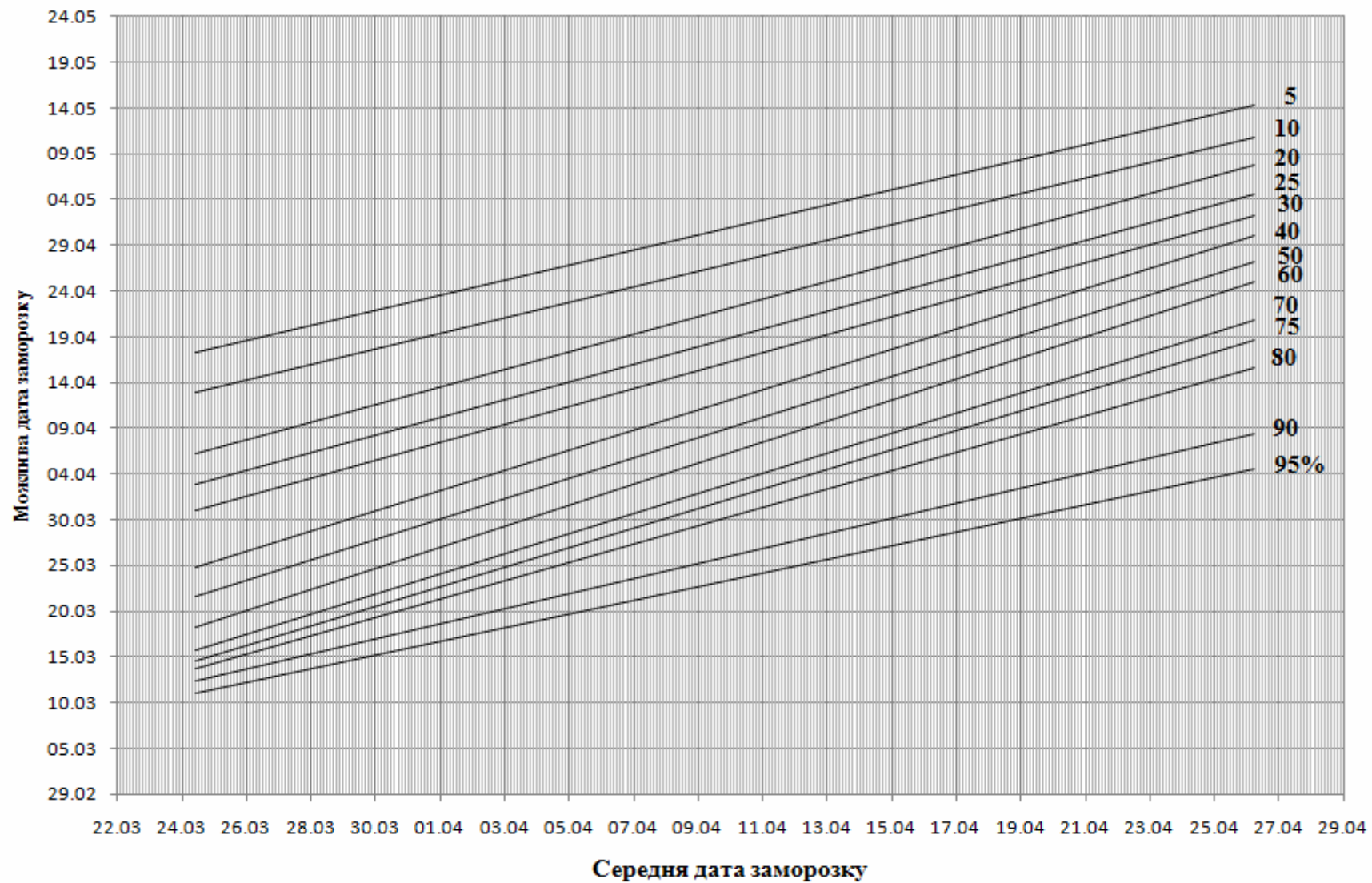


Рис. 5. Номограма для визначення дат останнього заморозку в повітрі різної ймовірності

На рис. 5 представлено номограму для розрахунку дат останнього заморозку в повітрі різної ймовірності. За її допомогою та середніми значеннями дат останнього заморозку в повітрі навесні можна визначити можливі дати останнього заморозку з різною ймовірністю (від 5 до 95 %). Таким чином, номограма дає можливість розкрити основні просторово-часові закономірності цих дат, а також визначити крайні дати (ранні та пізні), що спостерігалися. Нижня частина номограми відображає дати останнього заморозку в повітрі в південних районах і в Криму, де останній заморозок зафіксовано від 11 березня до 18 квітня. Верхня частина номограми характеризує дати останнього заморозку в Українських Карпатах та на південному сході, де вони відмічаються з першої декади квітня до другої декади травня. У другій декаді травня ці дати з'являються один раз на 20 років (5 %-ва ймовірність). У третій декаді квітня ці дати відмічено практично кожного року (50 %-ва ймовірність). Лінія 50 %-ї ймовірності в основному відповідає середнім датам і є центром розподілу, навколо якого розміщуються всі можливі дати заморозку.

Ймовірність дат першого осіннього заморозку в повітрі на Україні можна визначити за допомогою номограми, представленої на рис. 6. Зовнішній вид номограми відображає закономірність розподілу можливих і середніх дат першого осіннього заморозку. Ширина номограми ілюструє міжрічну мінливість. Нахил лінії різної ймовірності вказує на характер мінливості дат у просторі, а відстань між ними – на мінливість дат у часі. Лінія 50 %-ї ймовірності в основному відповідає середнім значенням (з відхиленням 1-2 дні в той чи інший бік). Нижня частина номограми характеризує райони, де перший осінній заморозок відмічається в раніші строки (Українські Карпати, північний схід). У цих районах коливання між датами 5 та 95 %-ю ймовірністю становлять більш як місяць (з 18 вересня по 21 жовтня). Верхня частина номограми характеризує райони, де перший осінній заморозок у повітрі відмічається в пізніші строки. До цих районів належить південь України та Крим, де 5 %-ва ймовірність першого заморозку від 95 %-ї ймовірності відрізняється на 30-40 днів (з 24 жовтня по 3 грудня). За допомогою цієї номограми для будь-якого району можна розрахувати дати заданої ймовірності.

Середні значення дат останнього заморозку на поверхні ґрунту майже збігаються з 50 %-ю ймовірністю і різниця не перевищує 1-2 дні, що вказує на слабку їх асиметрію (рис. 7).

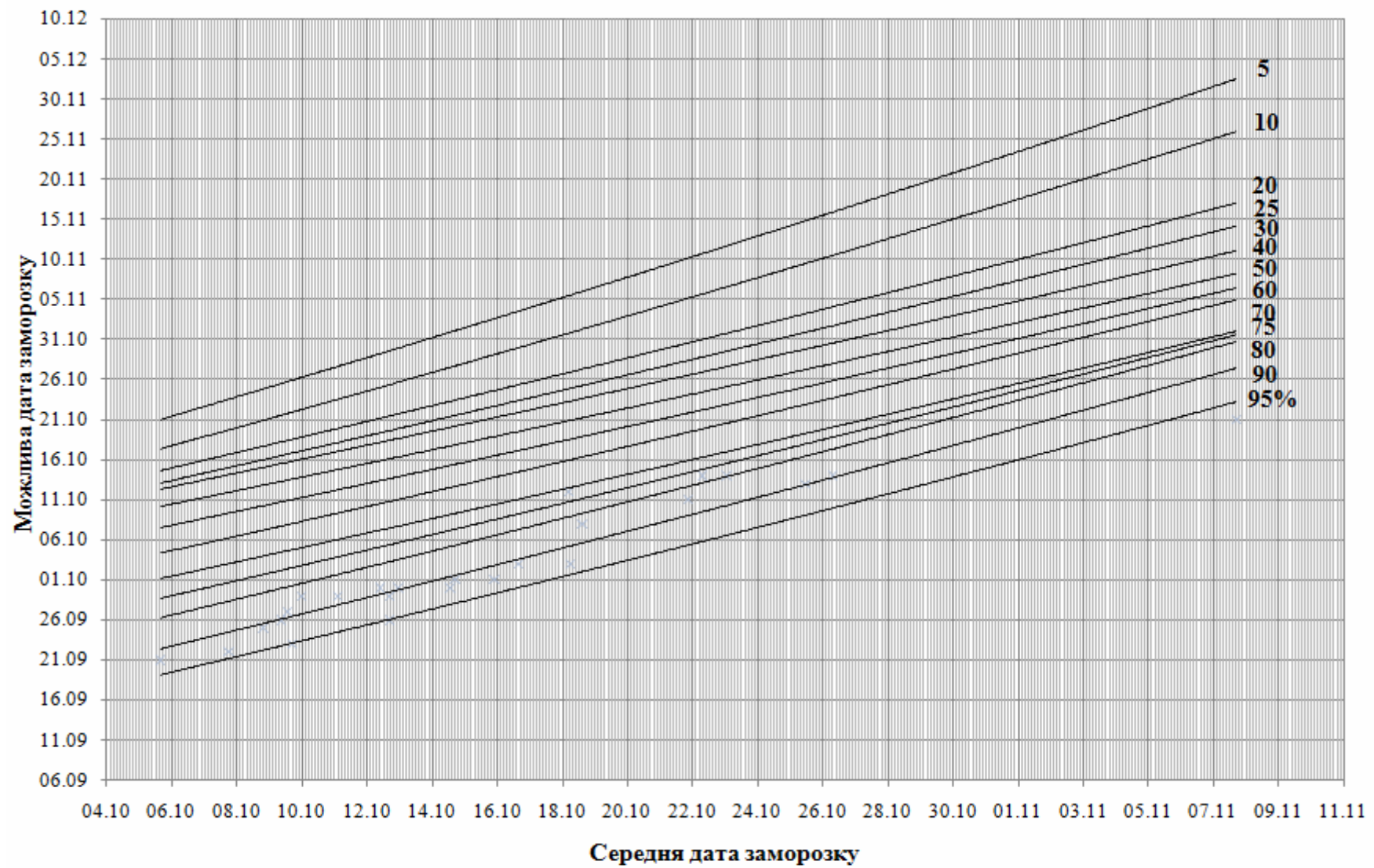


Рис. 6. Номограма для визначення дат першого заморозку в повітрі різної ймовірності

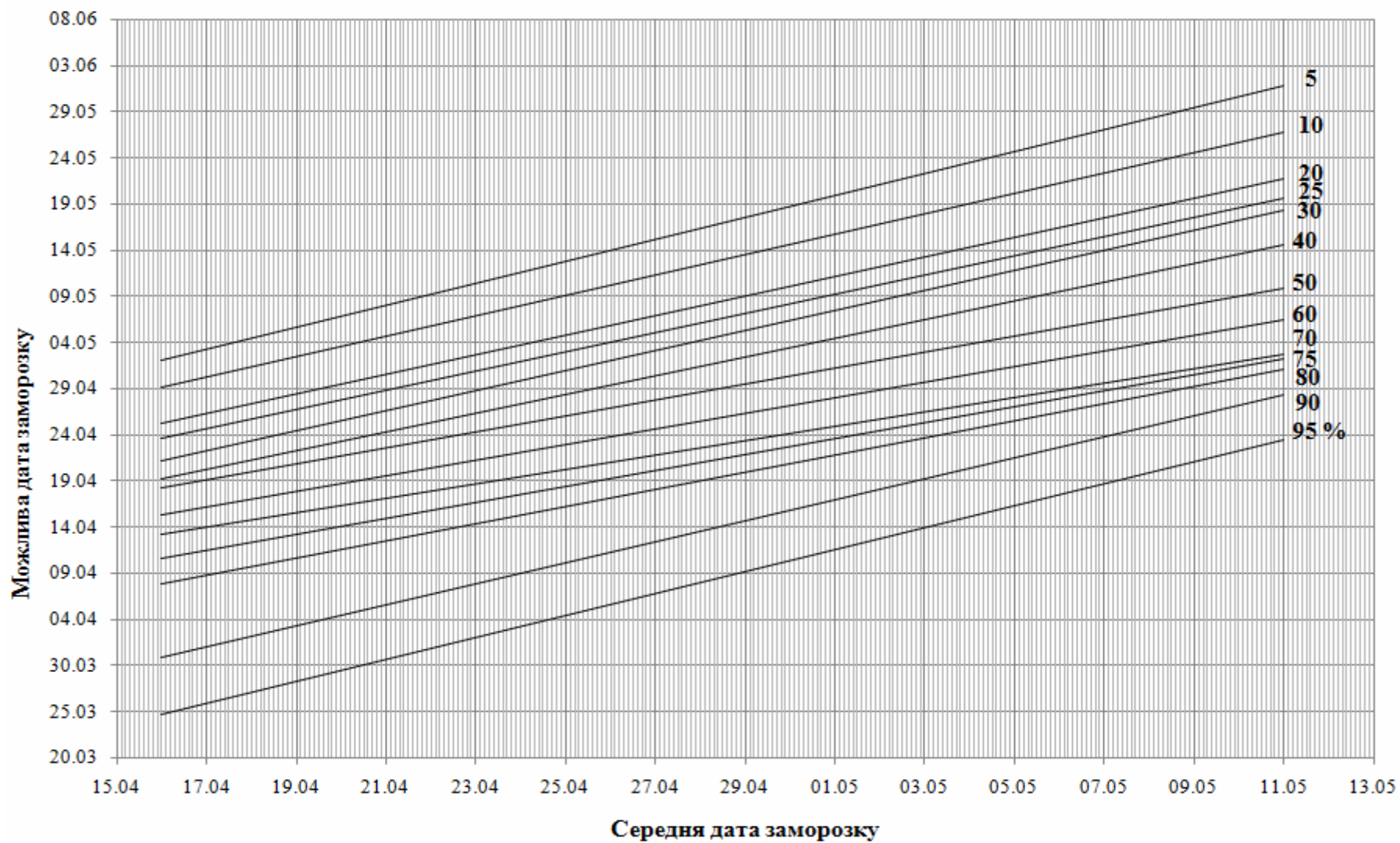


Рис. 7. Номограма для визначення дат останнього заморозку на поверхні ґрунту різної ймовірності

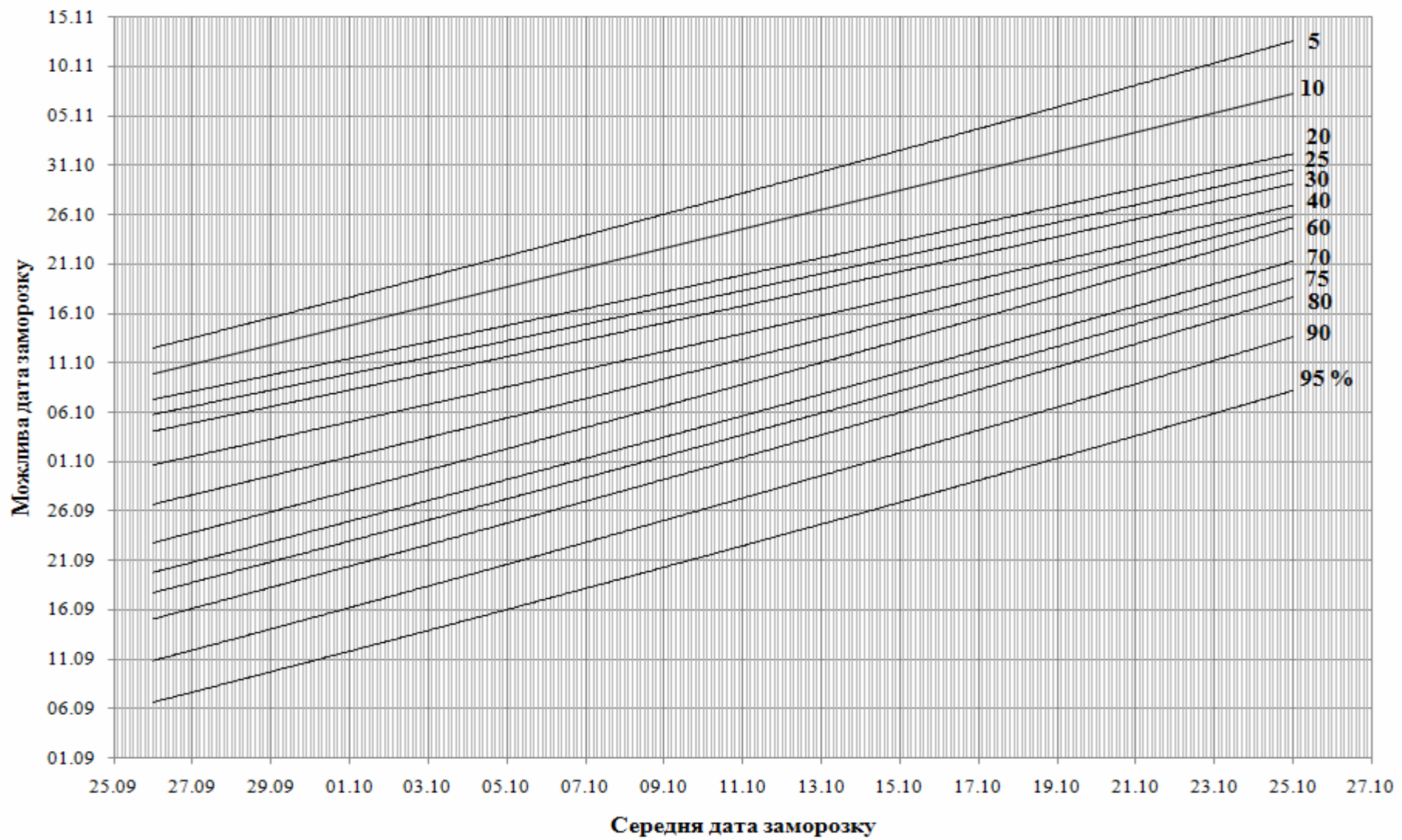


Рис. 8. Номограма для визначення дат першого заморозку на поверхні ґрунту різної ймовірності

Дані нижньої частини номограми характеризують крайні південні райони і Крим. Навесні дати останнього заморозку на ґрунті тут відмічаються найраніше (з 24 березня до початку травня). Верхня частина номограми відповідає районам Українських Карпат та північного сходу країни, де останні заморозки на поверхні ґрунту відмічаються з третьої декади квітня до першої декади червня. Різниця між датами 5 %-ї і 95 %-ї ймовірності перевищує місяць. Імовірність 5 % указує на можливість дати один раз на 20 років.

Середні дати першого заморозку на поверхні ґрунту коливаються від третьої декади вересня до другої декади жовтня (рис. 8). Наведені на номограмі середні значення майже цілком збігаються з 50 %-ю ймовірністю, що свідчить про нормальний розподіл дат першого заморозку на поверхні ґрунту. Дані нижньої частини номограми відповідають Українським Карпатам та північно-східним районам України, а верхня частина – південним районам та Криму. Різниця між датами першого осіннього заморозку на поверхні ґрунту 5 %-ї та 95 %-ї ймовірності становить 35-40 днів. Для південних районів вони коливаються з 7 вересня по 13 жовтня, а для північних – з 7 жовтня по 13 листопада.

Висновки

1. Побудовано інтегральні криві ймовірності дат перших осінніх та останніх весняних заморозків у повітрі та на поверхні ґрунту для кожної із досліджуваних метеостанцій.

2. У степовій зоні з 95 %-ю ймовірністю (практично кожного року) останній весняний заморозок у повітрі може відмічатися на початку березня, у зоні мішаних лісів та зоні лісостепу – наприкінці березня, а в зоні широколистяних лісів – у першій декаді квітня. Однак з 5 %-ю ймовірністю (1 раз на 20 років) у степовій зоні він можливий і в першій декаді квітня, у зоні мішаних лісів – наприкінці квітня, для лісостепової зони – у першій декаді травня, у зоні широколистяних лісів – у другій декаді травня.

3. Останній заморозок на поверхні ґрунту із 95 %-ю ймовірністю в степовій зоні відмічається наприкінці березня, у зоні мішаних лісів та в лісостеповій зоні в другій декаді квітня, у зоні широколистяних лісів – із першої декади квітня. Із ймовірністю 5 % у степовій зоні він відмічається в першій декаді травня, у зоні мішаних лісів та зоні лісостепу – у третій

декаді травня, а в зоні широколистяних лісів – аж до першої декади червня.

4. Різниця можливих дат настання заморозку в повітрі та на поверхні ґрунту становить близько місяця, тобто на поверхні ґрунту останні заморозки можуть відмічатися на 20-30 днів пізніше від заморозків у повітрі.

5. Перший заморозок у повітрі з імовірністю 95 % у зоні широколистяних лісів може фіксуватися в третій декаді жовтня, а в зоні мішаних лісів, лісостеповій зоні та в степовій зоні – у першій декаді листопада. У зоні широколистяних лісів перший заморозок у повітрі з імовірністю 5 % буває в третій декаді вересня, у зоні мішаних лісів і лісостеповій зоні – наприкінці вересня, а в степовій зоні – у другій декаді жовтня.

6. Перший заморозок на поверхні ґрунту може спостерігатися в зоні мішаних лісів, лісостеповій зоні та зоні широколистяних лісів з імовірністю 95 % у другій, на початку третьої декади жовтня, у степовій зоні – наприкінці другої декади листопада. Проте один раз на 20 років (5 %-ва ймовірність) він можливий для лісостепової зони та зони широколистяних лісів у другій декаді вересня, у зоні мішаних лісів навіть на початку вересня, а для степової зони – у другій декаді жовтня.

7. Побудовано ряд номограм для визначення дат останнього весняного та першого осіннього заморозку в повітрі й на поверхні ґрунту різної ймовірності, які можуть використовуватися в сучасній агрометеорологічній практиці, зокрема, з метою кліматологічного прогнозу основних характеристик заморозку.

* *

1. *Бабиченко В. Н., Бондаренко З. С., Рудьшина С. Ф.* Даты перехода средней суточной температуры воздуха через определенные пределы по административным областям Украины // Тр. УкрНИГМИ. – 1980. – Вып. 180. – С. 12-21.
2. *Гольцберг И. А.* Климатическая характеристика заморозков и методы борьбы с ними в СССР // Тр. ГГО, Вып. 17/79. – Л. – 1949. – С. 3-37.
3. *Гольцберг И. А.* Составление таблиц вероятностей различных метеорологических элементов // Тр. ГГО, 1958. – Вып. 85.
4. Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату // За ред. *В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко.* – К.: Ніка-Центр, 2010.

5. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 296 с.
6. Лебедев А. Н. Обеспеченность дат перехода средней суточной температуры воздуха через 0, 5, 10, 15 °С на территории целинных и залежных земель // Тр. ГГО, 1956. – Вып. 65 (127).
7. Лебедев А. Н. Графики и карты для расчета климатических характеристик различной обеспеченности на Европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 116 с.
8. Сапожникова С. А. К методике расчета вероятности (обеспеченности) средних декадных температур // Тр. ЦИП, 1955. – Вып. 41 (68).

*Київський національний університет
імені Тараса Шевченка*

И.Н. Олексиенко

Климатический прогноз заморозков на территории Украины

Приведены результаты расчета вероятности последнего весеннего и первого осеннего заморозка в воздухе и на поверхности почвы для каждой физико-географической зоны. Построены интегральные кривые распределения даты заморозков для 25 исследуемых метеостанций. Получены значения дат заморозка, соответствующие 5, 10, ... 90, 95%-й вероятности. Построены номограммы для определения дат первых и последних заморозков в воздухе и на поверхности почвы.

Ключевые слова: вероятность заморозка, интегральные кривые распределения, последний и первый заморозки.

I.N. Olexienko

Climate forecasting of frosts in Ukraine

The results of calculating of the last spring and first autumn frost probability in the air and on the surface of the soil for every physiographic area are given. Integral distribution curves of the date of frost for 25 weather studied stations are constructed. The values of frost dates corresponding to 5, 10, ... 90, 95% probability are received. Nomograms for determine the dates of the first and last frost in the air and on the soil surface are constructed.

Keywords: probability spring frost, distribution integral curves, first and last frost.