

ЛЯШЕНКО Г.В.

ПРАКТИКУМ З АГРОКЛІМАТОЛОГІЇ

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЛЯШЕНКО Г.В.

ПРАКТИКУМ З АГРОКЛІМАТОЛОГІЇ

**Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів**

Одеса, 2014

ББК 42:65.9(2) 325.1

Л 99

УДК 635:551.582.3

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11-20845 від 31.12.2013р.)

Ляшенко Г.В. Практикум з агрокліматології. Навчальний посібник –
Одеса: Вид.ПП «ТЕС», 2014. - 161с.

У навчальному посібнику викладаються принципи сільськогосподарської оцінки клімату та методи агрокліматичної обробки обробки матеріалів багаторічних агрометеорологічних спостережень. Значна увага приділена теоретичним питанням формування агрокліматичних ресурсів і лімітуючих агрокліматичних умов, характеристиці агрокліматичних показників і методам їх розрахунків. Розглядаються закономірності та особливості просторово-часового розподілу агрокліматичних ресурсів і формулюються завдання для виконання практичних робіт з дисципліни «Агрокліматологія».

Навчальний посібник буде корисним студентам, магістрам і аспірантам, які навчаються за гідрометеорологічним, екологічним та сільськогосподарським профілем, а також працівникам в галузі гідрометеорологічного і екологічного забезпечення, землевпорядкування, сільськогосподарського виробництва.

Рецензенти:

Михайлюк В.І., доктор географічних наук, завідувач кафедри
земельного кадастру ОДАУ, професор

Адаменко Т.І., кандидат географічних наук, начальник відділу
агрометеорології Українського гідрометеорологічного центру

ISBN

©Ляшенко Г.В., 2014
© Одеський державний екологічний
університет, 2014

Одеса 2014

ПЕРЕДМОВА

Необхідність в різноманітній кліматичній інформації для різних галузей практичної діяльності людства в теперішній час очевидна. Відомо безліч гіпотез про зв'язок часу і осередків появи давніх цивілізацій та періодів їх розквіту зі ступенем сприятливості кліматичних умов. В 70-ті роки минулого століття в зв'язку з розвитком високих технологій у більшості галузей виробництва склалася ілюзія щодо їх повної незалежності від погодно-кліматичних умов. Проте в наступні роки, при прояві небезпечних (НЯ) і особливо небезпечних (ОНЯ) кліматичних явищ, які завдали економіці більшості країни значних збитків, ця ілюзія зникла. Навіть було виявлено зростання залежності галузей від погоди і клімату, що зумовлено зростанням їх капіталомісткості.

Особливо значна залежність від погоди і клімату притаманна сільськогосподарській галузі, об'єкти якої знаходяться під прямим і постійним впливом погодних умов впродовж усього періоду їх розвитку. Це зумовлює практичне значення досліджень в агрометеорології й агрокліматології, які направлені на вирішення питань, пов'язаних з обґрунтуванням об'єму і форми надання агрокліматичної інформації споживачам, розробки агрокліматичних показників, які здатні адекватно відбивати вимоги сільськогосподарських культур до клімату і методів оцінки відповідності кліматичної частини факторів середовища факторам життя рослин. Саме вирішення цих питань і є предметом досліджень в агрокліматології.

Посібник «Практикум з агрокліматології» складений у відповідності з затвердженою програмою дисципліни «Агрокліматологія» (модуль «Агрокліматологія»), яка викладається студентам Одеського державного екологічного університету за фахом «Агрометеорологія», «Агроекологія» і спрямований на надання допомоги студентам при вивченні теоретичного курсу та виконанні практичних робіт з дисципліни. В підготовці підрозділів 5.2 і 5.3 брала участь к.геогр.н. Сіряк Н.В.

Автор висловлює щирі подяки рецензентам – завідувачу кафедри земельного кадастру Одеського державного аграрного університету, доктору географічних наук, професору Михайлюку В.І. і начальнику відділу агрометеорології Українського гідрометеорологічного центру, кандидату географічних наук Адаменко Т.С.

ВСТУП

Агрокліматологія – це наука, яка вивчає кліматичні умови діяльного (приповерхневого) шару територій у зв'язку з об'єктами і процесами сільськогосподарського виробництва, що визначає її місце на межі географічних, геофізичних та біологічних наук.

Об'єктом дослідження агрокліматології є сільськогосподарські поля, які можна розглядати як агроєкосистеми або агроландшафти як вид антропогенних ландшафтів. До компонентів таких антропогенних ландшафтів відносяться рельєф, поверхневі і підземні води, ґрунтовий покрив і клімат, а центральне місце в них посідають сільськогосподарські культури.

Предметом досліджень в агрокліматології є умови формування агрокліматичних ресурсів і лімітуючих агрокліматичних факторів, закономірності їх географічної мінливості на територіях різного масштабу та їх вплив на ріст, розвиток і формування врожаю сільськогосподарських культур, поширення хвороб і шкідників сільськогосподарських культур, технології їх вирощування. Кінцева задача агрокліматології полягає у науковому обґрунтуванні схем можливого і доцільного розміщення різних сільськогосподарських галузей в різних природних умовах.

Весь теоретичний курс умовно можна поділити на три частини. Перша частина охоплює загальні питання агрокліматології, значення дисципліни, об'єкт і предмет досліджень, завдання), а також методи агрокліматичної обробки матеріалів спостережень і принципи та етапи сільськогосподарської оцінки клімату.

В другій частині вивчаються агрокліматичні ресурси та лімітуючі агрокліматичні фактори, агрокліматичні показники і методи їх визначення, закономірності й особливості просторового розподілу ресурсів світла, тепла і вологи, а також умов заморозко- і морозонебезпечності, посушливості. Розглядаються методи визначення агрокліматичних аналогів. Вивчаються підходи і методи загального та спеціалізованого агрокліматичного районування територій, різномасштабного картографування показників агрокліматичних ресурсів.

В третій частині об'єднані теми, присвячені вивченню методів агрокліматичної оцінки продуктивності сільськогосподарських культур, починаючи від методів оцінки біокліматичного потенціалу і бонітету клімату до статистичних і динамічних моделей формування врожайності та якості продукції.

1 ПРЕДМЕТ, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ В АГРОКЛІМАТОЛОГІЇ

1.1 Завдання дисципліни

Вирішення більшості наукових завдань агрокліматології пов'язане з дослідженнями закономірностей формування кліматів територій і знання фізіологічних процесів, які відбуваються у культурних рослин. Це зумовлює необхідність глибоких і всебічних знань предмету і методів досліджень вказаних галузей науки.

До основних завдань агрокліматології відносяться:

- вивчення вимог видів і сортів сільськогосподарських культур до клімату і, як результат, класифікацій рослин за вимогами до агрокліматичних показників;
- розробка агрокліматичних показників, які адекватно відбивають вимоги сільськогосподарських культур до режиму світла, тепла і вологи;
- виявлення закономірностей і особливостей просторового розподілу агрокліматичних ресурсів залежно від географічних умов та їх перерозподілу під впливом місцевих особливостей території;
- виявлення агрокліматичних аналогів на земній кулі;
- дослідження мінливості і тренда агрокліматичних ресурсів території;
- розробка методів різномасштабного агрокліматичного районування територій та картографування показників агрокліматичних ресурсів;
- агрокліматичне обґрунтування оптимізації технології вирощування сільськогосподарських культур, в т.ч. методів захисту посівів від хвороб і шкідників;
- розробка методів агрокліматичної оцінки формування продуктивності сільськогосподарських культур та їх мінливості у зв'язку із зміною клімату.

1.2 Методи досліджень в агрокліматології

Ефективність досліджень в будь-якій науковій галузі і достовірність одержаних результатів значною мірою визначаються вибором методів дослідження. Треба відзначити, що з початку формування напрямку досліджень і до теперішнього часу основні принципи залишалися постійними. Методи ж дослідження весь час удосконалювалися, що дозволяє як підвищувати рівень складності

вирішених раніше завдань, так і ставити нові завдання, вирішення яких раніше було неможливим. Це, насамперед, застосування математичного апарату при визначенні зв'язків між агрометеорологічними умовами і біоекологічними параметрами рослин та інтенсивністю фізіологічних і біофізичних процесів. Надзвичайне значення має застосування математичного апарату при розробці нових показників і оцінці особливостей формування врожаїв сільськогосподарських культур та якості продукції, визначені умов ураження рослин хворобами та пошкодження шкідниками. Значний крок вперед при вирішенні завдання встановлення закономірностей просторового розподілу і перерозподілу агрокліматичних умов, різномасштабного загального і спеціалізованого районування територій і методів тематичного і комплексного картографування агрокліматичних показників було зроблено завдяки застосуванню сучасних комп'ютерних систем і ГІС-технологій.

Усі вказані методи можна об'єднати в чотири групи:

1) агрокліматичні розрахунки і узагальнення за даними мережі актинометричних, метеорологічних, агрометеорологічних і гідрологічних станцій та постів за багаторічний період спостережень;

2) експериментальні дослідження в вегетаційних хатинках, фітотронах і на полігонах в природних умовах шляхом проведення паралельних спостережень за морфогенетичними показниками рослин і показниками світлового, термічного та водного режимів діяльного шару (приземний шар повітря і верхній шар ґрунту);

3) методи районування територій за агрокліматичними ресурсами і картографування агрокліматичних показників із застосуванням об'єктивного аналізу агрокліматичної інформації та сучасних ГІС-технологій;

4) метод моделювання формування продуктивності сільськогосподарських культур залежно від просторово-часових варіацій складових агрокліматичних ресурсів.

2 ПРИНЦИПИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ОЦІНКИ КЛІМАТУ

Ефективність сільськогосподарської галузі будь-якої території значною мірою визначається її ґрунтово-кліматичними умовами. При цьому треба враховувати специфіку ведення цієї галузі в різних природних умовах, яка має історичні, економічні і технологічні аспекти. Вони зумовлюють особливості як видів і форм інформації про ці умови, так і періодичність її передачі. Важливе значення надається агрокліматичній інформації, яка відноситься до документів нормативної форми і може використовуватися для довгострокового планування розміщення об'єктів галузі, застосування технологічних і меліоративних заходів, розміщення сільськогосподарських культур тощо.

Значна просторово-часова мінливість агрокліматичних умов під впливом загальногеографічних чинників і різноманітність видів і сортів сільськогосподарських культур визначає наукове обґрунтування обсягу і видів агрокліматичної інформації, яка повною мірою може забезпечити вимоги спеціалістів (науковців і практиків) сільськогосподарської галузі. Тому в основні завдання агрокліматології входить розробка агрокліматичних показників, які адекватно відбивають вимоги галузей сільськогосподарського виробництва до факторів клімату. Виконання даного завдання можливе на основі знань про основні закони землеробства і фактори життя рослин

2.1. Закони землеробства і фактори життя рослин

Більшість агрокліматичних досліджень базується на трьох законах біологічної науки: 1) рівнозначності факторів життя рослин, 2) нерівноцінності факторів середовища, 3) закону мінімуму (Лібиха). Перші два закони не суперечать один одному, оскільки мова йде про різні фактори. До факторів життя рослин за численними дослідженнями К.А.Тімірязєва, Д.М. Прянишнікова, М.І. Вавілова, І.В. Якушкіна та ін. треба віднести світло, тепло, вологу і поживні речовини. Рівнозначність факторів життя рослин полягає у тому, що ні один із цих факторів не можна замінити іншим. Наприклад, світло або тепло не можна замінити вологою тощо. Суть другого закону полягає в тому, що фактори середовища мають неоднаковий вплив рослину, а третього – особливе значення для факторів життя рослин мають фактори середовища, які знаходяться в мінімумі.

Усі фактори середовища, в тому числі, кліматичні, за їх значущістю для рослин можна поділити на основні і другорядні, причому такий поділ має умовний характер, але дозволяє спростити підхід до оцінки факторів клімату через певний набір агрокліматичних показників. Якщо основні

фактори визначають принципову можливість вирощування рослини, то другорядні фактори можуть чинити коректуючий вплив, послаблюючи або посилюючи дію основного фактору. Наприклад такий другорядний фактор як хмарність може змінити кількість світла та його якісний склад, а вологість повітря – кількість тепла. Самостійного значення другорядні фактори набувають тільки за їх підвищеної або зниженої інтенсивності. В таких випадках їх слід розглядати більш детально, оскільки вони стають лімітуючими. Як яскравий приклад можна навести число днів з туманами, швидкість вітру.

Основою життя є якісний і кількісний склад повітря, особливо відсоток кисню (O_2), вуглекислого газу (CO_2) і азоту (N_2). Кисень визначає інтенсивність процесів дихання – процесів окислювання і відтворення. Вуглекислий газ необхідний рослинам для утворення в процесі фотосинтезу органічної речовини, а азот - як елемент живлення.

Світло є джерелом енергії для усіх живих організмів на землі. Оцінка цього фактора життя може виконуватися за такими характеристиками як тривалість та інтенсивність освітлення і спектральний склад світла. В біофізичному сенсі спектральний склад світла поділяють на чотири інтервали:

- 1) ультрафіолетова радіація (УФР) з довжиною хвиль 0,29-0,38 мкм;
- 2) фотосинтетично активна радіація (ФАР) з довжиною хвиль 0,38-0,71 мкм;
- 3) близька інфрачервона радіація (БІЧР) з довжиною хвиль 0,71-4,0 мкм;
- 4) інфрачервона радіація (ІЧР) з довжиною хвиль 4,0-100,0 мкм.

Вплив сонячної радіації на рослину розглядають з точки зору теплового, фотосинтетичного і фотоморфогенетичного ефекту. Близько 70% поглиненої рослинами сонячної енергії перетворюється на тепло і використовується для підтримки температури і транспірації. До 28% поглиненої рослиною сонячної енергії у спектрі хвиль 0,38-0,71 мкм – фотосинтетичної частини радіації – використовується у процесі фотосинтезу для створення органічної речовини. В процесі росту і розвитку рослин з точки зору фотоморфогенетичного регулюючого ефекту використовується активна частина радіації з довжиною хвиль, яка починається з ультрафіолетової частини, охоплює ФАР і закінчується в початковому діапазоні БІЧР (0,76 мкм).

На теперішній час виконані численні дослідження стосовно впливу інтенсивності сонячної радіації на процеси росту, розвитку і формування продуктивності сільськогосподарських культур. В більшості із них аналізується вплив величини сумарної і фотосинтетично активної радіації на процеси фотосинтезу як основи формування органічної речовини. Перші роботи у цьому напрямку виконані на початку минулого століття

видатним фізіологом Тімірязєвим К.О. й надалі продовжені Ничипоровичем О.О., Тоомінгом Х.Г. та ін. Виявлено селективний характер поглинання сонячної енергії хлорофілом листя у спектрі червоно-оранжевих і синьо-фіолетових хвиль. Встановлено, що у процесі фотосинтезу утворюється близько 90-95% органічної речовини.

Тривалість освітлення, показником якого є тривалість сонячного саява, має безумовний вплив на процеси життєдіяльності рослин. В 1920 р. американськими вченими Гарнером і Аллардом було виявлено явище фотоперіодизму як реакції рослин на тривалість освітлення. За цією реакцією було виділено три групи рослин:

1) рослини довгого дня, розвиток яких прискорюється за довгого дня (пшениця, жито, ячмінь, овес, льон тощо);

2) рослини короткого дня, розвиток яких прискорюється за короткого дня (просо, соя, конопля тощо);

3) рослини нейтрального дня, у яких не відзначається помітної зміни в розвитку за зміни тривалості дня (гречка, боби, квасоля тощо).

Тепло. Від температури залежать усі процеси життєдіяльності рослин – ріст, розвиток, фотосинтез, дихання. Нижня межа температури цих процесів життєдіяльності визначається, в основному, фізичним процесом замерзання асимілюючих органів, який спостерігається для більшості трав'янистих рослин при 1 або 2 °С. У деяких арктичних або високогірних рослин і вічнозелених видів нижня межа замерзання становить -5...-7 °С, а у незначної кількості видів рослин можлива асиміляція CO₂ навіть за температури -25 °С. Верхня межа температур газообміну деяких тропічних злаків досягає 58-60 °С.

Характеристика такого фактора життя як тепло може надаватися рослині за такими показниками:

- рівнем температур початку і кінця вегетації;
- мінімальною, максимальною температурами та діапазоном оптимальних температур;
- кривою температур впродовж вегетації;
- сумою активних і ефективних температур як ресурсів тепла;
- інтенсивністю весняних і осінніх заморозків за різних дат спостереження.

Для озимих і багаторічних культур характеристика поповнюється такими показниками як абсолютний мінімум температури повітря і на поверхні ґрунту, середній із абсолютних річних мінімумів температури повітря, мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кушіння.

Види природної рослинності у центрі свого ареалу добре пристосовані до термічного режиму. Кліматична норма усіх вказаних показників цілком відповідає вимогам рослин до термічного режиму впродовж усіх циклів їх розвитку. Певна динаміка (міжрічна мінливість) величин цих показників знаходиться в межах адаптивної здатності

рослин, яка зумовлює деяку динаміку й оптимальних та лімітуючи величин термічного режиму. Культурні рослини не мають такого рівня адаптивної здатності і відзначаються меншим діапазоном як оптимальних, так і лімітуючи температур, що робить їх більш залежними від людської діяльності і зменшує ареал оптимальних умов.

Температура впливає передусім на процеси обміну речовин у рослині. Під впливом температури змінюється в'язкість протоплазми, швидкість хімічних реакцій і активність ферментів. Прискорення реакцій при підвищенні температури на 10 °C характеризується температурним коефіцієнтом Q_{10} , який визначається за формулою:

$$\ln Q_{10} = \frac{10}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (2.1)$$

де T_1, T_2 – діапазон зміни температур; R_1, R_2 - швидкість реакції за температур T_1, T_2 .

В незначному діапазоні температур величина температурного коефіцієнта Q_{10} залишається постійною і для більшості ферментативних реакцій дорівнює 1,4 - 2,0, а для фізичних процесів – 1,03 – 1,3. За низьких температур величина Q_{10} збільшується і лімітуючим чинником є ферментативні реакції. За високого рівня температур величина Q_{10} зменшується, а лімітуючим чинником стають фізичні процеси, наприклад, швидкість дифузії.

Тепло, як фактор життя рослин, розглядається не тільки у повітрі, а й на поверхні ґрунту та в різних його шарах. В останні десятиріччя запропоновано декілька показників, які відбивають вимоги рослин до тепла і пов'язані з механізмами фото - і термоперіодизму, притаманних усім процесам життєдіяльності рослин. Це, насамперед, такі показники, як денна і нічна температури, їх суми, добова амплітуда температур, різниця денних і нічних температур, температура діяльного шару та її сума. Температура діяльного шару розраховується за різницею між температурою зімкненого рослинного покриву і температурою повітря із застосуванням рівняння теплового балансу

$$T_w - T = \frac{Ro - LE - B}{\rho \cdot c_p \cdot Dd + 4\delta \cdot \sigma \cdot T^4}, \quad (2.2)$$

де $T_w - T$ - температура зімкненого рослинного покриву; Ro, LE, B - радіаційний баланс, витрати тепла на випаровування і теплообмін у

грунті; ρ, c_p, Dd - густина і питома теплоємність повітря за сталого тиску та коефіцієнт зовнішньої дифузії; δ, σ, T - стала Стефана-Больцмана, коефіцієнт сірості поверхні і температура повітря.

Волога. Волога відіграє дуже важливу роль в життєдіяльності усіх природних і культурних рослин. Відрізняють показники вологості повітря і ґрунту. Вода відноситься до основних факторів життя рослин і є невід'ємним чинником усіх процесів, які відбуваються в рослині впродовж повного циклу розвитку. Це, насамперед, процеси фотосинтезу, транспірації і мінерального живлення. Основним показником, що характеризує відношення рослини до вологи, є коефіцієнт транспірації, який являє собою кількість води, необхідної рослині для формування одиниці врожаю. Це біоекологічний показник, тобто такий, що характеризує культуру і місце вирощування.

Найбільшого поширення для характеристики умов зволоження в період росту рослин серед спеціалістів сільського господарства набув показник, що характеризує кількість опадів. Проте цей показник не може бути ефективним для оцінки вологовимогливості рослин, оскільки не вся кількість опадів може використовуватись рослиною. Найбільшу ефективність має та частина опадів, як проходить через рослину. Саме вона, у різній пропорції, бере участь у фотосинтезі, транспорті мінеральних речовин і транспірації. Причому, у фотосинтезі, порівняно із транспортом і транспірацією, бере участь незначна частина.

Потік води через рослину характеризується співвідношенням рухомої сили, яку розглядають як градієнт водного потенціалу, до опору і визначають за формулою:

$$\Phi_e = \frac{\varphi_s - \varphi_r}{r_{s,r}} = \frac{\varphi_r - \varphi_l}{r_{r,l}} = \frac{l_l - l_a}{r_l + r_a}, \quad (2.3)$$

де Φ_e - потік води; $\varphi_s, \varphi_r, \varphi_l$ - водний потенціал ґрунту, коріння та листя відповідно; r - опір потоку води; $r_{s,r}$ - опір потоку води від ґрунту до коріння; $r_{r,l}$ - опір потоку води від коріння до листя; r_l - опір потоку води в листі; r_l, r_a - парціальний тиск водяної пари і повітря.

Опір коріння і ґрунту воді залежить від водного потенціалу і потоку води. Іншою важливою властивістю системи «ґрунт – рослина – атмосфера» є те, що потік води через рослину визначається градієнтом водного потенціалу, який, в свою чергу, залежить від дефіциту води в листі, зумовленого транспірацією. Водний потенціал листя можна

представити через функцію потоку води через рослину, опору потоку води від коріння до листя і водного потенціалу ґрунту:

$$\varphi_l = \varphi_s - \Phi_e \cdot r_{s,l}, \quad (2.4)$$

де $r_{s,l}$ - опір потоку води від ґрунту до листя;

Виявлено, що водний потенціал листя залежить від температури і вологості повітря і ґрунту, величини сонячної радіації, яка надходить на рослинний покрив, швидкості вітру. Згідно із результатів численних досліджень залежність водного потенціалу від метеорологічних чинників особливо яскраво виявлена у рослин з добре розвинутою кореневою системою. Відомо, що від водного потенціалу залежить продиховий опір листя, який, в свою чергу, визначає інтенсивність фотосинтезу. Саме цими закономірностями можна пояснити відсутність функціонального зв'язку між кількістю опадів і величиною врожаю як результату продукційного процесу рослин. Іноді недоступність значної кількості опадів для рослин пояснюється несприятливим співвідношенням водного потенціалу листя і ґрунту або невеликий потік води через незначну кількість сонячної радіації. За низьких величин радіації і транспірації опади для продукційного процесу майже не мають користі, а при надлишку опадів – навіть є шкідливими через погіршення аерації ґрунту, що зумовлює полягання рослин. Для рослин також шкідливим чинником є дефіцит вологи. При нестачі або недоступності вологи зменшується інтенсивність транспірації і ФАР не використовується у продукційному процесі, а за певних умов сонячна радіація стає нищівною для рослин чинником.

Водний режим рослин оцінюється за рівнянням водного балансу:

$$W_{\Pi} - W_K + X - E + q - I_x = 0, \quad (2.5)$$

де W_{Π}, W_K – запаси вологи у ґрунті на початок і кінець розрахункового періоду; X - кількість опадів; E - сумарне випаровування; q, I_x - волога, що надходить до кореневого шару від ґрунтових вод, та інфільтрація вологи від опадів відповідно.

За додатної величини водного балансу спостерігається надмірне зволоження, а за від'ємної – посушливість. Із складових водного балансу добре корелює з величиною врожаю більшості сільськогосподарських культур водний дефіцит, відношення фактичного випаровування до потенційного та індекс сухості Будико-Григор'єва, які визначаються за формулами:

$$\Delta E = E_o - E, \quad (2.6)$$

$$V = \frac{E}{E_o}, \quad (2.7)$$

$$I_s = \frac{R}{Lr}, \quad (2.8)$$

За відношенням до вологи усі рослини поділяються на групу вологолюбних і посухостійких культур. Деякі ж сільськогосподарські рослини можна вирощувати тільки за умови зрошування. При цьому слід звернути увагу на те, що для усіх груп культур збільшення вологи у ґрунті до певних меж зумовлює збільшення врожаю. Ці межі або рівні оптимуму (W_{opt1}, W_{opt2}), в залежності від етапу розвитку рослини, становлять 70-90 % найменшої польової вологоємності (НПВ або НВ).

2.2 Класифікація сільськогосподарських культур за їх відношенням до факторів середовища

Усі рослини у процесі історичного розвитку (філогенезу) знаходяться під безперервним впливом кліматичних умов свого місцезнаходження, до яких пристосовуються. Внаслідок такого пристосування у них формуються конкретні вимоги до умов існування, які стали їх біологічними або екологічними особливостями. Наприклад, рослинам тропічного походження притаманні вимоги до підвищеного рівня температур і вологості, а рослинам помірних широт – певна холодостійкість в перехідні періоди і взимку (для озимих і багаторічних культур). Відзначається диференціація пристосувальних властивостей різних культур до умов середовища впродовж вегетації, особливо, в розрізі періодів формування вегетативних і генеративних органів. Практичне значення у цьому сенсі мають дослідження, спрямовані на розробку системи класифікації рослин за їх вимогами до умов середовища. Саме такі розробки є основою для подальшої оцінки агрокліматичних умов середовища – визначення умов тепло- і вологозабезпеченості, заморозко- і морозонебезпечності тощо.

На основі аналізу емпіричних даних (спостережень) Г.Т. Селянінов у 1930 році вперше дав схему класифікації сільськогосподарських культур за трьома основними ознаками (критеріями), які характеризують рослини за їх вимогами до термічного режиму. Згідно цієї класифікації (табл.2.1) усі культури були поділені на три групи (А, Б і В) за коливанням середньої місячної температури впродовж вегетаційного

періоду і формою кривої річного ходу температури повітря. Далі групи діляться на класи за рівнем температури початку росту, а класи на форми - за сумою температур за період активного росту і розвитку (в межах 5 і 10 °С). Через відсутність емпіричних даних класифікація рослин по відношенню до світла і вологи Г.Т. Селяніновим не була зроблена.

Колосков П.І. в своїй класифікації важливе значення надавав тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур. Ця ознака визначає, насамперед, північну межу можливого вирощування культур, а також можливості поширення культур в райони з посушливим кліматом та при обґрунтуванні можливості пожнивних посівів. За цим показником виділено п'ять класів (табл.2.2).

Другою ознакою у Колоскова П.І. є ступінь вологолюбивості (або посухостійкості). Для цього він розраховував коефіцієнт зволоженості $K_{зв}$ за період з температурою >0 °С за формулою:

$$K_{зв} = \frac{\Sigma R}{\Sigma d}, \quad (2.9)$$

де $\Sigma R, \Sigma d$ - відповідно кількість опадів і сума дефіцитів насичення повітря за період з температурою вище 10 °С.

За цим показником виділено п'ять груп рослин (табл.2.3). Третім критерієм класифікації рослин Колосков П.І. пропонує використовувати коефіцієнт транспірації $K_{тр}$, за яким він виділив п'ять родів:

- 1) <300 ;
- 2) 300-400;
- 3) 400-500;
- 4) 500-600;
- 5) >600 .

В якості четвертого критерію взято температуру початку вегетації і ступінь морозостійкості. Усього виділено сім видів культур:

- 1) озимі культури високої морозостійкості (озиме жито);
- 2) культури середньої морозостійкості (озима пшениця);
- 3) низької морозостійкості (озимий ячмінь);
- 4) ярі культури, які можливо вирощувати за дуже ранніх строків сівби, дуже морозостійкі (заморозкостійкі);
- 5) культури, які можна сіяти за температури 5 °С – дуже заморозкостійкі;
- 6) культури, які можна висівати при температурі 10 °С – переносять незначні заморозки;
- 7) культури, сіють при температурі 15 °С – не витримують навіть незначні заморозки.

Таблиця 2.1 – Класифікації Селянінова Г.Т.

Група	Коливання температур	Культура	Клас	Рівень температур початку росту, °C	Характеристика культур	Форма	$\Sigma T > 10^{\circ}C$	Ступінь стиглості
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	Коливання середньої місячної температури	Тропічні культури Баштанні	I	0-5	Холодостійкі невідомі рослини із високогірних тропіків	1	1000	Дуже швидкостиглі
						2	1000-2000	Швидкостиглі
						3	2000	Середньостиглі
	Форма кривої річного ходу температури близька до прямої	Кукурудза, сорго, бавовна, кенаф, батат, кліщовина, картопля	II	5-10	Помірні (картопля)	1	1000-2000	Швидкостиглі
						2	2000-3000	Середньостиглі
			III	10-15	Теплолюбні (кукурудза)	3	3000	Пізнєостиглі
						1	1000-2000	Швидкостиглі
			IV	15	Дуже теплолюбні (огірки, люфа)	2	2000-3000	Середньостиглі
						3	3000-4000	Пізнєостиглі
						4	4000	Дуже пізнєостиглі
						1	1000-2000	Швидкостиглі
						2	2000-3000	Середньостиглі
						3	3000-4000	Пізнєостиглі
						4	4000-6000	Дуже пізнєостиглі
						5	6000	Постійно

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б	Коливання середньої температури впродовж вегетації >10 °С Форма кривої ходу температури опукла	Ярі (льон, овес, пшениця, конопля, соняшник)	I	0-5	Холодно-стійкі (льон)	1	1000	Дуже швидкостиглі
			II	5-10	Помірні (яра пшениця)	2	1000-2000	Швидкостиглі
						3	2000-3000	Середньостиглі
						4	3000	Пізньостиглі
			III	10-15	Теплолюбні (соняшник)	2	1000-2000	Швидкостиглі
						3	2000-3000	Середньостиглі
						4	3000-4000	Пізньостиглі
						5	4000	Дуже пізньостиглі
В	Коливання середньої місячної температури >5 °С Форма кривої річного ходу увігнута	Озимі хліба, капуста, корене-плоди	I	0-5	Холодно-стійкі (капуста)	1	1000	Дуже швидкостиглі
			II	5-10	Помірні (озима пшениця)	2	1000-2000	Швидкостиглі
						3	2000-3000	Середньостиглі
						1	1000	Дуже швидкостиглі
						2	1000-2000	Швидкостиглі
						3	2000-3000	Середньостиглі

Таблиця 2.2 – Класифікація рослин за їх вимогами до термічного режиму

Група	Характеристика вологолюбивості рослин	Кзв
I	Культури зони крайньої сухості, які можуть рости без поливів до межі пустелі (ксерофіти)	<1,6
II	Культури, які можуть рости в посушливій зоні	≥1,6
III	Культури слабкопосушливої зони	≥3,2
IV	Культури помірно вологої зони	≥4,6
V	Культури вологої зони	Тільки при осушуванні

Таблиця 2.3 – Класифікація рослин за коефіцієнтом зволоження

Клас	Характеристика швидкості досягання	Тривалість вегетаційного періоду (<i>N_{вп}</i>), доба
A	Ультрашвидкостиглі (ефемери)	< 85
B	Швидкостиглі	85-115
B	Середньостиглі	115-145
Г	Пізнньостиглі	145-175
Д	Дуже пізнньостиглі	>175

Крім того, враховуються специфічні особливості культур, за якими виділено підвиди:

- рослини, які за великої сухості повітря припиняють вегетацію і впадають в стан спокою;
- рослини, які знижують свою продуктивність за яскравого сонячного світла і зниженої вологості повітря;
- рослини, для яких потрібно багато води у ґрунті.

За класифікацією П.І.Колоскова кожену культуру можна описати формулою.

Наступна класифікація була запропонована В.М.Степановим, здійснена на основі критеріїв, що характеризують вимогливість рослин до тепла і необхідної тривалості освітлення. Рослини поділено на два типи:

Тип А – рослини помірного клімату. На початку розвитку вимогливість до тепла невелика (температура становить 3-5 °С), а потім підвищується. Це рослини з довгою світловою стадією, які характеризуються високою зимо- і холодостійкістю: жито, пшениця, овес, ячмінь, льон та інші.

Тип Б – рослини тропічного клімату, дуже вимогливі до тепла, нехолодостійкі з короткою світловою стадією: просо, сорго, рис, бавовник, тютюн, диня, гарбуз тощо.

Рослини обох типів поділяються за структурою і тривалістю життєвого циклу на:

- однорічні;
- дворічні;
- багаторічні з розтягнутим або коротким періодом росту, розвитку, цвітіння і плодоношення.

За величиною біологічного нуля усі рослини поділені на п'ять класів:

I клас – $B = 3-5^{\circ}\text{C}$

II клас – $B = 6-8^{\circ}\text{C}$

III клас – $B = 8-10^{\circ}\text{C}$

IV клас – $B = 10-12^{\circ}\text{C}$

V клас – $B = 12-15^{\circ}\text{C}$.

За ступенем морозостійкості рослини поділені на дві раси – ярі і озимі. Раса ярих поділяється на п'ять підрас за ступенем заморозкостійкості:

1) $-6...-8^{\circ}\text{C}$;

2) $-4...-6^{\circ}\text{C}$;

3) $-2...-4^{\circ}\text{C}$;

4) $-1...-2^{\circ}\text{C}$;

5) $0...1^{\circ}\text{C}$.

Раса озимих поділяється на три підраси за морозостійкістю:

1) $<-20^{\circ}\text{C}$;

2) $-15...-20^{\circ}\text{C}$;

3) $-10...-15^{\circ}\text{C}$.

За вимогами культур до тепла, які оцінюються сумою активних температур вище 10°C і тривалістю вегетаційного періоду рослини поділяються на 7 груп (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Класифікація рослин Степанова В.М.

Група рослин	$\Sigma T \geq 10^{\circ}\text{C}$	$N_{\text{вп}}$ (доба)
Перша	< 1000	60-80
Друга	1000-1500	80-100
Третя	1500-2000	100-120
Четверта	2000-2500	120-140
П'ята	2500-3000	140-160
Шоста	3000-3500	160-180
Сьома	> 3500	> 180

Наступна класифікація рослин була здійснена Алпатьєвим О.М., яка базувалася на застосуванні двох основних критеріїв:

1) сумарної вимогливості рослин до води за вегетаційний період, яка розраховується за формулою $\Sigma E_o = K \cdot \Sigma D$;

2) ритму розвитку і росту рослин, які визначають швидкість їх вологоспоживання.

На основі цих критеріїв він виділив три групи рослин, які поділяються на підгрупи (табл.2.5).

Таблиця 2.5 – Класифікація рослин Алпатьєва О.М.

Група	Вид рослинності	Форма рослинності
I	Деревинні рослини	Вічнозелені форми рослини тропічних широт
		Листопадні форми тропічних широт
		Листопадні форми помірних широт
II	Трав'янисті багаторічні	Багаторічні форми рослин тропічних широт
	Багаторічні рослини	Багаторічні форми рослин помірних широт
III	Трав'янисті однорічні і ефемерні	Однорічні рослини з тривалою вегетацією
		Однорічні рослини з середньотривалою вегетацією
		Однорічні рослини з короткою вегетацією і ефемери

2.3 Методи визначення агрокліматичних показників

Під агрокліматичними показниками розуміють кількісний вираз зв'язку росту, розвитку, стану і продуктивності об'єктів сільськогосподарського виробництва з факторами клімату. Таким чином, агрокліматичні показники відбивають як вимоги об'єктів сільськогосподарського виробництва, найперше, сільськогосподарських культур, в певних кліматичних умовах, так і реакцію їх на конкретні величини кліматичних факторів або їх комплексу.

Різниця у виділенні агрометеорологічних і агрокліматичних показників обумовлена періодом осереднення і метою застосування – для режимного чи оперативного обслуговування споживачів інформації. Селянінов Г.Т. вперше ввів термін «кліматичні показники культур», які являють собою агрокліматичні показники. Він же першим запропонував й ряд агрокліматичних показників, які використовуються до сьогоднішнього дня:

- 1) сума середньодобових температур повітря за періоди з температурою вище 5, 10 і 15 °C - $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}$ (>5 і 15°C);
- 2) гідротермічний коефіцієнт Селянінова Г.Т. - $ГТК$;

3) середній із абсолютних мінімумів температури повітря ($\overline{T_{\min}}$);

В роботах агрокліматичного напрямку мають застосування й інші показники, в тому числі:

1) тривалість вегетаційного періоду ($N_{v.n}$) і міжфазних періодів різних культур;

2) суми температур і середні температури за вегетаційний період і міжфазні періоди (ΣT і $t_{\text{сер}}$);

3) критичні (низькі і високі) температури, які пошкоджують культури;

4) оптимальні температури - $T_{\text{опт}}$ ($T_{\text{опт}1}$ і $T_{\text{опт}2}$);

5) показники, які враховують фото- і термоперіодизм рослин – середні температури за ніч і день, суми денних і нічних температур;

6) кількість опадів, дефіцит вологості повітря, відносна вологість повітря, число днів з певною вологістю повітря, запаси вологи тощо;

7) показники стійкості культур до посух;

8) показники зимостійкості, холодостійкості і морозостійкості;

9) показники інтенсивності освітлення в рослинному середовищі;

10) показники, які зв'язують врожай з кліматичними елементами.

Усі агрокліматичні показники визначаються на підставі аналізу багаторічних агрометеорологічних спостережень, які включають:

1) метод паралельних або поєднаних спостережень за метеорологічними умовами і біоекологічними показниками культур (метод Броунова);

2) метод географічних сівки (за 2-3 роки), який дозволяє на підставі аналізу 2-3-х річних спостережень визначити агрокліматичні показники;

3) метод прискорених строків сівки (метод Г.Т. Селянінова);

4) метод статистичної обробки матеріалів по врожайності сільськогосподарських культур;

5) метод лабораторних досліджень (вегетаційні хатинки, фітотрони);

6) метод мікрокліматичних сівки і посадок;

7) метод кліматичного аналізу, який близький до методу географічних сівки (Воейкова О.І.).

2.4. Принципи сільськогосподарської оцінки клімату

В поточний період відомо багато класифікацій кліматів – Берга Л.С. (ландшафтний підхід), Кеппена, Б.П. Алісова та інші, але вони малоефективні для сільськогосподарської оцінки.

Перша спроба розробити класифікацію клімату стосовно до сільськогосподарського виробництва, яка базувалася на застосуванні 31

показника, була здійснена російським ботаніком Р.Є.Регелем в 1905-1909 рр. Але вона не мала застосування через надмірну складність. Основним же недоліком була, насамперед, відсутність врахування вимог культур до кліматичних умов.

В 1921 році Є.Є. Федоров розробив новий комплексний метод оцінки клімату для сільськогосподарських цілей. Його схема базувалась на комплексній оцінці факторів клімату. Але це поєднання носило суб'єктивний характер і не відбивало вимоги сільськогосподарських культур.

В Італії Джироламо Ацці в 1926 році запропонував схему сільськогосподарської оцінки клімату, в основу якої були покладені міжфазні періоди, а оцінка кліматичних умов виконується в межах цих періодів у порівнянні з вимогами культур і їх повторюваності за певний проміжок часу (мінімум 10 років).

Наступна спроба оцінки клімату була зроблена в 1928 році американським вченим В.Є. Лівінгстоном для території США. Його класифікація виконана для беззаморозкового періоду, який він вважав однаковим з вегетаційним періодом більшості культур. В Європі ця класифікація не знайшла поширення, тому що вегетаційний і беззаморозковий період тут неоднаковий.

Найбільшого поширення на території минулого СРСР набули дослідження, присвячені розробці принципів сільськогосподарської оцінки клімату, яка повністю базується на вимогах сільськогосподарських культур до термічного і вологісного режимів повітря і ґрунту. До них слід, насамперед, віднести дослідження Г.Т. Селянінова, П.І. Колоскова, Ф.Ф. Давітая, І.А. Гольцберг, С.А. Сапожнікової, Д.І. Шашко. За основу сільськогосподарської оцінки клімату прийнято принцип, який базується на врахуванні вимог культур до кліматичних умов і кліматичних умов за певні етапи розвитку культур та в цілому за вегетаційний період.

Виходячи із цього принципу, методика сучасних підходів сільськогосподарської оцінки клімату складається із таких оцінок:

- 1) радіаційно-світлових ресурсів вегетаційного періоду і підперіодів;
- 2) теплових ресурсів вегетаційного періоду і підперіодів;
- 3) ресурсів вологи і вологозабезпеченості вегетаційного періоду і підперіодів;
- 4) лімітуючих агрокліматичних умов, до яких відносять:
 - 4.1) умови морозонебезпечності для озимих, зимуючих і багаторічних культур;
 - 4.2) умов заморозконебезпечності в весняний і осінній періоди;
 - 4.3) умов посушливості в весняно-літньо-осінній періоди;

Сільськогосподарська оцінка клімату здійснюється в декілька етапів:

Етап I – встановлюється залежність росту і розвитку сільськогосподарських культур, а також врожайності та якості від кліматичних факторів, тобто визначаються агрокліматичні показники рослин.

Етап II – паралельно з оцінкою біоекологічних показників рослин детально вивчаються агрокліматичні ресурси території.

Етап III – визначається ступінь відповідності агрокліматичних ресурсів вимогам сільськогосподарських об'єктів.

Етап IV – вивчається просторовий перерозподіл агрокліматичних ресурсів на близьких відстанях – мікроклімат.

Етап V – проводиться детальне тематичне і комплексне агрокліматичне районування території та розробляються рекомендації по розміщенню видів і сортів сільськогосподарських культур.

Етап VI – визначається рентабельність вирощування окремих озимих сільськогосподарських культур на досліджуваних територіях. Ця частина робіт виконується разом зі спеціалістами сільського господарства.

Питання до розділів 1 і 2

1. Визначення предмету та об'єкту дослідження в агрокліматології

2. Мета та основні завдання агрокліматології

3. Теоретичні засади агрокліматології.

4. Методи дослідження в агрокліматології: експериментальний, агрокліматичних розрахунків і узагальнень, картографічний, математичного моделювання.

5. Закони землеробства та основні фактори життя рослин.

6. Класифікації рослин за їх вимогами до клімату.

7. Класифікації рослин за вимогами до світла.

8. Класифікація рослин за вимогами до термічного режиму і ресурсів тепла.

9. Класифікація рослин за вимогами до режиму зволоження і ресурсів вологи.

10. Класифікація рослин за відношенням до умов перезимівлі.

11. Класифікація рослин за відношенням до режиму весняних і осінніх заморозків.

12. Поняття «агрокліматичні показники».

13. Розкрити суть класифікації рослин по відношенню до клімату Колоскова П.І.

14. Розкрити суть класифікації рослин по відношенню до клімату Степанова В.М.

15. Розкрити суть класифікації рослин по відношенню до клімату Селянінова Г.Т.
16. Розкрити суть класифікації рослин по відношенню до клімату Алпатьєва О.М.
17. Принципи сільськогосподарської оцінки клімату;
18. Суть методики сільськогосподарської оцінки клімату;
19. Етапи сільськогосподарської оцінки клімату

Список літератури до розділів 1 і 2

1. Мищенко З.А. Агроклиматология. Учебник. – Киев:КНТ. – 2009. – 512 с.
2. Синицина Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология. Учебное пособие. / Под ред. Гольцберг И.А. – М.:Гидрометеиздат. – 1973. – 344 с.
4. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 287 с.
7. Алпатьев А.М. Влагооборот в природе и его преобразование. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 324 с.
9. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельском хозяйстве. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. - 289 с.
11. Колосков П.И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 328 с.
15. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 247 с.

3 МЕТОДИ АГРОКЛІМАТИЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ БАГАТОРІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

В агрокліматології використовується майже всі дані метеорологічних спостережень, які пройшли кліматологічну обробку, теорія і методи якої були розроблені відомими вченими – О.О. Камінським, О.С. Рубінштейн, О.А. Дроздовим, Н.В. Кобишевою та ін. Ці ж методи застосовуються й для обробки даних агрометеорологічних спостережень. Проте деякі дані агрометеорологічних спостережень вимагають специфічних підходів і методів обробки, що пов'язано як з самими даними агрометеорологічних спостережень, так й із задачами агрокліматичного забезпечення сільськогосподарської галузі.

Агрокліматичні методи обробки матеріалів спостережень детально викладено в роботах Г.Т. Селянінова, І.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давітая, С.А. Сапожніковою, Л.С. Кельчевською, З.А. Міщенко та інших вчених – агрокліматологів.

Поява сучасної комп'ютерної техніки і програмного забезпечення зумовили можливість удосконалення методів обробки і контролю матеріалів спостережень та розробку нових агрокліматичних показників, які дозволяють розширити межі агрокліматичного забезпечення споживачів інформації. Насамперед, це стосується швидкості обробки даних, отримання характеристик агрокліматичних показників, які мають поширене застосування та методи інтерпретації їх просторового розподілу.

3.1. Характеристики кліматичних і агрокліматичних показників

Агрокліматичну, як і кліматологічну, інформацію для метеорологічних величин представлено основними статистичними характеристиками: середніми, екстремальними (найбільші, найменші) їх значеннями з вказуванням року спостереження, мірою мінливості (середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації), для окремих характеристик – частотою (повторюваністю) або імовірністю.

Основною характеристикою величин є середнє (багаторічне) значення, яке розраховується за формулою

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.1)$$

де x – член ряду (окремі значення); n – число членів ряду (період спостережень).

Середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації визначаються за формулами

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (3.2)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3.3)$$

Важливо визначити похибку середніх значень, яка залежить від багатьох факторів і, насамперед, від мінливості самої метеорологічної величини та періоду осереднення. Середня квадратична похибка середнього арифметичного значення визначається за формулою

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{n}. \quad (3.4)$$

За допомогою цих даних можна оцінити точність середніх значень для заданого числа років і середнього квадратичного відхилення, а також визначити період спостережень (років), необхідний для одержання середніх значень з відповідною похибкою.

У низці таблиць наводиться повторюваність, яка являє собою відношення числа випадків із заданим значенням до загального числа всіх розглянутих випадків і виражена у відсотках.

Для розширення кліматологічної інформації на основі аналізу фактичних даних створюються математичні моделі у вигляді функцій розподілу, за допомогою яких можна обчислювати статистичні характеристики та імовірності розподілу щільностей імовірностей. Особливо важливим є розрахунок екстремального значення визначеної імовірності (квантілі). На екстремумах різної імовірності ґрунтуються нормативи багатьох галузей економіки, які враховують у своїй діяльності кліматологічні і агрокліматичні характеристики.

Для цієї мети можуть бути застосовані різні моделі. Для безперервних величин (суми фотосинтетично активної радіації, температур тощо) найближчими до фактичних будуть дані, отримані за допомогою функції розподілу Вейбулла:

$$F(x; a, b, c) = 1 - \exp\left(-((x - a)/b)^c\right) \quad (3.5)$$

де a – параметр зрушення, b – параметр масштабу, c – параметр формули.

Параметри розподілу можна визначати різними методами залежно від наявності обчислювальних засобів.

За відомих параметрів розподілу Вейбулла квантілі визначаються за формулою

$$x(F) = b(-\ln(1 - F))^{1/c} + a \quad (3.6)$$

Для дискретних величин (число днів з явищем) застосовується біноміальний розподіл. Ймовірність f того, що буде спостерігатися x днів з явищем серед n днів розраховується за рекурентними формулами

$$\text{для } x = 0 \quad f(0) = (1 - p)^n \quad (3.7)$$

$$\text{для } x \geq 0 \quad f(x) = f(x - 1) \cdot \frac{(n - x + 1)}{x(1 - p)} \quad (3.8)$$

де p – імовірність спостереження явища.

Для явищ, які спостерігаються рідко, тобто, коли $p \ll 0,1$ (наприклад, для числа днів зі швидкістю вітру більше 15 м/с), доцільно використовувати складний розподіл Пуассона, згідно із яким число днів з явищем розраховується також за рекурентними формулами

$$\text{для } x = 0 \quad f(0) = \left(\frac{y}{y + 1}\right)^a \quad (3.9)$$

$$\text{для } x \geq 0 \quad f(x) = f(x - 1) \cdot \frac{x + a - 1}{x(y + 1)} \quad (3.10)$$

Параметри розподілу визначаються за такими формулами:

$$a = \frac{\overline{x^2}}{\overline{\sigma^2} - \overline{x}} \quad (3.11)$$

$$\gamma = \frac{\overline{x}}{\sigma^2 - \overline{x}} \quad (3.12)$$

3.2 Просторова структурна і кореляційна функції (ПСФ, ПКФ)

В кожній окремій реалізації випадкового поля величина x_i в координатах φ_i та λ_i набуває того чи іншого значення, у зв'язку з чим виникає питання - наскільки близькі до цього значення x_i в навколишніх точках. Повний статистичний опис одночасної поведінки випадкового поля вимагає завдання багатовимірної функції розподілу, що ускладнює об'єктивне вирішення задачі опису та інтерпретації. На практиці обмежуються більш простими характеристиками у вигляді кореляційних, структурних і спектральних функцій.

Простою характеристикою зв'язності є структурна функція $b(l)$, яка за умови однорідності й ізотропності визначається із відношення:

$$b_x(l) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta x_{i+l} - \Delta x_i)^2 \quad (3.13)$$

де l – відстань між точками, в яких беруться елементи або їх аномалії Δx .

За $l = 0$ структурна функція дорівнює нулю і зростає разом із збільшенням відстані, набуваючи значення при $l = \infty$ «насичене значення»

$$b_x(\infty) = 2\sigma_{x^2} \quad (3.14)$$

Від значення структурної функції можна перейти до кореляційної функції ПКФ за співвідношенням $b_x(l) = 2\sigma_x^2[1 - r(l)]$:

$$r_x(l) = \frac{2\sigma_x^2 - b_x(l)}{2\sigma_x^2}. \quad (3.15)$$

Просторова - кореляційна функція (ПКФ $r(l)$) приймає максимальне значення за $l = 0$, а із збільшенням відстані l зменшується.

За дуже великої відстанні між станціями зв'язок між елементами практично наближується до нуля.

Алгоритм розрахунку просторових кореляційних функцій (ПКФ) передбачає проведення наступних операцій:

а) складання матриці вихідних значень за спостереженнями поля в точках x_1, x_2, \dots, x_n по строкам j

$$x = \begin{pmatrix} x_{11}, & x_{12}, & \dots, & x_{1n} \\ x_{21}, & x_{22}, & \dots, & x_{2n} \\ x_{31}, & x_{32}, & \dots, & x_{3n} \\ x_{j1}, & x_{j2}, & \dots, & x_{jn} \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

б) розрахунок та оцінка середнього арифметичного значення за усім рядом спостережень:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (3.17)$$

в) розрахунок та оцінка середнього квадратичного відхилення σ_j і коефіцієнта варіації C_{v_j}

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n_j}}, \quad (3.18)$$

$$C_{v_j} = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j}; \quad (3.19)$$

г) розрахунок та оцінка коефіцієнтів парної кореляції за однаковий період спостережень

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)(x_{ij} - \bar{x}_j)}{\sigma_k \sigma_j n_{kj}}, \quad (3.20)$$

д) осереднення парних коефіцієнтів кореляції по градаціям відстаней Δl (з врахуванням числа випадків n_i)

$$\bar{r} = \frac{\sum_{j=1}^{i-1} r_j n_j}{\sum_{j=1} n_j}; \quad (3.21)$$

е) побудова лінії регресії $r = f(l)$ у полі парної кореляції для відповідних середньоарифметичних відстаней l і її аналітичний опис;

ж) оцінка помилки зважених середніх коефіцієнтів кореляції за співвідношенням:

$$\sigma_{r_{jk}} = \frac{1 - \bar{r}^2}{\sqrt{n_{cp} - 1}}, \quad (3.22)$$

а для розподілу величини Z_j :

$$Z_j = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + r_j}{1 - r_j} + \frac{r_j}{2(n-1)}, \quad (3.23)$$

її помилку:

$$\sigma_{z_{jk}} = \frac{1}{\sqrt{n_{cp} - 3}} \quad (3.24)$$

де $n_{cp} = \sum_{j=1}^N n_j / N$ – число точок в інтервалі Δl ;

з) складання довірних інтервалів $J_\beta(r)$ для відповідних рівнів довірної імовірності:

$$\left[\tilde{Z}(l_{jk}) - t \sigma_{z_{jk}} < Z(l_{jk}) + \sigma_{z_{jk}} \right], \quad (3.25)$$

де $t = \left(Z(l_{jk}) - \tilde{Z}(l_{jk}) \right) / \sigma_{z_{jk}}$ – нормоване відхилення оцінки парних кореляцій Z_{jk} ;

в) оцінка просторової однорідності просторової функції виконується за основними критеріями погодження: Колмогорова, χ^2 , ω^2 , за розподілом Фішера або у будь-який інший спосіб.

3.3 Методи агрокліматичного обробки матеріалів метеорологічних і агрометеорологічних спостережень

Якість агрокліматичної інформації значною мірою визначається методами первинної обробки і контролю матеріалів спостережень, які виконуються в декілька етапів:

- первинна обробка матеріалів спостережень: зняття вимірів і внесення поправок до них, розрахунок середніх та визначення екстремальних величин за різні часові періоди;
- контроль матеріалів спостережень;
- поповнення даних за пропущені строки спостережень;
- приведення матеріалів спостережень до однорідного періоду;
- визначення багаторічних середніх і екстремальних величин;
- розрахунок імовірнісних характеристик агрокліматичних показників.

Усі розрахунки і контроль матеріалів спостережень виконуються за методикою, яка викладається в «Настанові гідрометстанціям і постам». Результати спостережень після первинної обробки заносяться в спеціальні робочі книжки і таблиці. Контроль матеріалів поділяється на три види.

1. Технічний контроль, метою якого є визначення вірності записів даних спостережень та їх первинної обробки, яка здійснюється шляхом внесення поправок до вимірів і полягає в повторній обробці матеріалів спостережень. Як правило, технічний контроль виконується іншим спостерігачем або інженером;
2. Локальний контроль полягає у порівняльному аналізі матеріалів спостережень за декілька послідовно взятих строків і виконуються зразу ж після проведення останнього строку спостережень. Цей вид контролю дозволяє своєчасно виявити похибки більшості метеорологічних і агрометеорологічних спостережень, наприклад, вологості ґрунту, фаз розвитку сільськогосподарських рослин тощо.
3. Критичний контроль полягає у порівнянні матеріалів спостережень (отриманих метеорологічних і агрометеорологічних характеристик) на мережі гідрометеорологічних станцій і постів, які розташовані в однакових фізико-географічних умовах. Він виконується у відповідних відділах (метеорології, агрометеорології) зональних бюро погоди, обсерваторій, гідрометцентрах. Виконання цього виду контролю здійснюється шляхом складання порівняльних таблиць, графіків

динаміки, гістограм і діаграм. Найбільш наочне уявлення про якість матеріалів досягається із застосуванням методу картографічного аналізу, який дозволяє виявити похибки у просторовому розподілі тих чи інших характеристик метеорологічних і агрометеорологічних показників.

Тільки після проведення усіх видів контролю матеріалів спостережень і обробки приймається рішення про внесення їх до бюлетенів і довідників, з обов'язковим вказування періоду (роки) спостережень.

До агрокліматичної інформації як виду режимної або нормативної інформації про природне середовище територій ставиться ряд особливих вимог, основними із яких є достовірність та однорідність матеріалів спостережень. Достовірність агрокліматичної інформації визначається можливістю охоплення усього комплексу умов, яка досягається тривалим періодом спостережень. Для більшості метеорологічних показників такий період повинен становити 50-60 років, але не менше 25-30 років. Для агрометеорологічних спостережень за фазами розвитку сільськогосподарських культур та вологістю ґрунту на полях з ними такий період не може бути менше 20 років.

Особливе значення надається однорідності рядів спостережень: порівнювання просторового розподілу різних агрокліматичних показників проводиться тільки за даними агрометеорологічних станцій з однаковим рядом спостережень. У разі пропусків спостережень в окремі строки або роки застосовуються методи поповнення пропущених строків, які базуються на визначенні різниці або відношення величин агрометеорологічних показників на парі або більше станцій, за обов'язкової умови ідентичності як фізико-географічних умов, так і сортових особливостей сільськогосподарських культур. Складаються спеціальні графіки або рівняння зв'язку, за якими визначаються величини агрокліматичних показників в пропущені строки.

Наприклад, необхідно привести до довгого ряду середньобагаторічну величину показника X (дату фази) на короткорядній станції B . Складаємо таблицю, в якій в графі заносимо дати настану фази в окремі роки паралельних спостережень на довгорядній і короткорядній станціях A і B . Порівнюємо дані спостережень за фазою культури та визначаємо різницю $(B_i - A_i)$ в ті роки, коли проводилися паралельні спостереження, а надалі приводимо до довгого ряду середню дату настану фази на короткорядній станції за формулою:

$$\overline{B}_N = \overline{A}_N + \frac{(B_1 - A_1) + (B_2 - A_2) + \dots + (B_n - A_n)}{N} \quad (3.26)$$

де \overline{B}_N - приведена до довгого ряду N величина середньої багаторічної дати фази культури на короткорядній (n) станції B ; де \overline{A}_N -

середня багаторічна дата фази культури на довгорядній станції A ; n - роки паралельних спостережень на обох станціях.

У разі застосування графічного методу складається графік зв'язку, де по осі абсцис наносяться дати настання фаз на довгорядній станції A за усі роки спостережень, а по осі ординат – короткорядної станції B . У полі графіка, на пересіченні точок, проводиться пряма, за якою визначається як середньобагаторічна величина на станції B_i , приведена до довгого періоду (станції A), так і за будь-який рік, коли спостереження не проводилися.

Середні багаторічні величини необхідно поповнювати такими характеристиками як екстремальні (крайні) величини, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнти варіації, ексцес та асиметрії, а також імовірності та забезпеченості різних величин агрокліматичних показників. Ці характеристики визначають часову мінливість агро кліматичних показників. Вперше криві імовірності були побудовані Барановим П.О. у 1923 році при вивченні режиму мінімальних температур в Криму.

Основою для побудови графіків кривих забезпеченості є результати спеціальних розрахунків, які виконуються за середньої багаторічної величиною агрокліматичного показника, її середнім квадратичним відхиленням σ та коефіцієнтів Гауса K_r . В табл.3.1 представлено результати розрахунку імовірності дат останніх весняних заморозків за спрощеним методом Гауса, який можна застосовувати за умови нормального закону розподілу щільностей імовірності показників.

Наочне уявлення про криву сумарної імовірності дат показано на графіку кривої забезпеченості (рис.3.1). За осередненими для ряду станцій величинами σ складають ряд кривих сумарної імовірності показника, наприклад, кількості опадів, для великого регіону або навіть природної зони. За отриманими даними в прямокутній системі координат будується номограма забезпеченості кількості опадів (рис.3.2). На вертикальній осі відкладаються середні величини елементу (опадів), а на горизонтальній осі - наносяться дані за весь період спостережень. Через точки однієї імовірності проводяться прямі або згладжені криві. З побудованої номограми знімаються відповідні величини імовірності, які заносяться в таблицю (табл.3.2).

Перевага номограм перед графіком кривої забезпеченості полягає у можливості представлення на одному графіку структури середніх багаторічних величин для значної території за певний час. Ширина графіку в межах 5 і 95 % імовірності вказує на мінливість показника в часі. В подальшому Ф.Ф. Давітая з метою визначення теплозабезпеченості винограду в СРСР, метод дослідження часової мінливості величин агрокліматичних показників шляхом розрахунку їх

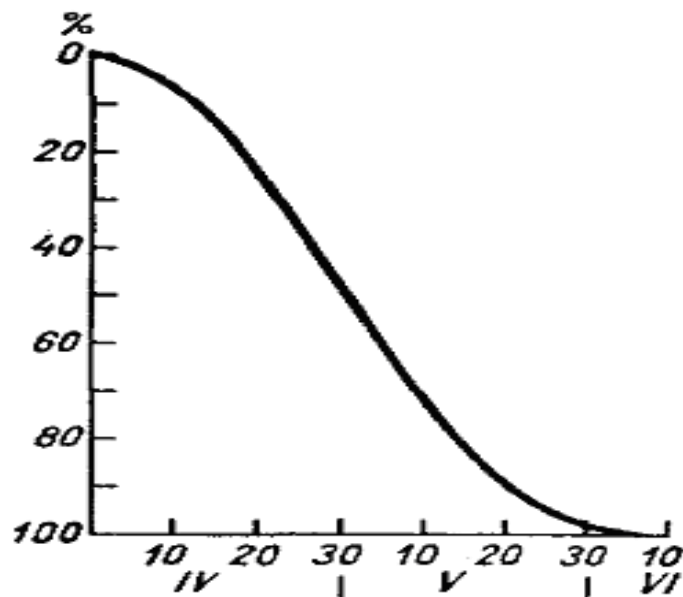


Рисунок 3.1 – Крива імовірності дат останніх весняних заморозків на ст. Василевичі ($\sigma = 15,1$)

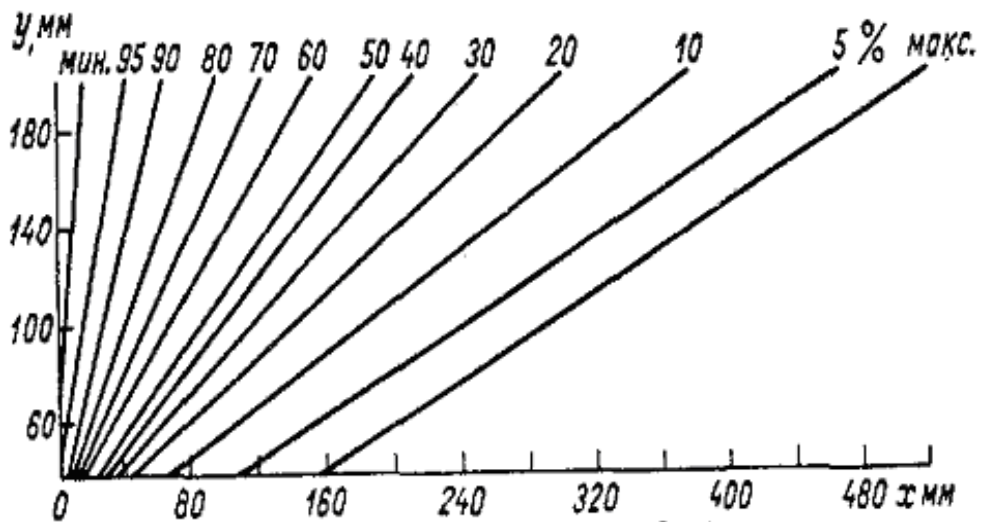


Рисунок 3.2 – Номограма розрахунку місячної кількості опадів різної імовірності

імовірності і побудови кривих забезпеченості був удосконалений. Було побудовано комплексний графік, на якому представлено кривих забезпеченості відхилень сум температур за період з температурою вище 10°C , які характеризують ці умови для трьох типів клімату - континентального, помірного і морського.

Таблиця 3.1 –Сумарна імовірність (забезпеченість) дат останніх весняних заморозків на станції Барановичі

Характеристики	Забезпеченість, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коефіцієнти K_r до величини σ	-2,25	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	0,28	2,25
Відхилення в днях $n = \sigma \cdot K_r$ ($\sigma=15,1$)	-34	-19	-13	-8	-4	0	4	8	13	19	34
Дати останнього заморозку весною	26.III	12.IV	18.IV	23.IV	27.IV	1.V	5.V	9.V	14.V	20.V	4.VI

Таблиця 3.2 – Імовірність кількості опадів за різної величини їх середньої кількості

Середня кількість опадів, мм	Імовірність, %						
	95	90	75	50	25	10	5
60	8	12	30	60	80	120	180
100	20	30	50	100	140	190	260
140	30	45	70	140	210	265	345
180	40	60	90	180	280	340	425

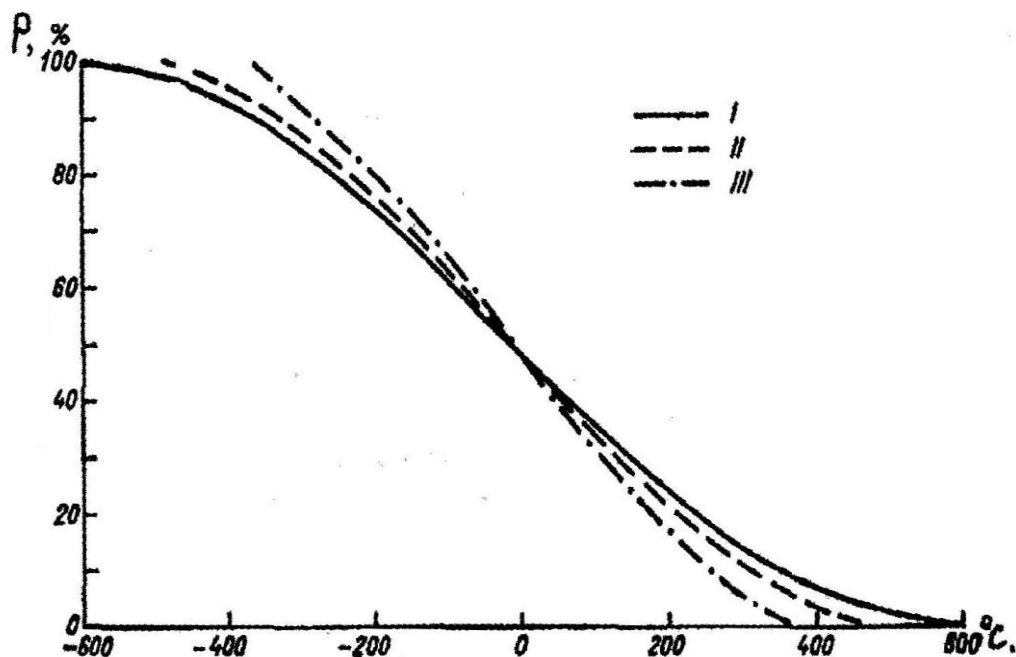


Рисунок 3.3 - Криві забезпеченості відхилень сум температур за період з температурами вище 10 °С різних типів клімату. Типи кліматів: I – континентальний; II – помірний; III – морський.

3.4 Специфіка контролю матеріалів агрометеорологічних спостережень

Обробка матеріалів агрометеорологічних спостережень здійснюється із застосуванням як загальних так і спеціалізованих методів, пов'язаних із об'єктом дослідження – сільськогосподарськими культурами. Це, насамперед, обробка матеріалів фенологічних спостережень та спостережень за вологістю, промерзанням та відтаювання ґрунту.

3.4.1 Специфіка обробки фенологічних спостережень

Контроль і обробка фенологічних спостережень має свої особливості. Основні етапи обробки спостережень за фазами розвитку рослин, як і інших спостережень, включають технічний, локальний і критичний контроль; поповнення пропущених даних в окремі строки і роки; знаходження середніх багаторічних величин, найраніших і найпізніших дат наступу фаз розвитку кожної конкретної культури; розрахунок імовірності і забезпеченості (сумарної імовірності) дат наступу фаз, тривалості окремих міжфазних періодів та всього

вегетаційного періоду. Для проведення коректної обробки необхідні матеріали багаторічних фенологічних спостережень, однорідні за сортами, строками сівби і періоду спостережень по основним фазам розвитку кожної сільськогосподарської культури.

Матеріали фенологічних спостережень проходять три види контролю, причому локальний і критичний – бюро погоди та у відділі агрометеорології Гідрометцентру. Методика контролю даних фенологічних спостережень була розроблена О.А. Шиголевим. Вона цілком виправдана в зоні надмірного і достатнього зволоження, де розвиток рослин не лімітується зволоженням і визначається тільки термічним режимом. В посушливій та сухій зонах методика Шиголева дає значну похибку, що пов'язано з тим, що в методиці визначення строків настання фаз виконується із застосуванням методу розрахунку накопичення певної суми тепла. За цією методикою невраховується затримуючий вплив на розвиток культур нестачі вологи.

3.4.1.1 Обробка і контроль фенологічних спостережень за озимими культурами

Строки сівби звичайно не контролюються агрокліматологами, але для аналізу доцільне порівнювання розрахункових (оптимальних) і фактичних строків сівби з фактичними. Застосовуючи методику Шиголева, в кінці осені виконуються розрахунки оптимальних строків сівби і порівнювати їх з фактичними. За сприятливих агрометеорологічних умов *сходи* в озимого жита повинні відзначатися на 5-6^у добу після сівби, а в озимій пшениці – на 6-7^у добу. Критичний контроль дат сходів треба проводити з використанням відомостей про вологість ґрунту в орному шарі (0-20 см) і опадів. В умовах достатнього зволоження можна використовувати показники Шиголева для розрахунку тривалості міжфазного періоду сівба-сходи у озимого жита і озимій пшениці та суми накопичених ефективних середніх добових температур повітря вище 5 °С, які відповідно становлять 52 і 67 °С. Перевірка строків настання фази сходів здійснюється за рівнянням О.С. Уланової:

$$n = \frac{74,2}{W^{0,74}}, \quad (3.27)$$

де n - тривалість періоду сівба - сходи; W – запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-20 см. Це рівняння можна застосовувати за температури повітря вище 14 °С і запасах вологи у шарі ґрунту 0-20 см менше 30 мм.

3-й лист з'являється за оптимальних умов погоди на 3-7-му добу після сходів, а запізнювання настання цієї фази пов'язане з недостатнім зволоженням ґрунту і зниженням температури. *Кущіння* у зернових культур за сприятливих умов (за достатніх запасів вологи і температури нижче 18 °С) настає через декілька діб після 3-ого листа. Проте часто, в умовах нестачі вологи у ґрунті або знижених температур, настання фази може затримуватися і навіть відзначатися весною після відновлення вегетації. Розрахунок настання фази кущіння у озимих жита і пшениці (за методом Шиголева) пов'язаний з накопиченням суми ефективних температур 67 °С. За температури вище 13 °С і запасів вологи у шарі ґрунту 0-20 см менше 30 мм доцільно застосовувати метод О.С. Уланової:

$$n = \frac{93,4}{W^{0,64}}, \quad (3.28)$$

де n - тривалість періоду сходи-кущіння; W – запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-20 см.

Припинення і відновлення вегетації озимих культур звичайно спостерігається в період переходу середньої добової температури повітря через 5 °С восени і весною. За несприятливих умов перезимівлі відновлення вегетації озимих зернових культур може затримуватися.

Вихід в трубку, за сприятливої перезимівлі, відзначається у озимих швидко після відновлення вегетації. Проте спостерігачі часто роблять помилки через важкість її визначення. При контролі строків настання фази застосовують або метод накопичених сум ефективних температур вище 5 °С від відновлення вегетації, або накопичених сум температур за період від виходу в трубку до колосіння, які для озимого жита і пшениці становлять 183 і 330 °С, розрахованих в зворотному напрямку від колосіння. Допустима різниця в другому випадку не перевищує ± 3 дня.

Колосіння вважається реперною фазою для перевірки інших фаз розвитку. Вірність відзначення дати фази визначається також сумою накопичених ефективних температур від відновлення вегетації до настання цієї фази. Наступ фази *цвітіння* у озимих пов'язаний з накопиченням суми ефективних температур 144 °С.

У зернових відзначаються *молочна, воскова і повна стиглість*, наступ яких також пов'язані з накопиченням сум ефективних температур. Так, наприклад, за період молочної до воскової стиглості повинно накопичуватися відповідно 175 і 260 °С. Перевірка вірності відзначення повної стиглості базується на сумі ефективних температур від дати молочної стиглості. Звичайно, різниця у настанні цих фаз невелика.

Після критичного контролю матеріали фенологічних спостережень можуть використовуватися для складання річних бюлетенів і з метою вирішення різних агрокліматичних задач. За матеріалами багаторічних фенологічних спостережень виконуються розрахунки усіх характеристик показників в конкретному пункті для усього набору сільськогосподарських культур.

Для отримання достовірних характеристик фенологічних показників необхідний ряд спостережень не менше 20 років. Тому важливим завдання є виявлення і відновлення пропущених окремих фаз (строків спостережень) і навіть років спостережень, яке здійснюється із застосуванням декілька методів: різниць, розрахунковим за агрокліматичними показниками, графічним, картографічним. Для відновлення пропущених дат методом різниці співставляються дані близько розташованих станцій. Різницю між відповідними фенологічними датами для наведених станцій можна вважати стійкою, якщо відхилення за декілька років має переважно однаковий знак (плюс чи мінус).

Розрахунок відсутніх фенологічних дат за агрометеорологічними показниками виконується за наявності константних сум ефективних температур повітря вище 5 °C по періодам вегетації конкретної культури, тобто застосовуються такі ж методи, що й при критичному контролі. Окремі пропущені дати можна відновлювати методом інтерполяції, якщо для даного району скласти карти настання фази в цьому році.

Якщо фенологічні спостереження за однією із озимих культур не проводилися впродовж усього року, то їх можна відновити із застосуванням методу зв'язаних спостережень за минулі роки. Наприклад, в певному пункті в поточному році не проводилися фенологічні спостереження за озимим житом, а за минулі роки є матеріали синхронних фенологічних спостережень за озимими житом і пшеницею. В таких випадках за даними минулих років складаються графіки співставлення дат настання певних фаз в розвитку озимого жита і озимої пшениці і за ними відновлюються пропуски спостережень усього року. Графічним методом також поповнюють окремі фенологічні дати.

Техніка складання графіка наступна. На осі ординат наносять дати настання певної фази однієї культури (або сорту), а на осі абсцис – дати настання цієї ж фази іншої культури (або сорту) за роки паралельних спостережень. Для приведення до довгого ряду середніх величин короткорядних фенологічних матеріалів рекомендується використовувати формулу 3.26

3.4.1.2 Обробка і контроль фенологічних спостережень за деревинною рослинністю

Обробка матеріалів багаторічних фенологічних спостережень за деревинною рослинністю, в тому числі, плодовими культурами і виноградом, зводиться, насамперед, до відновлення пропущених спостережень за фазами розвитку. Їх відновлюють, як і для інших культур, із застосуванням вказаних раніше методів: розрахункового за сумами температур, необхідних для наступу певних фаз; графічного – шляхом співставлення фенологічних дат культури на двох станціях тощо. Визначення середніх і крайніх (самих ранніх і пізніх) дат фаз розвитку рослин за цими даними виконується як і для інших культур. Іноді, для приведення середніх величин, обчислених за короткими рядами до довгого періоду використовують закономірність синхронного розвитку ряду деревинних культур. В такому випадку складаються графіки синхронності строків, наприклад, початку цвітіння сірої вільхи, берези, черемші, горобини і липи в пунктах А і Б.

Критичний контроль фенологічних матеріалів спостережень за деревинною рослинністю те ж виконується із застосуванням розрахункового методу за величиною необхідних сум температур для настання певних фаз і порівнювання розрахункових і фактичних дат. Другий метод - графічний, який ґрунтується на проведенні синхронних спостережень на парі розташованих в одних фізико-географічних умовах агрометеорологічних станціях. Крім того, можна використовувати метод співставлення фенологічних аномалій. Як приклад розглянемо фенологічні дані початку цвітіння абрикосу на різних агрометеорологічних станціях європейської частини СРСР (табл.3.3).

Як наочно показують результати, сума ефективних температур вище 5 °С 88 °С є цілком надійним показником для перевірки дати початку цвітіння абрикосу в різних пунктах території ЄЧ СНД. Проте ця сума може змінюватися (зростати або знижуватися) в аномальні за природними процесами роки, наприклад за пізньої затяжної або навпаки, ранньої дружної, або у зв'язку з несприятливими умовами перезимівлі деревинних культур. Але, так як ці процеси, зазвичай, спостерігаються на значній території, то й відхилення будуть однакові для ряду пунктів, що те ж вказує на надійність методу.

Для визначення середніх багаторічних дат наступу фаз розвитку деревинних культур можна використовувати метод, рекомендований Ф.Ф. Давітая, суть якого полягає в застосуванні агрокліматичного показника цвітіння вишні середньої температури на дату цвітіння. Визначення цього показника здійснювалося таким чином. Допустимо, на станції А відсутні спостереження за датою цвітіння вишні, а для складання фенокарти ця величина необхідна. Вибираємо поблизу пункту

Таблиця 3.3 – Перевірка фази початку цвітіння абрикосу

Станція	Дата початку цвітіння	Сума ефективних температур $\geq 5^{\circ}\text{C}$	Число днів з температурою $\geq 5^{\circ}\text{C}$	Дата накопичення 88°C ($\pm 3^0$)	Відхилення фактичних дат від розрахованих
Белореченська	22 III	90	25	22 III	0
Салгірка	23 III	96	23	22 III	+1
Ташли-Кіпчак	26 III	91	21	26 III	0
Херсон	10 IV	83	28	11 IV	-1
Вознесенськ	15 IV	85	30	15 IV	0
Одеса	17 IV	85	34	17 IV	0
Мігея	19 IV	88	30	19 IV	0
Ізюм	24 IV	97	25	24 IV	0
Цимлянська	24 IV	79	20	25 IV	-1
Нижньочирська	25 IV	84	19	26 IV	-1
Маріуполь	26 IV	89	24	26 IV	0
Прилуки	27 IV	86	24	27 IV	0

А інші два пункти Б і В, на яких проводяться спостереження за фазами вишні. Побудувавши гістограми, знаходимо для станцій Б і В агрокліматичний показник цвітіння вишні - середню температуру повітря на дату цвітіння вишні. Надалі, за побудованою гістограмою і графіком річного ходу температур визначимо для пункту А за середньою температурою повітря дату початку цвітіння вишні.

3.4.2 Розрахунок імовірності наступу фенологічних фаз в окремі роки

Відомо, що в окремі роки можлива значна мінливість наступу фаз розвитку, яка досягає ± 20 днів в північних районах і ± 15 днів – в південних. З просуванням з заходу на схід мінливість зменшується і на Далекому Сході складає ± 10 днів. Крім загально географічних факторів на фенологічний розвиток рослин чинить вплив тип рельєфу і близькість значних водойм. В гірських районах мінливість в датах наступу фаз залежить від висоти над рівнем моря, форми рельєфу і експозиції схилів. Особливості формування термічного режиму на таких територіях позначаються на мінливості у часі фізіологічних процесів рослин і наступу різних фаз. В зв'язку з цим виникає необхідність у побудові

окремих типових кривих номограми імовірності строків наступу фаз розвитку в різні роки для територій, однорідних у кліматичному відношенні.

Для розрахунку інтегральних кривих імовірності відбираються агрометеорологічні станції з достатньо довгим рядом спостережень (20-25 лет). Імовірність необхідно розраховувати по основним фазам усіх сільськогосподарських культур, за якими ведуться агрометеорологічні спостереження. Наприклад, для озимих такі розрахунки виконуються для фаз відновлення вегетації, колосіння, цвітіння, молочної і воскової стиглості. Криві розподілу фенологічних дат, як і криві імовірності дат переходу температури повітря через різні межі близькі до кривих нормального розподілу щільностей імовірності. Тому імовірність наступу фенодат можна виконувати із застосуванням аналітичного методу за величинами середньої багаторічної величини, величини її середнього квадратичного відхилення σ і коефіцієнтів кривої нормального розподілу за формулою:

$$X(10,20,...,95\%) = \bar{X} + \sigma \cdot K_r(10,20,...,95\%) \quad (3.29)$$

В табл.3.4 надано приклад розрахунків сумарної імовірності наступу фази колосіння озимого жита, а в табл.3.5 – черемоша і бузку. Отриману величину середнього квадратичного відхилення (σ) перемножують з відповідним коефіцієнтом Гаусової кривої (перша строка таблиці) і отримують для кожної фази імовірність відхилення ($n = \sigma \cdot K_r$) від середньої багаторічної дати (друга строка таблиці). Додаючи або віднімаючи це відхилення з врахуванням знаку коефіцієнта Гауса (третя строка таблиці) з середньою багаторічною датою отримують дати наступу фази колосіння озимого жита на даному пункту з різною імовірністю. По отриманим датам наступу фази різної імовірності будується типова крива імовірності фенодат у відхиленнях від середньої багаторічної величини або в абсолютних величинах. В першому випадку на вісі абсцис наносяться градації додатних і від'ємних відхилень фенодат від середньої або абсолютні величини можливих фенодат різної імовірності, на вісі ординат – імовірності з кроком 10 %.

Номограма імовірності фенодат складається аналогічно номограмам інших елементів, тобто для ряду пунктів, які охоплюють значну територію. На рис. 3.5 представлена номограма імовірності можливих дат цвітіння конюшини за середніми датами. Для кожної станції виконуються розрахунки сумарної імовірності, будується номограма імовірностей і складається зведена таблиця, де надається інформація про можливі (з різною імовірністю) дати наступу фаз.

Таблиця 3.4 – Імовірність (%) настання фаз колосіння озимого жита (ст. Купіно)

Показники	Імовірність (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Коефіцієнт (K_r)	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	1,28
Відхилення в днях ($\sigma = 7,3$)	-9	-6	-4	-2	0	2	4	6	9
Дати відхиленні від середньої (13 VII)	4 VII	7 VII	9 VII	11 VII	13 VII	15 VII	17 VII	19 VII	22 VII

Таблиця 3.5 – Дати початку цвітіння черемоша і бузку різної імовірності

Середня дата	Імовірність (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10 V	29 IV	3 V	6 V	9 V	11 V	13 V	15 V	17 V	22 V
15 V	4 V	8 V	11 V	14 V	16 V	18 V	20 V	22 V	27 V
20 V	9 V	13 V	16 V	19 V	21 V	23 V	25 V	27 V	1 VI
25 V	14 V	18 V	21 V	24 V	26 V	28 V	30 V	1 VI	6 VI
31 V	20 V	24 V	27 V	30 V	1 VI	3 VI	5 VI	7 VI	12 VI
5 VI	25 V	29 V	1 VI	4 VI	6 VI	8 VI	10 VI	12 VI	17 VI

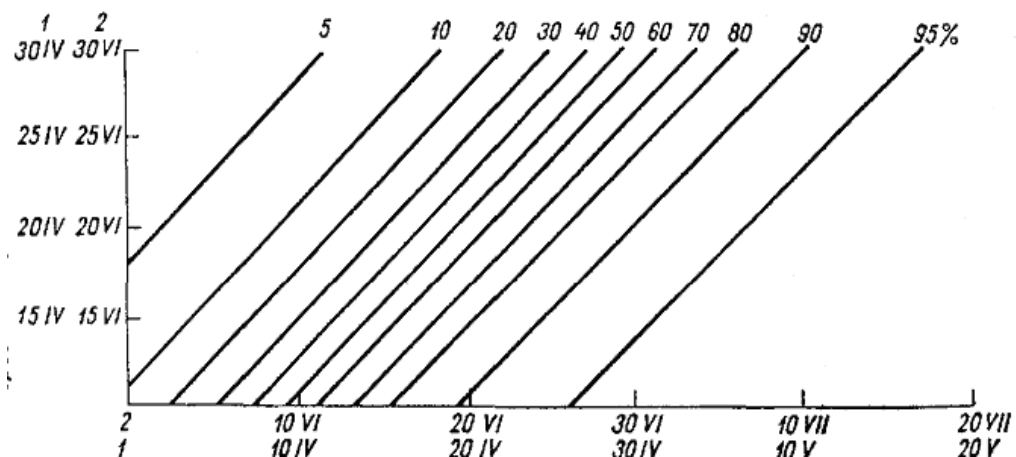


Рисунок 3.5 – Номограма забезпеченості фаз розвитку конюшини

3.4.3 Специфіка обробки і контролю спостережень за вологістю ґрунту і промерзанням ґрунту

Методи обробки і контролю матеріалів спостережень за вологістю ґрунту і промерзанням в основному розроблені С.О. Веріго і Л.О. Разумовою, які досить детально викладені в спеціальних рекомендаціях. Вони також були викладені в навчальних посібниках по агрокліматології Н.В.Гулінової і Л.С.Кельчевської у відповідних розділах, які стосуються методів обробки матеріалів агрометеорологічних спостережень за вологістю ґрунту. Послідовність первинної обробки і контролю матеріалів агрометеорологічних спостережень за вологістю і промерзанням ґрунту аналогічна обробці матеріалів інших спостережень. Проте вона має певні особливості

Метою технічного контролю матеріалів спостережень за вологістю ґрунту є перевірка вірності записів в книжці КМ-3 даних спостережень і первинної обробки. Перевіряється повнота записів в польових книжках, вірність арифметичних підрахунків, якість висушування проб (співставленням першого і контрольного висушування), визначення вологості, підрахунку середніх із повторностей величин вологості ґрунту за кожним шаром. Після виправлення похибок у польових книжках перевіряються записи в таблицях. Далі виконується перевірка підрахунків в таблиці ТМ-6 і ТМ-7. Особливо важливо перевірити записи в ТМ-7 з агрогідрологічних констант даного поля, вірність підрахунку непродуктивної і загальної вологи в окремих шарах, вміст продуктивної вологи з наростанням по шарах. Перевірені дані співставляють з даними попередніх спостережень. Якщо виявлено різкі відхилення, необхідно встановити

причини, для чого виконується детальний аналіз термічного режиму і опадів.

Матеріали спостережень за промерзанням і відтаюванням ґрунту починають також з перевірки правильності заповнення польової книжки і таблиці і виконаних розрахунків. Після закінчення холодного періоду виконується перевірка дат початку і стійкого промерзання та відтаювання ґрунту, тривалості періоду зі стійким промерзанням, вірність вибору максимальної глибини промерзання. Обов'язкова перевірка побудови ізоплет.

Локальний контроль, який проводиться на станціях після заповнення таблиць ТМ-6 і ТМ-7, дозволяє своєчасно виявити похибки і їх виправити.

Метою критичного контролю є визначення якості матеріалів спостережень і, як наслідок. Можливості їх подальшого використання. При критичному контролі керуються відомими фізичними закономірностями, згідно із якими більшість метеорологічних і агрометеорологічних елементів та показників росту і розвитку рослин взаємопов'язані і взаємозумовлені. Зміну вологості ґрунту пов'язують з режимом температур і опадів. Крім того, треба враховувати глибину залягання ґрунтових вод, якщо вона не перевищує 5 м.

Критичний контроль починають з таблиць ТМ-6 і ТМ-7 порівнюванням вологості ґрунту і запасів продуктивної вологи по шарах та порівняно із гідрологічними константами, насамперед, величини найменшої польової вологості. Особлива увага повинна приділятися типу та гранулометричному складу ґрунту, в залежності від яких відзначається значна різниця гідрологічних констант. Встановлено, що за глибокого залягання ґрунтових вод і відсутності верховодок запаси продуктивної вологи не повинні перевищувати величину найменшої польової вологості, величина яких для різних ґрунтів представлена в табл.3.6.

Таблиця 3.6 – Найменша польова вологості (мм)

Ґрунти	Шар ґрунту	
	0-20 см	0-100 см
Суглиниста	40-50	170-190
Супіщана	30-40	150-170
Піщана	20-30	80-120

Одним із методів критичного контролю є співставлення динаміки запасів вологи у ґрунті з динамікою метеорологічних елементів (насамперед ходом температури і опадів). Такий контроль проводять за допомогою графіків Веріго – Разумової – Мاستинської, які відбивають

зв'язок між зміною запасів води у ґрунті, опадами, температурою і фазами розвитку рослин. Виконується контроль матеріалів спостережень за вологістю ґрунту в зимовий період. При цьому, слід пам'ятати, що взимку кількість води у ґрунті може збільшуватися за рахунок її підтягування і нижче розташованих шарів за високого стояння ґрунтових вод. Це збільшення може досягати 50 мм за зиму. В південних районах збільшення води взимку пов'язане з частими відлигами.

При критичному контролі матеріалів спостережень за промерзанням і відтаюванням ґрунту використовують дані спостережень за температурою повітря і сніговим покривом. Часто використовують також графіки зміни глибини промерзання ґрунту в залежності від суми від'ємних середньодобових температур і висоти снігового покриву (рис. 3.6), а також графіки зміни глибини відтаювання ґрунту. Багаторічні матеріали спостережень за вологістю і промерзанням ґрунту дозволяють надати кількісну характеристику їх режиму, яка необхідна для вирішення різноманітних практичних питань. Агрокліматичну обробку матеріалів спостережень починають з угруповання станцій за місцеположенням, опис яких є в паспортах станцій або кліматичних довідниках. Виділяють групи станцій, ділянки спостережень яких розміщені в різних місцеположеннях рельєфу, на ґрунтах різного типу за родючістю і гранулометричним складом, а також під різними сільськогосподарськими культурами.

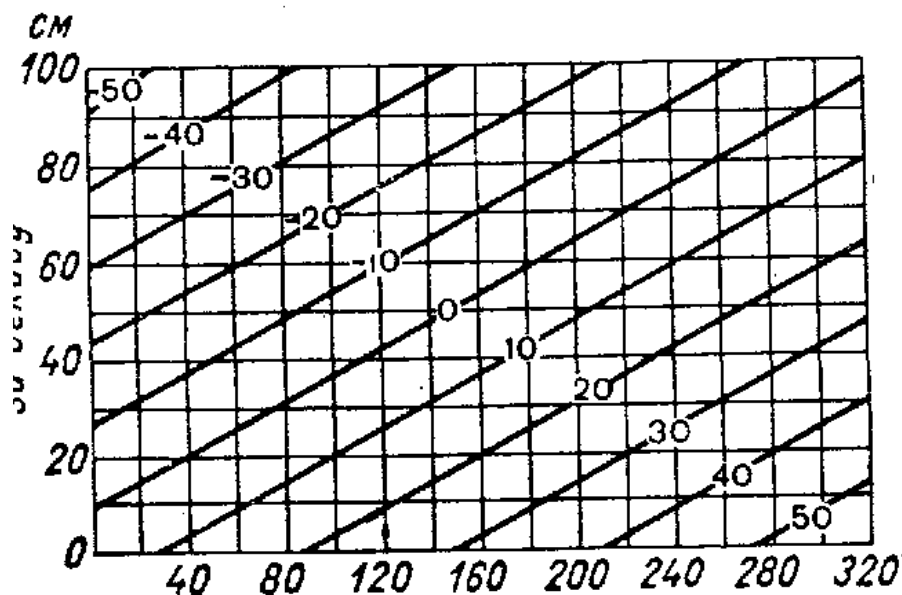


Рисунок 3.6 – Зміна глибини (см) промерзання ґрунту (ізолінії у полі графіку) для районів з глибоким заляганням ґрунтових вод

Обробку матеріалів починають зі складання зведених таблиць запасів продуктивної води, в яку включають за окремі роки величини

вологості по шарам 0-10, 0-20, 0-50, 0-100 см. Для кожного шару складається окрема таблиця. Пропуски спостережень, які бувають в таблицях, відновлюються за допомогою вказаних графіків Веріго-Разумової-Мастинської, а також подібних графіків, побудованих для ряду конкретних культур. Іншим методом поповнення або відновлення даних за пропущені строки є аналітичний із використанням рівнянь регресії. Для ярих і озимих зернових культур рівняння має вигляд:

$$\Delta W = a \cdot T_c + v \cdot \gamma + c \cdot W + l \quad (3.30)$$

де ΔW – зміна запасів продуктивної вологи за декаду (мм); T_c – середня за декаду температура повітря (°C); γ – сума опадів за декаду (мм); W – запаси продуктивної вологи на початок декади (мм); a, v, c, l – числові параметри.

На рис. 3.7 наведено графік для ярої пшениці. Для відновлення пропущених строків в даному випадку необхідна інформація про запаси вологи у ґрунті на початок декади, опади за декаду і середню за декаду температуру повітря. Поповнення даних за окремі строки є нескладним завданням - важливо вибрати необхідний графік або рівняння.

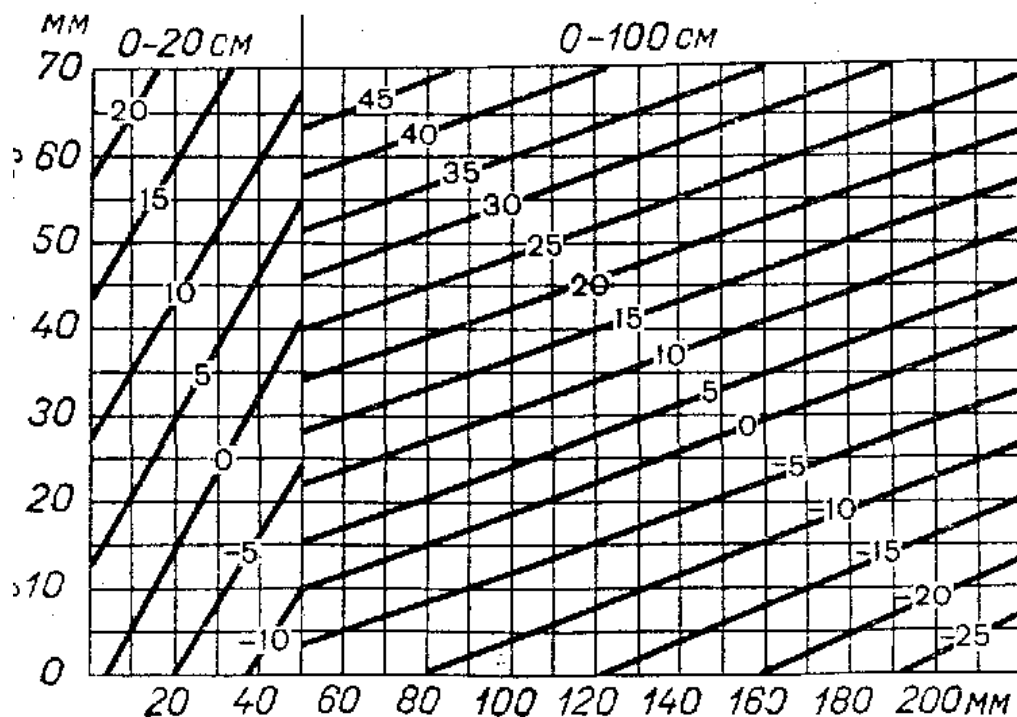


Рисунок 3.7 – Зміна запасів продуктивної вологи в зоні чорноземних ґрунтів під ярою пшеницею в період формування сходів і листя (трубкування) у шарі ґрунту 0-20 і 0-100 см.

Порівняння середніх багаторічних запасів вологи у ґрунті можна виконувати тільки за умови, коли вони, як і всі інші елементи приведенні до однорідного по рокам і випадкам вихідного матеріалу. Проте не виключено, що за якоюсь причиною є проопущені строки. Для відновлення даних можуть бути застосовані два методи. Перший із них направлений на поступове поповнення даних із строку в строк, із року в рік на підставі динаміки метеорологічних елементів, тобто із застосування графіків Веріго-Разумової-Мастинської. Другий метод полягає в застосуванні різниці величин елементів, які спостерігаються. В цьому випадку по станції за паралельні роки спостережень знаходиться середня різниця між запасами продуктивної вологи для кожного строку спостережень для культури з пропущеними спостереженнями і для культури з повним рядом спостережень. Для поповнення даних за пропущений рік по даній культурі, отриману середню різницю для кожної декади алгебраїчно складають з фактичними запасами вологи для кожної декади під іншою культурою, де є запаси вологи в усі строки:

$$W_n = W_\phi + dW \quad (3.31)$$

де W_n – запаси вологи у ґрунті (на кінець декади), поповнення по даній культурі за пропущений рік; W_ϕ – запаси вологи (на кінець тієї ж декади) під другою культурою, де є спостереження в поточному році; W – середня різниця запасів вологи у ґрунті (для тієї ж декади) під культурою з пропущеним роком спостережень і під культурою, яка має повний ряд років, отримана із даних паралельних спостережень на обох станціях.

Після поповнення даних за пропущені строки спостережень виводять середні багаторічні величини запасів продуктивної вологи у ґрунті по шарах 0-10, 0-20, 0-50 и 0-100 см. За даними Веріго С.О. і Разумової Л.О. ряд спостережень за вологістю ґрунту в 20-25 років достатній для отримання надійних середніх багаторічних величин, а також для розрахунку імовірності і забезпеченості різних величин вологості ґрунту в окремі роки. Відновлення пропущених даних за промерзанням і відтаюванням ґрунту виконують також за допомогою відповідних графіків або рівнянь. Наприклад, поповнення пропущених строків спостережень за глибиною промерзання ґрунту для районів значного зволоження і високого стояння ґрунтових вод виконують за допомогою такого рівняння:

$$\Delta h_1 = -0,280 \cdot H + 0,078 \cdot \Sigma T_1 + 0,02h_1 + 5,7, \quad (3.32)$$

де Δh_1 – зміна глибини промерзання ґрунту за декаду (см); H – висота снігового покриву на початок декади; ΣT_1 – сума від’ємних температур повітря за декаду; h_1 – глибина промерзання ґрунту на початок декади.

Відсутні дані спостережень за відтаюванням ґрунту можна поповнити за допомогою графіків або рівнянь. Наприклад, зв’язок швидкості відтаюванням ґрунту з метеорологічними умовами в районах значного зволоження і високого стояння ґрунтових вод характеризується таким рівнянням:

$$\Delta h_2 = 0,575 \cdot \Sigma T_2 + 0,125 h_2 + 3,0 \quad (3.33)$$

де Δh_2 – зміна глибини відтаювання ґрунту за декаду; ΣT_2 – сума додатних температур повітря за декаду (°C); h_2 – глибина відтаювання ґрунту на початок декади (см).

Для отримання надійної величини середньої із найбільшої глибини промерзання ґрунту, абсолютного максимума і мінімуму промерзання ґрунту, середньої багаторічної тривалості зі стійким промерзанням, середніх дат початку промерзання ґрунту необхідний однорідний матеріал спостережень за період не менше 20 років. Важним етапом агрокліматичної обробки вищевказаних матеріалів спостережень є розрахунок імовірності і забезпеченості різних величин вологості ґрунту і характеристик промерзання. Вказані характеристики розраховуються для більшості градацій вологості ґрунту і міжфазних інтервалів. Наприклад, для ярих культур розрахунок проводять за міжфазні періоди: сівба – сходи, сходи – трубкування, трубкування – колосіння, колосіння – молочна стиглість, молочна стиглість – воскова стиглість.

Градації вологості ґрунту по шарам беруться такі:

- 1) у шарі 0-20 см – 0-10, 11-20, 21-30, 31- 40 і більше 40 мм.
- 2) у шарі 0-50 см – 0-20, 21-40, 41-60, 61- 80 і більше 80 мм.
- 3) у шарі 0-100 см – 0-40, 41-80, 81-120, 121- 160 і більше 160 мм.

Для визначення імовірності глибини промерзання ґрунту беруться такі інтервали через 20 см: 0-20, 21-30; 31-40, 41-60 тощо. При визначенні імовірності дати стійкого промерзання і повного відтаювання ґрунту розрахунки проводять для інтервалу часу з інтервалами в 15 днів: 16-30 листопада, 1-15 грудня, 16-31 грудня і т.д.; 16-31 березня, 1-15 квітня, 16-30 квітня і т.д. При розрахунку імовірності тривалості періоду зі стійким промерзанням ґрунту градації звичайно обмежують інтервалом в 1 місяць.

Практична робота №1

Тема: „Розрахунок статистичних характеристик агрокліматичних показників”.

Мета: Дати оцінку часової або просторової мінливості агрокліматичних показників

Порядок виконання роботи.

1. Із агрокліматичних або кліматичних довідників виписати значення одного із показників агрокліматичних ресурсів або лімітуючих агрокліматичних факторів для ряду агрометеорологічних станцій (просторовий аналіз) або по одній станції для декілька років (часовий аналіз) і записати в табл. 1.1п. Об’єм вибірки повинен перевищувати 20;

Таблиця 1.1п - Аналіз просторової (часової) мінливості
(назва показника) по даним метеостанції

№ пп.	X_i	ΔX_i	ΔX_i^2	(пп)ранжований	X_i	$P_x, \%$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
.....						
N						
Сума						
Середнє						
X_{\min}						
X_{\max}						
σ_x						
C_v						

Примітка. Треба пам’ятати, що сума додатних та від’ємних значень ΔX_i дорівнює нулю (або близька до нуля). В іншому випадку розрахунок середньої величини виконано невірно.

2. Розрахувати середню величину показника для ряду станцій або середню багаторічну величину показника за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

де N – загальна кількість значень (об'єм вибірки).

3. Розрахувати характеристики мінливості показника:

- середнє квадратичне відхилення (σ) знаходиться за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{N}};$$

де ΔX_i – відхилення кожного значення показника відносно середньої величини; коефіцієнт варіації C_v - за формулою:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%;$$

4. Для розрахунку ймовірності показників, вибірку необхідно проранжувати, тобто записати у вигляді ряду від меншого до більшого значення (або навпаки) в залежності від показника і записати в графу 5 табл. 3.1п;

5. Розрахунок ймовірності значень виконують за формулою

$$P_{x_i} = \frac{m' - 0.25}{N + 0.55};$$

де m' - порядковий номер значення в ранжированому ряду; N – загальне число значень.

Отримані результати записати в графу 6 табл. 1.1п;

6. Побудувати графік ймовірності значень показника у вигляді рис.3.1, де на осі ординат відкладають значення ймовірності з кроком 1 % - 1 см, а на осі абсцис – величини в залежності від показника. Отримані точки з'єднати апроксимованою кривою. Через деякі точки крива може не проходити, проте, відоме головне правило проведення кривої ймовірності – зверху та знизу кривої кількість точок та відстань від кривої до точок повинні бути однаковими;

7. Для деяких показників, розподіл ймовірностей частот яких підпадає під нормальний, тобто підлягає закону Гауса),

розрахунок ймовірностей доцільно виконувати за спрощеним методом І. А. Гольцберг за формулою

$$x_i(\%) = \bar{x} + k\sigma; \quad (1.5)$$

де K – коефіцієнт, який беруть із табл. 1.2п;

Таблиця 1.2п – Емпіричні коефіцієнти І.А.Гольцберг для розрахунку кривих забезпеченості (сумової ймовірності)

$P_X, \%$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K	2,25	1,28	0,84	0,52	0,26	0	-0,26	-0,52	-0,84	-1,28	-2,25
$X_i, \%$											

8. Отримані результати розрахунку нанести на графік (рис.1.1п) у вигляді точок і з'єднати їх за правилом (п.6);
9. Дати короткий аналіз отриманих результатів.

$P_X, \%$

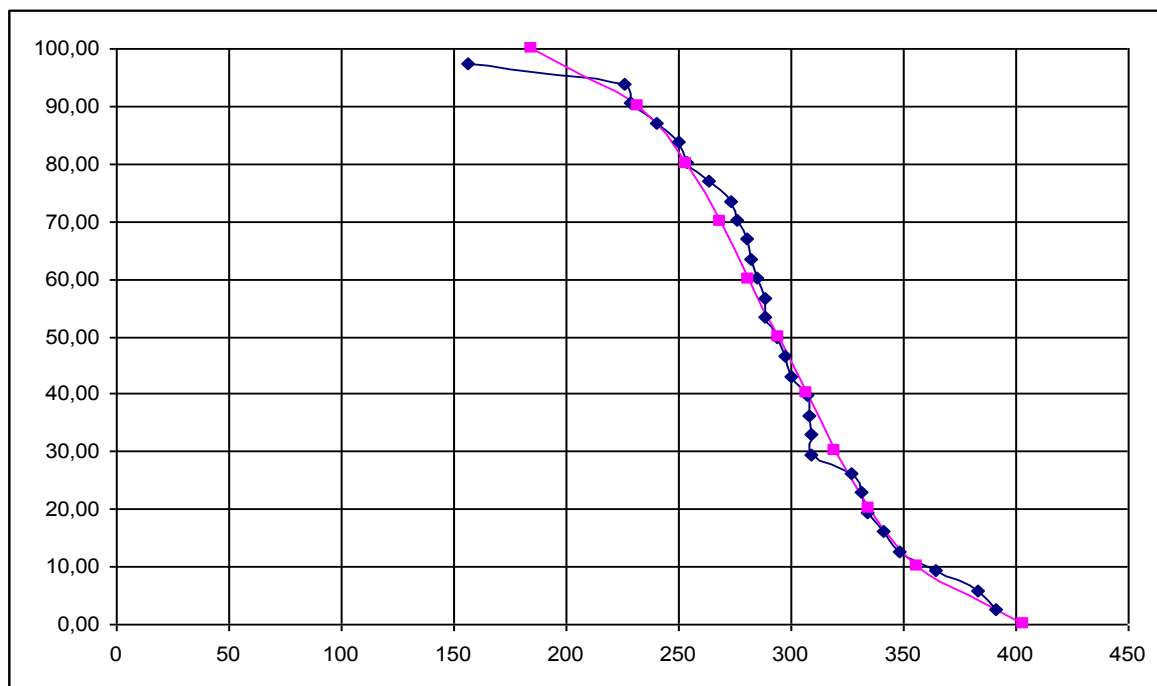


Рисунок 1.1п - Крива ймовірності показника.....

1. За методом Алексєєва; 2 – за методом Гольцберг

Питання до розділу 3

1. Мета та задачі агрокліматичної обробки матеріалів спостережень.
2. Види контролю матеріалів агрометеорологічних спостережень.
3. Особливості первинного контролю матеріалів агрометеорологічних спостережень
4. Особливості локального або технічного контролю матеріалів агрометеорологічних спостережень.
5. Особливості критичного контролю матеріалів агрометеорологічних спостережень.
6. Особливості обробки агрокліматичної інформації.
7. Особливості обробки фенологічних матеріалів спостережень.
8. Особливості обробки матеріалів спостережень за вологістю ґрунту.
9. Особливості обробки матеріалів спостережень за промерзанням та відтаюванням ґрунту.
10. Особливості контролю агрометеорологічних спостережень за промерзанням та відтаювання ґрунту.
11. Особливості контролю фенологічних матеріалів спостережень.
12. Особливості контролю матеріалів спостережень за вологістю ґрунту.

Список літератури до розділу 3

1. Алисов Б.П., Дроздов О.Д., Рубинштейн О.С. Курс климатологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 523 с.
2. Мищенко З.А. Агроклиматология. Учебник. – Киев: КНТ. – 2009. – 512 с.
3. Синицина Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология / Под ред. Гольцберг И.А. – М.: Гидрометеиздат. – 1973. – 344 с.
5. Гулинова Н.А. Методы агроклиматической обработки наблюдений. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 141 с.
6. Кельчевська Л.С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. Методическое пособие. – Л.: Гидрометиздат, 1971. - 216 с.
7. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 287 с.
8. Алпатов А.М. Влагооборот в природе и его преобразование. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 324 с.
9. Вериги С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельском хозяйстве. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. - 289 с.
10. Колосков П.И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 328 с.
11. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 247 с.

4 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТЕРИТОРІЙ

Агрокліматичні ресурси територій визначають систему ведення сільськогосподарського виробництва, що включає набір видів, груп і сортів сільськогосподарських культур, технологію їх вирощування, в т.ч., заходи боротьби зі шкідниками і хворобами тощо. Агрокліматичні ресурси об'єднують ресурси світла, тепла і вологи і відомості про них дають змогу визначити ступінь забезпеченості культур ними з метою визначення ступеню сприятливості умов або ступінь ризику прояву несприятливих умов, які зумовлюють втрату частки або усього врожаю. Важливим завданням для детальної характеристики агрокліматичних ресурсів є вибір показників, які в змозі в повній мірі забезпечити сільськогосподарське виробництво необхідною і достатньою інформацією про них.

4.1. Радіаційно-світлові ресурси

4.1.1 Загальна характеристика ресурсів світла

Сонячна радіація забезпечує рослин енергією, яку вона використовує в процесі фотосинтезу для створення органічної речовини, впливає на процеси росту і розвитку, на структуру рослин, розташування і побудову листя, на хімічний склад і якість продукції, тривалість вегетації сільськогосподарських культур. В зв'язку оточенням землі суцільною оболонкою атмосфери, сонячні промені, проходячи всю її товщу, частково відбиваються, розсіюються, змінюючи при цьому кількість і якість світла, яке надходить на поверхню землі. Певна частина сонячних променів (поток радіації), доходячи до земної поверхні з рослинним покривом, приймає участь у процесах життєдіяльності культурних рослин

В енергетичному механізмі формування термічного режиму діяльної поверхні і приземних шарів повітря основна роль належить радіаційному балансу (R). Він дорівнює різниці сумарної радіації, яка поглинається (Q) і ефективному випромінюванню (E_e):

$$R = (S + D - R_k) - (E_s - \delta E_a) = Q(1 - A) - E_e, \quad (4.1)$$

де S – пряма сонячна радіація; D – розсіяна радіація; R_k – віддзеркалена короткохвильова радіація; A – альbedo підстильної поверхні; $Q(1 - A)$ – поглинена радіація; E_s – власне випромінювання підстильної поверхні; δ – відносний коефіцієнт поглинання

довгохвильової радіації підстеленою поверхнею; E_e – зустрічне випромінювання атмосфери.

Закономірності формування радіаційного балансу визначаються різними факторами, які впливають на його основні складові. Вночі величина радіаційного балансу визначається тільки ефективним випромінюванням і залежить від температури діяльної поверхні, хмарності і стратифікації атмосфери. Вдень у структурі радіаційного балансу ведуча роль належить сумарній сонячній радіації. Її значення залежать від висоти сонця, хмарності і альbedo підстильної поверхні в конкретну пору року.

Будико М.І. вперше встановив тісну залежність між радіаційним балансом за рік і сумою середньодобових температур повітря вище 10 °С, тим самим надавши фізичне обґрунтування використання ΣT_c для оцінки теплозабезпеченості рослин. Пізніше Н.І. Гойса, З.А. Міщенко та ін. встановили тісну залежність між сумами сумарної радіації і сумами середньодобових денних температур повітря за теплий період з T_c і $T_{дн}$ вище 10 °С. Цими дослідженнями підтверджується основна роль сонячної радіації у формуванні радіаційно-теплових ресурсів на тій чи іншій території.

Виявлена реакція різних екологічних груп рослин на тривалість дня ($n_{дн}$) і ночі (n_n) визначає тривалість їх фотосинтетичної діяльності. Тому вони широко використовуються як показники тривалості освітлення і термоперіодичної діяльності (тобто реакції рослин на тривалість дня і ночі в період активної вегетації. Для рослин довгого дня нормальна тривалість освітлення складає 15-18 годин, а для рослин короткого дня – 12-14 годин. Нерідко тривалість дня разом з характеристикою термічного режиму використовується у вигляді комплексного показника Жеслена (добуток суми температур на тривалість). Ф.Ф. Давітая запропонував комплексний фото термічний індекс (FT), який враховує термічний і світловий режими:

$$FT = \sum_{i=D_n}^{D_k} [C(\bar{\theta} + \Delta T_{p-B} - \theta_o)] \cdot L, \quad (4.2)$$

де D_n , D_k - дата початку і кінця фази розвитку рослини; C - коефіцієнт, який враховує вплив денного максимуму і лімітуючи температур; θ – середньодобова температура повітря; T_{p-B} – різниця температур рослини і повітря; θ_o – біологічний нуль; L – множник, який враховує вплив тривалості дня.

На ріст, розвиток і формування врожаю культурних рослин впливає тривалість сонячного освітлення, його інтенсивність та спектральний склад. Для фізіологічних процесів, в тому числі фотосинтезу, найбільше значення має короткохвильова радіація (КХР). Променисту енергію, яка поглинається пігментами листя і грає важливу роль в житті рослин, називають фізіологічною радіацією; частина спектру сонячного світла, який бере участь в фотосинтезі, називають фотосинтетично активною радіацією (ФАР). Величину ФАР звичайно обмежують довжинами хвиль 0,38- 0,71 мкм.

Фізіологічна дія непомітних ультрафіолетових і інфрачервоних промінів вивчена недостатньо. Але відомо, що окремі аспекти впливу цих частин сонячного спектру на життя рослин значні. Сині та фіолетові промені стимулюють процеси клітинного поділу, але затримують другу фазу росту клітин – їх розтягнення. Червоні промені, навпаки, посилюють лінійний ріст органів рослин, в той час, коли процеси клітинного ділення задавлені.

Енергетичний бік фотосинтезу вперше було розглянемо відомим фізіологом К.А. Тімірязєвим. В наш час встановлено, що рослини володіють селективним характером поглинання падаючої на них ФАР. Найбільш активно хлорофіл листя поглинає червоно - оранжеве та синьо – фіолетове проміння видимої частини спектру. При поглинанні цього проміння фотосинтез протікає у найбільшій швидкості. Якщо розглядати кількісну сторону, то органічна речовина рослин, що створена в процесі фотосинтезу, складає 90 – 95% всієї сухої маси врожаю. Отже фотосинтез, який протікає завдяки поглинанню ФАР, є головним фактором у створенні врожаю і формує приблизно 0,9 його величини.

Величина поглинання ФАР рослинами, а отже рівень врожаю, залежать від багатьох факторів, серед яких велике значення має структура посівів. У незадовільних за структурними особливостями посівів рослини поглинають біля 20-25% падаючої на них ФАР, а використовують на фотосинтез лише 1-2% цієї величини. Остання частина ФАР, яка поглинена, розтрачується на нагрівання рослин і пов'язану з цим посилену транспірацію. Посіви, які за структурою близькі до оптимальних, за вегетацію можуть поглинати до 50-60% падаючої на них ФАР, але і вони звичайно накопичують у вигляді органічної речовини всього 2-3% величини ФАР, яка поглинена.

Посіви, які вирощують в промислових умовах в Україні, характеризуються низькими показниками використання ФАР, що обумовлює відносно невисокі врожаї сільськогосподарських культур.

Явище фотоперіодизму необхідно враховувати в агрокліматичних дослідженнях. Визначити співвідношення довжини дня і ночі не важко, так як воно залежить від широти місця і пори року. На даний час для

більшості сільськогосподарських культур відома поправка на "фотоперіодизм", яка дає змогу врахувати зміну потреби рослин в теплі в залежності від тривалості освітлення.

До основних показників радіаційно-світлових ресурсів відносять:

- тривалість сонячного саява за період з температурою повітря вище 10°C (ΣSS , години);
- суми прямої сонячної радіації, розраховані за місяць, період активної вегетації культури (ΣS);
- суми радіаційного балансу, розраховані за місяць, період активної вегетації культур (ΣR);
- суми сумарної радіації, розраховані за місяць, сезони та період активної вегетації культур (ΣQ);
- суми фотосинтетично-активної радіації, розраховані за місяць, сезон та період активної вегетації культур ($\Sigma Q_{\text{фap}}$).

Основною одиницею вимірювання тривалості сонячного саява є години, а суми сумарної і фотосинтетично активної радіації – $\text{ккал}\cdot\text{см}^{-2}$ або $\text{МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год.}$, $\text{МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}$, $\text{МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сезон}$, $\text{МДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{рік}$.

4.1.2 Методи розрахунків сумарної сонячної радіації і ФАР для горизонтальної поверхні

Для фізіологічних процесів і продуктивності культурних рослин найбільше значення має короткохвильова радіація (КХР). Промениста енергія Сонця або сонячна радіація, на шляху від зовнішньої межі атмосфери до земної поверхні, зазнає значних змін внаслідок її поглинання і розсіювання атмосферою. Значна її частина досягає земної поверхні у вигляді паралельного пучку променів від сонячного диску і носить назву прямої сонячної радіації (S). Деяка інша частина радіації, яка розсіюється в атмосфері і доходить до земної поверхні як розсіяна радіація від усіх точок небозводу (D). Пряма сонячна і розсіяна радіація, які надходять на горизонтальну поверхню (або відкрите рівне місце), в сумі складають сумарну короткохвильову радіацію, розраховану за день, місяць, теплий період:

$$\Sigma Q = \Sigma S + \Sigma D, \quad (4.3)$$

де ΣQ – сума сумарної радіації; ΣS – сума прямої сонячної радіації; ΣD – сума розсіяної радіації.

Ці види КХР вимірюються актинометричними приборами на мережі актинометричних станцій. Зважаючи на невелику кількість актинометричних станцій і, як наслідок, недостатнє освітлення територій інформацією про радіаційно-світлові ресурси, повстає

питання розробки розрахункових методів визначення ресурсів світла для поповнення банку агрокліматичної інформації. Т.Г.Берлянд для розрахунку суми сумарної радіації запропонувала формулу вигляду:

$$\Sigma Q = \Sigma Q_0 (1 - an - bn^2), \quad (4.4)$$

де ΣQ_0 – місячна сума сумарної радіації за безхмарного неба; a , b – числові безрозмірні коефіцієнти: константа $b = 0,38$; a залежить від широти місця і складає для широти від 0 до 60° $0,38 \pm 0,2$; n – середнє місячне значення загальної хмарності (в долях одиниці).

За цією формулою можна розрахувати значення ΣQ , яка надходить на горизонтальну поверхню для будь-якого пункту території СНД з похибкою не більше 10%. Інший метод розрахунку сум сумарної радіації, який має більше поширення в агрометеорології і агрокліматології, базується на зв'язку її з тривалістю сонячного саява. Запропонована формула С.І.Сивкова, уточнену В.Н. Українцевим, має вигляд:

$$\Sigma Q = 49 S_c^{1,31} \cdot 10^{-4} + 10,5 (\sin h_\Theta)^{2,1}, \quad (4.5)$$

де S_c – тривалість сонячного саява за місяць, період (година); h_Θ – висота Сонця опівдні на середину місяця.

Полуденна висота Сонця визначається за формулою

$$h_\Theta = 90^\circ - \varphi + \delta_\Theta, \quad (4.6)$$

де φ – широта місця; δ_Θ – схилення Сонця.

Відхилення розрахованих і виміряних до широти 65° декадних і місячних ΣQ за окремі роки не перевищує 10%. Згідно із дослідженнями Б.І. Гуляєва, Х. Молдау, Х.Г. Тоомінга в актинокліматологічних розрахунках для умов рівного місця перехід від короткохвильової радіації до ФАР здійснюється за формулами виду:

$$\Sigma S_\phi = \bar{c}_s \cdot \Sigma S \quad (4.7)$$

$$\Sigma D_\phi = \bar{c}_d \cdot \Sigma D \quad (4.8)$$

$$\Sigma Q_{\phi} = \bar{c}_Q \cdot \Sigma Q \quad (4.9)$$

де ΣS_{ϕ} , ΣD_{ϕ} , ΣQ_{ϕ} – сума відповідно прямої, розсіяної і сумарної ФАР, розраховані за день, декаду, місяць або вегетаційний період; \bar{c}_s , \bar{c}_d , \bar{c}_Q – середні коефіцієнти переходу від КХР до ФАР.

Розрахунковий і експериментальний методи показали порівняно добру стабільність і географічну універсальність перехідних коефіцієнтів. Можна прийняти $\bar{c}_s = 0,43$; $\bar{c}_d = 0,57$. Отже, денні суми ФАР можна розрахувати за формулою

$$\Sigma Q_{\phi} = 0,43 \Sigma S + 0,57 \Sigma D = 0,5 \Sigma Q \quad (4.10)$$

В подальшому розрахункові методи одержання інформації про величини сумарної і фотосинтетично активної радіації удосконалювалися, насамперед, стосовно визначення зв'язку між різними показниками і в напрямку спрощення моделей. На території України інструментальні спостереження за сумарною радіацією проводяться тільки на 16 актинометричних станціях. При вирішенні агрокліматичних задач виникає необхідність одержання інформації про ці показники за більш густою мережею метеорологічних станцій. З.А.Міщенко, Г.В.Ляшенко, С.В.Ляховою, Н.В.Кирнасівською були проведені спеціальні розрахунки, суть яких зводиться до наступного:

а) встановлення кількісних залежностей між основними показниками радіаційно-світлових ресурсів окремо для весни, літа, осені і в цілому за теплий період (з температурою повітря вище 10 °С);

б) розробка непрямого методу розрахунку сум сумарної і фотосинтетично активної радіації за різні періоди активної вегетації культурних рослин;

в) створення спеціального банку місячних даних ΣQ , ΣQ_{ϕ} , ΣS_c з березня по листопад і за теплий період (з температурою повітря вище 10 °С) для 150 пунктів, які рівномірно освітлюють територію України.

Для встановлення ступеню тісноти зв'язку між сезонними сумами сумарної радіації і тривалості сонячного саява був складений комплексний робочий графік. На ньому різними знаками і кольором були нанесені середні багаторічні дані 16-ти актинометричних станцій України ΣQ і ΣS_c за окремі місяці весни, літа і осені. Далі одержано ряд рівнянь прямолінійної регресії і розраховані відповідні статистичні параметри до них (табл. 4.1 і 4.2). Коефіцієнти кореляції були розраховані за видозміненою формулою, яка зручна для практичного використання

$$r = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y}{\sqrt{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \cdot \sqrt{n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2}}. \quad (4.11)$$

Середні квадратичні помилки коефіцієнтів кореляції (σ_r) і імовірні помилки (ε_r) визначались за формулами виду

$$\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{n}; \quad \varepsilon_r = 0,67\sigma_r. \quad (4.12)$$

Середні помилки рівнянь зв'язку між ΣQ і ΣS_c визначені за формулою виду:

$$\bar{S}_y = \pm \sigma_y \sqrt{1 - r^2} \quad (4.13)$$

Таблиця 4.1- Порівняння даних по сумах сумарної радіації, які одержані із актинометричних спостережень (ΣQ) і розрахунковим методом (ΣQ_1) з визначенням похибки (η , %)

Станція	Пара-метр	Весна		Літо			Осінь		Серед не за $N_{\text{тп}}$
		кві- тень	Тра- вень	Чер- вень	Ли- пень	Сер- пень	Вер- сень	Жов- тень	
Ковель	ΣQ	398	553	612	574	478	352	201	452
	ΣQ_1	387	554	581	559	476	346	212	445
	η , %	3	0	5	3	0	2	5	3
Бориспіль	ΣQ	432	603	633	637	515	369	218	487
	ΣQ_1	451	600	603	629	527	366	229	481
	η , %	4	7	5	1	2	1	5	3
Полтава	ΣQ	390	553	620	367	511	377	197	469
	ΣQ_1	406	565	616	622	546	374	232	488
	η , %	4	2	1	2	6	1	15	4
Велико- Анадоль	ΣQ	436	603	658	687	599	423	256	523
	ΣQ_1	430	527	643	683	615	420	268	519
	η , %	1	5	2	1	3	1	4	2
Берегово	ΣQ	452	595	628	633	570	436	268	512
	ΣQ_1	462	531	582	617	543	410	292	491
	η , %	2	12	8	3	5	6	8	6
Одеса	ΣQ	507	675	725	758	641	469	285	580
	ΣQ_1	483	623	666	717	636	449	302	554
	η , %	5	8	9	6	1	4	6	6
Асканія – Нова	ΣQ	486	666	708	733	637	465	276	567
	ΣQ_1	478	628	668	715	637	444	299	552
	η , %	2	6	6	2	0	4	8	4

Таблиця 4.2 - Рівняння зв'язку між показниками радіаційно-світлових ресурсів і статистичні параметри до них

Період	Рівняння	r	\bar{S}_y
Весна	$\Sigma Q_6 = 2,114 \cdot \Sigma S_c - 44,92$	0,97	39,76
Літо	$\Sigma Q_l = 1,678 \cdot \Sigma S_c - 134,92$	0,80	26,58
Осінь	$\Sigma Q_o = 1,927 \cdot \Sigma S_c - 23,88$	0,98	40,39

Коефіцієнти кореляції (r) залишаються у всі сезони високими. Середні помилки рівнянь регресії малі і знаходяться в межах 24-40 МДж·м⁻². Отже, можна зробити висновок про достатньо високу точність визначення сум сумарної радіації за тривалістю сонячного сяйва з використанням відповідних рівнянь або графіків зв'язку між цими показниками. Високий рівень зв'язку між цими показниками видно на рис. 4.1, де представлена прямолінійна залежність між середніми багаторічними величинами ΣQ і ΣS_c за місяці теплої пори року (весна, літо, осінь).

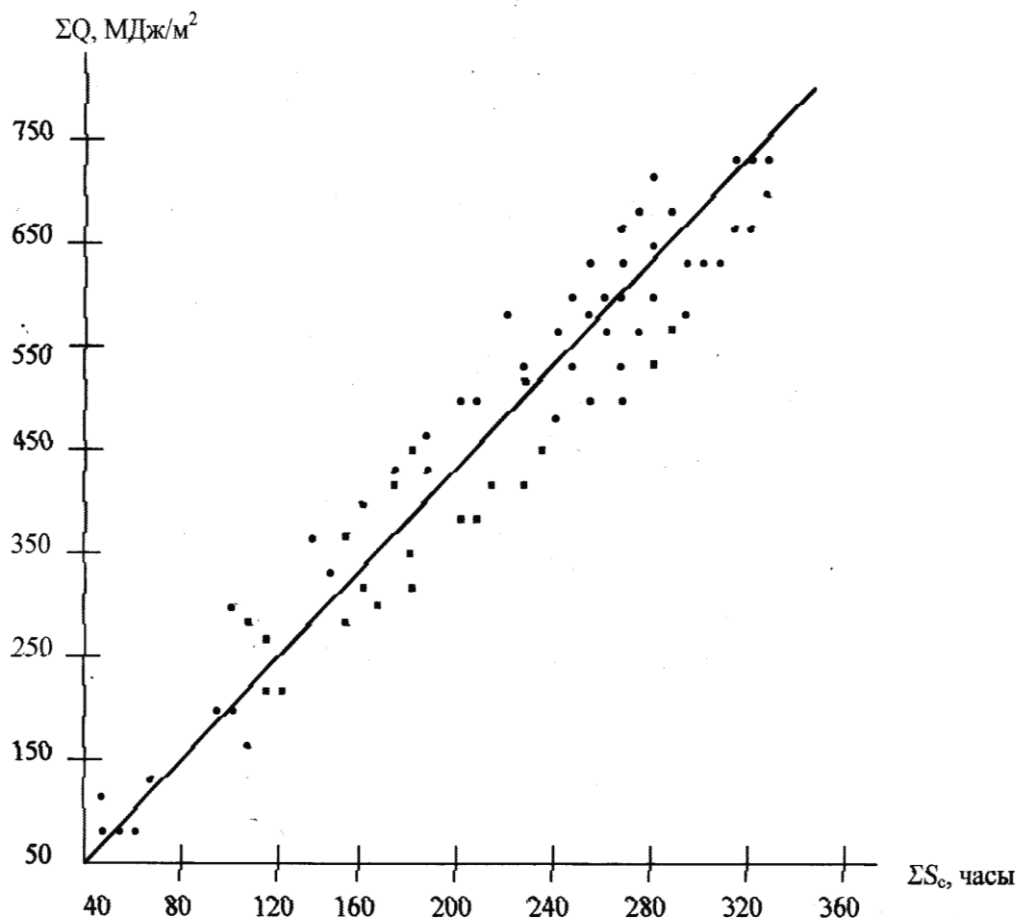


Рисунок 4.1. Залежність між сумою сумарною радіації і тривалістю сонячного сяйва за теплий період року (весна, літо, осінь)

Значно змінюються показники радіаційно-світлових ресурсів в зональному розрізі на території України. А саме, при зміні тривалості сонячного саява від 80 до 350 годин суми сумарної радіації зростають від 125 до 760 МДж·м⁻².

Додатково були проведені розрахунки зв'язку сумарної радіації від тривалості сонця і полуденної її висоти (вираженої через $\sin h_0$) окремо для весни, літа та осені:

$$\Sigma Q = 1,697 \cdot \Sigma S_c + 280,14 \sinh - 92,26 \quad (4.14)$$

$$\Sigma Q = 1,299 \cdot \Sigma S_c + 723,11 \sinh - 390,13 \quad (4.15)$$

$$\Sigma Q = 1,425 \cdot \Sigma S_c + 253,91 \sinh - 90,08 \quad (4.16)$$

Розраховані відповідні статистичні параметри до рівнянь множинної регресії (табл. 4.3). Коефіцієнти кореляції між ΣQ і ΣS_c , $\sin h$ залишаються в усі пори високими ($r = 0,90-0,98$), а середні квадратичні похибки коефіцієнтів кореляції і імовірні похибки малі. Середні похибки рівнянь регресії (\bar{S}_y) не перевищують 20–30 МДж·м⁻². Таким чином, встановлено, що точність розрахункового методу, з урахування полуденної висоти Сонця, підвищилися незначно.

Таблиця 4.3 - Статистичні параметри до рівнянь зв'язку між ΣQ і висотою Сонця

Період	r	σ_r	ε_r	σ_Q	σ_S	\bar{S}_y
Весна	0,98	0,04	0,026	117,3	54,1	±23,67
Літо	0,90	0,04	0,027	67,0	32,6	±29,88
Осінь	0,98	0,03	0,020	125,7	65,4	±20,36

За запропонованою методикою були розраховані місячні суми сумарної сонячної радіації і ФАР (ΣQ , ΣQ_ϕ), а також суми цих показників за теплий період (з температурою повітря вище 10 °С) для 68 метеорологічних станцій України. Останні визначалися шляхом побудови графіку річного ходу місячних значень ΣQ і ΣQ_ϕ для кожної станції. Потім за датами переходу температури повітря через 10 °С весною і восени розраховувались відповідні суми сумарної радіації і ФАР, які надходять на горизонтальну поверхню за теплий період за формулами виду:

$$\Sigma Q^1 = \Sigma(Q \cdot N_{IV} + Q \cdot N_V + \dots + Q \cdot N_X); \quad (4.17)$$

$$\Sigma Q_{\phi}^1 = \Sigma(Q_{\phi} \cdot N_{IV} + Q_{\phi} \cdot N_V + \dots + Q_{\phi} \cdot N_X), \quad (4.18)$$

де N_{IV}, N_V, \dots, N_X – число днів у місяці з квітня по жовтень; Q і Q_{ϕ} – середні багаторічні місячні значення сумарної радіації і ФАР.

Зважаючи на значно більший банк інформації по тепловим ресурсам і на генетичний зв'язок між світлом і теплом мало сенс пошук зв'язку і розробка моделі ресурсів тепла і світла. З.А.Міщенко, Г.В.Ляшенко, С.В.Ляховою, за методикою ущільнення агрокліматичної інформації, було досліджено взаємозв'язок між сумою сумарної радіації, сумою ФАР і тривалістю сонячного сяйва з сумою температур за теплий період. Встановлено прямолінійний характер цих зв'язків. Формули розрахунку для України мають вигляд:

$$\Sigma Q' = 0,89 \cdot \Sigma T_c + 450,2; \quad (4.19)$$

$$\Sigma Q'_{\phi} = 0,44 \cdot \Sigma T_c + 225,1; \quad (4.20)$$

$$\Sigma S'_c = 0,47 \cdot \Sigma T_c + 30,34. \quad (4.21)$$

Коефіцієнти кореляції між цими показниками складають 0,91 – 0,96. Середні квадратичні помилки коефіцієнтів кореляції не перевищують 0,03– 0,05, а імовірні помилки малі і складають 0,02 – 0,03. За цими формулами додатково були розраховані суми сумарної радіації і ФАР за теплий період з температурою повітря вище 10 °С для 92 метеорологічних станцій.

4.1.3 Оцінка географічного розподілу сумарної сонячної радіації і ФАР для горизонтальної поверхні

В табл. 4.4 представлено результати розрахунків сумарної і фотосинтетично активної радіації та тривалості сонячного сяйва для ряду станцій України. В цілому за теплий період має місце значна географічна мінливість радіаційно-світлових ресурсів на території країни. Наприклад, на півночі (ст. Чернігів) величина ΣQ_{ϕ} і ΣS_c , N_{mn} не перевищують відповідно 2790 і 1395 МДж·м⁻², 1295 годин і 159 днів; на крайньому півдні (ст. Ялта) вони збільшуються до 3628 і 1814 МДж·м⁻², 1689 годин і 203 днів. Для ряду пунктів визначено відповідні суми сумарної радіації і ФАР за актинометричними спостереженнями і розрахунковим методом за формулами 4.18 – 4.19. В табл. 4.5 наведено дані і похибки в величинах розрахованих величинах $\Sigma Q'$ і $\Sigma Q'_{\phi}$, які

Таблиця 4.4 - Радіаційно-світлові ресурси по сезонах і за теплий період з T_c вище 10 °С в Україні

Станція	Весна			Літо			Осінь			Теплий період			
	ΣQ	ΣQ_{ϕ}	ΣS_c	ΣQ	ΣQ_{ϕ}	ΣS_c	ΣQ	ΣQ_{ϕ}	ΣS_c	ΣQ	ΣQ_{ϕ}	ΣS_c	N_{mn}
Чернігів	1244	622	552	1739	869	803	620	310	363	2790	1395	1295	159
Житомир	1249	624	514	1747	874	779	637	318	346	2760	1380	1241	158
Київ, обс	1303	652	531	1831	915	812	696	348	361	2900	1450	1302	162
Львів	968	484	405	1689	844	719	628	319	330	2774	1385	1213	166
Полтава	943	472	537	1768	884	843	574	287	339	2812	1406	1351	164
Харків	1278	639	552	1798	899	829	662	331	371	2920	1460	1322	161
Умань	1253	627	521	1802	901	829	708	354	402	2883	1441	1322	163
Чернівці	1316	658	549	1777	888	779	767	383	422	2954	1477	1310	168
Кривий Ріг	1362	681	581	1940	970	911	796	398	445	3239	1620	1536	175
Одеса	1521	760	628	2124	1062	976	880	440	494	3584	1792	1667	180
Херсон	1480	740	622	2080	1040	986	863	432	493	3562	1781	1702	185
Клепініно	1462	731	620	2032	1016	987	943	471	504	3528	1764	1691	183
Сімферополь	1529	765	650	2170	1085	1006	993	496	562	3792	1896	1772	187
Севастополь	1458	729	614	2053	1026	998	968	384	529	3725	1862	1797	202
Феодосія	1437	719	602	2020	1010	973	930	465	509	3654	1827	1754	198
Ялта	1412	706	569	1986	993	926	972	486	523	3628	1814	1689	203

Таблиця 4.5 - Порівняльна оцінка даних за сумою сумарної радіації і ФАР за теплий період (з T_c вище 10 °C), МДж·м⁻²

Станція	Фактична		Розрахована		Відхилення розрахованої від фактичної		Похиб- ка, %
	ΣQ	ΣQ_ϕ	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q'_\phi$	ΣQ	ΣQ_ϕ	
Конотоп	2707	1354	2746	1373	-39	-20	2
Полтава	2812	1406	2951	1476	-139	-70	5
Одеса	3600	1800	3342	1671	-257	-128	7
Болград	3364	1682	3472	1736	108	54	3
Нікітський Сад	3758	1879	3908	1954	150	75	4

свідчать про високий ступінь точності розрахованих величин – вони не перевищують 3 – 7%.

Як свідчать отримані дані, в географічному розподілі показників радіаційно-світлових ресурсів простежуються загальні закономірності: значна мінливість ΣS_c , ΣQ і ΣQ_ϕ у напрямку з півночі на південь, тобто в зональному розрізі, та чітко проявляється вплив висоти місця (ст. Алушта і Ай-Петрі), експозиції і крутизни схилів (ст. Ялта і Нікітський сад) тощо.

4.2. Теплові ресурси територій

Так як тепло є одним із факторів життя рослин оцінка теплових ресурсів території відноситься до першочергових задач агрокліматичного обслуговування сільськогосподарської галузі.

4.2.1 Методи розрахунку теплових ресурсів за традиційними показниками

В розділі 2 детально викладено агрокліматичні показники термічного режиму і теплових ресурсів території, які застосовують для оцінки теплозабезпеченості різних груп сільськогосподарських культур. Треба відзначити, що саме з цих показників в кінці XIX – на початку XX століття починалося становлення агрокліматичного напрямку досліджень в прикладній кліматології. Задача полягала у визначенні із великої кількості можливих термічних показників таких, які здатні адекватно відбивати відповідність термічного режиму територій вимогам сільськогосподарських культур.

Чи не найпершими для оцінки термічного режиму і теплових ресурсів було запропоновано використовувати температуру початку росту (біологічний мінімум) і максимальну температури як нижню і

верхню межу температур, за яких можливі процеси життєдіяльності рослин. Також було виявлено, що для проходження певних етапів розвитку культур необхідне накопичення певної суми температур. В 1921 році американським екологом Лівінгстоном на підставі матеріалів експерименту було виявлено, що за різного рівня температур відзначається різний приріст проростків кукурудзи. Так, за температури 4,5 °C приріст 0,009 мм в годину, а за температури 32 °C – 1,11 мм в годину. На підставі отриманих даних він запропонував використовувати термофізіологічний індекс як константу приросту проростків кукурудзи. В табл. 4.6 представлено термофізіологічні індекси Лівінгстона для різних температур повітря, які наочно свідчать про вплив температури в цей період. Причому, встановлено температури, за яких відзначається як максимальний, так і мінімальний приріст. Останні температури можна розглядати як лімітуючі температури. Проте такі дослідження були проведені тільки для періоду проростання зерна, що не дозволяє поширювати ці індекси на інші періоди розвитку кукурудзи або культури.

Таблиця 4.6 – Термофізіологічні індекси Лівінгстона

Температура	Індекс	Температура	Індекс	Температура	Індекс
3	0,333	16	21,599	34	107,333
4	0,667	18	31,333	36	86,556
4,5	1,0	20	46,000	38	64,333
7	2,778	22	63,444	40	36,000
8	3,667	24	79,111	42	14,000
9	4,889	26	94,000	44	4,889
10	6,338	28	108,444	45	2,778
12	8,000	30	120,000	46	1,667
14	14,778	32	123,333	47	0,667,

Італійський вчений Д. Ацці в 1926-1927 рр. оцінку кліматичних умов стосовно до сільськогосподарських культур запропонував

виконувати шляхом розрахунку метеорологічних (термічних і плювіографічних) еквівалентів і складанням клімаскопів. В основі таких розрахунків стало виявлення констант для різних міжфазних періодів культур. В табл. 4.7 наведено приклад клімаскопу для міжфазного періоду колосіння-стиглість пшениці. Встановлюються умови, які характеризують нормальний розвиток пшениці в конкретний міжфазний період (в даному випадку це температури 14 і 24 °С) шляхом осереднення температур за багато років. Надалі виконується оцінка термічних умов кожного року, яка виконується шляхом співставлення їх з нормальними умовами і надається у такому вигляді:

$$IT_{IV}^2, HT_V^5, IT_V^2, \quad (4.22)$$

де IT_{IV}^2 - надлишок температур (висока температура) в четвертий період в двох роках; HT_V^5 - нестача температур (низькі температури) в п'ятий період в п'яти роках; IT_V^2 - надлишок температур в п'ятий період в двох роках.

Таблиця 4.7 – Клімаскоп пшениці за міжфазний період колосіння-стиглість

Рік	Середня температура за міжфазний період	Рік	Середня температура за міжфазний період
1952	19,8	1957	18,3
1953	20,5	1958	13,0
1954	25,3	1959	17,9
1955	13,2	1960	24,9
1956	21,2	1961	21,2

В 30-ті роки Селяніновим Г.Т. було запропоновано для оцінки теплозабезпеченості сільськогосподарських культур виконувати розрахунки сум температур за періоди з температурою вище 5, 10 і 15 °С, як температур, що характеризують період вегетації культур з різними вимогами до термічного режиму. Запропоновані показники були одержані ним на підставі аналізу результатів багаторічних фенологічних спостережень. Ці ж показники пропонує використовувати і Ф.Ф. Давітая, який підкреслив, що ще на початку розвитку метеорології Реомюр, а пізніше і видатні вчені в галузі землеробства і агрономії Бусенго, Гаспарен і Декандоль, застосовували ці показники для визначення сум тепла як показника розвитку сільськогосподарських культур.

Селянінов Г.Т., обґрунтовуючи застосування показників сум температур, вказував, що сума температур за вегетаційний період або за

будь-яку його частину можна розглядати як наближений інтеграл усієї дії термічного фактору на рослину за період вегетації ...». Практика показала, що суми температур незамінні при визначенні імовірності прояву різних біологічних явищ і, особливо, фаз розвитку культурних рослин. Будико М.І. та інші дослідники дали фізичне обґрунтування застосування сум активних температур за періоди з температурою вище 5 і 10 °С в агрокліматології, встановивши тісну залежність цих показників з величиною сумарної радіації і радіаційним балансом земної поверхні.

Треба зазначити, що застосування цих показників для оцінки теплових ресурсів зазнавало критики з боку ботаніків і фізіологів, пояснюючи такими причинами. По-перше, культури, в зв'язку з фотоперіодизмом, в залежності від широти, для проходження етапів розвитку вимагають різну суму тепла. А, по-друге, при застосуванні сум температур передбачається пряма залежність між розвитком культур і ними, проте, згідно із законом оптимуму, різні рівні температур за своєю дією на рослини неоднакові. Зважаючи на цю критику, Г.Т. Селянінов, Ф.Ф. Давітая, П.І. Колосков, С.А. Сапожнікова, а пізніше Д.І.Шашко провели детальні клімато-екологічні дослідження різних культур. Результатом таких досліджень стала пропозиція застосовувати показники сум температур з врахуванням додаткових показників термічного режиму в залежності від культур і географічних особливостей територій.

Давітая Ф.Ф., вивчивши вимоги різних сортів винограду до тепла, виділив п'ять екологічних груп. На його думку, суми температур за вегетаційний період характеризуються меншою мінливістю у часі, порівняно з тривалістю вегетаційного періоду. Як приклад він наводить результати роботи О.В. Федорова для вівса пізньостиглого сорту Верхняченський 054), у якого тривалість вегетаційного періоду впродовж тільки 8 років коливалась в межах 35 днів (від 63 до 98), а сума біологічних температур – в межах 18 °С (від 455 до 473 °С). Надалі, вказаними вченими при оцінці теплозабезпеченості культур було запропоновано враховувати можливу мінливість сум температур, які відбивають тепловимогливість культур з врахуванням температури початку і кінця вегетації, реакції на тривалість дня і широти місцевості, приклад якої для деяких культур представлено в табл. 4.8. В ній в графі 7 для кожної культури надана сума біологічних температур для широти 55°. В графі 6 надана поправка на фотоперіодизм, яка для культур довгого дня має від'ємний знак, а короткого дня – додатний.

Розрахунок сум біологічних температур виконується таким чином. З просуванням рослини на північ від широти 55° п.ш. біологічну суму треба зменшити на величину поправки, а при просуванні на південь – збільшити. Для культур же короткого дня ця поправка має

Таблиця 4.8 - Потреба сільськогосподарських культур в теплі, представлена в біологічних сумах тепла

Культура	Швидкостиглість сортів	Період	Біологічний мінімум температури (град.)		Реакція на тривалість дня (поправка на 1° широти)	Біологічна сума температур для широти 55°
			початок росту	визрівання		
1	2	3	4	5	6	7
Яра пшениця (м'яка)	Ранньостиглі	Сівба- воскова стиглість	5	10	-20	1400
	Середньостиглі	Те ж	5	10	-20	1500
	Пізнньостиглі	- « -	5	20	-25	1700
Яра пшениця (тверда)	Ранньостиглі	Те ж	5	12	-15	1400
	Середньостиглі	- « -	5	12	-20	1600
	Пізнньостиглі	- « -	5	12	-20	1700
Ячмінь	Ранньостиглі	Те ж	5	10	-20	1250
	Середньостиглі	- « -	5	10	-15	1350
	Пізнньостиглі	- « -	5	10	-15	1450
Овес	Найбільш ранньостиглі	Те ж	5	10	-20	1250
	Середньостиглі	- « -	5	10	-20	1450
	Пізнньостиглі	- « -	5	10	-20	1550
Озиме жито	Ранньостиглі	Те ж	5	10	-30	1300
	Середньостиглі	- « -	5	10	-30	1350
	Пізнньостиглі	- « -	5	10	-30	1400

Продовж табл.4.8						
1	2	3	4	5	6	7
Озима пшениця	Ранньостиглі	Те ж	5	10	-25	1400
	Середньостиглі	- « -	5	10	-25	1450
	Пізнньостиглі	- « -	5	10	-25	1500
Кукурудза	Ранньостиглі	Сівба - викидання волоті	10	10	0	1200
		Сівба-молочна стиглість	10	10	0	1800
		Сівба - визрівання	10	10	0	2200
		Сівба - викидання волоті	10	10	0	1400
	Середньостиглі	Сівба-молочна стиглість	10	10	0	2100
		Сівба - воскова стиглість	10	10	0	2500
		Сівба-викидання волоті	10	10	0	1500
		Сівба-молочна стиглість	10	10	0	2200
	Пізнньостиглі	Сівба-визрівання	10	10	0	2700
Гречка	Ранньостиглі	Сівба - воскова стиглість	7	10	0	1200
	Середньостиглі	Те ж	7	10	0	1300
	Пізнньостиглі	Те ж	7	10	0	1400

додатний знак і визначення необхідних сум біологічних температур виконується шляхом додавання поправки при їх просуванні на північ і зменшенні – при просуванні на південь від широти 55°. Наприклад, для ярої пшениці сорту Гарне біологічна сума температур за вегетацію (сівба-воскова стиглість) складає 1400 °С. Поправка для неї складає 20° на 1° широти – таким чином для широти 65° поправка становить 200 °С, а біологічна сума температур – 1200 °С. Для широти 45° поправка буде складати -200 °С, а сума біологічних температур – 1600 °С. Для рослин нейтрального дня поправка дорівнює 0 °С.

Вплив континентальності клімату на мінливість сум біологічних температур детально досліджувався С.А. Сапожніковою і Д.І. Шашко. Ними встановлено, що поправка на континентальність клімату для території Східного Сибіру в середньому складає 100 °С. Тому для цієї території при обчисленні сум біологічних температур вводяться дві поправки – на тривалість дня і континентальність клімату. Необхідність введення поправки на континентальність клімату зумовлена тим, що зі зростанням континентальності клімату збільшується співвідношення між денними і нічними температурами. Сапожніковою С.А. було встановлено, що середні температури повітря о 13-й годині у Східному Сибіру на 1-2 °С вище, ніж в Західному Сибіру і в Європейській частині. Тому рослини в Східному Сибіру прискорюють свій розвиток за рахунок підвищених денних температур і визрівають за сумарного тепла, на 100-150 °С.

Відношення культур до тепла прийнято надавати у вигляді сум активних і ефективних температур за період з температурами вище певних меж. Для отримання суми активних температур необхідно підсумувати усі середньодобові температури за цей період. Обчислення сум ефективних температури виконується шляхом підсумування різниці між поточною температурою і величиною межі – 5, 10, 20 °С і т.д.

Розрахунок суми активних ($\Sigma T_{ак}$) і ефективних ($\Sigma T_{эф}$) температур повітря ($\Sigma T_{ак}$), наприклад, вище 10 °С, виконується за формулою:

$$\Sigma T \geq 10^{\circ}\text{C} = \Sigma (T_{IV} \cdot N_{IV} + N_{IV} + \dots + T_X \cdot N_X), \quad (4.23)$$

де T_{IV}, T_V, \dots, T_X - середні місячні температури повітря вище 10 °С; N_{IV}, N_V, \dots, N_X - тривалість періодів (дні) з квітня по жовтень, T_c - середня місячна температура повітря; T_s - біологічний нуль даної культури.

В агрокліматичних дослідженнях суми ефективних температур застосовуються дуже рідко.

Одним із методів розрахунку теплових ресурсів за сумою активних температур є графічний метод, який базується на методі побудови графіка річного ходу температур О.О. Шепелевським (рис.4.2). Для кожної станції по вісі абсцис відкладаються дні місяців, а по вісі ординат – температура повітря, яка в полі графіку відтворюється у вигляді прямокутника, основа якого складає число днів відповідного місяця, а висота – багаторічна середня температура за даний місяць. Через ці прямокутники проводиться плавна крива так, щоб площа трикутника, яка відсікається з однієї сторони прямокутника дорівнювала площі трикутника з іншої прямокутника, тобто зберігалася б площа прямокутника, яка й являє собою суму температур повітря за місяць.

Графіки річного ходу температури повітря, побудований методом рівноважних трикутників (метод гістограм), дозволяє одночасно визначити дати переходу температури повітря весною і восени (D_v , D_o) через різні межі (5, 10, 15 °C), тривалість періодів з такими температурами (N_{mn}) та теплові ресурси території за сумами температур різних градацій (вище 5, 10, 15 °C), а також дати початку і кінця пір року та їх тривалості.

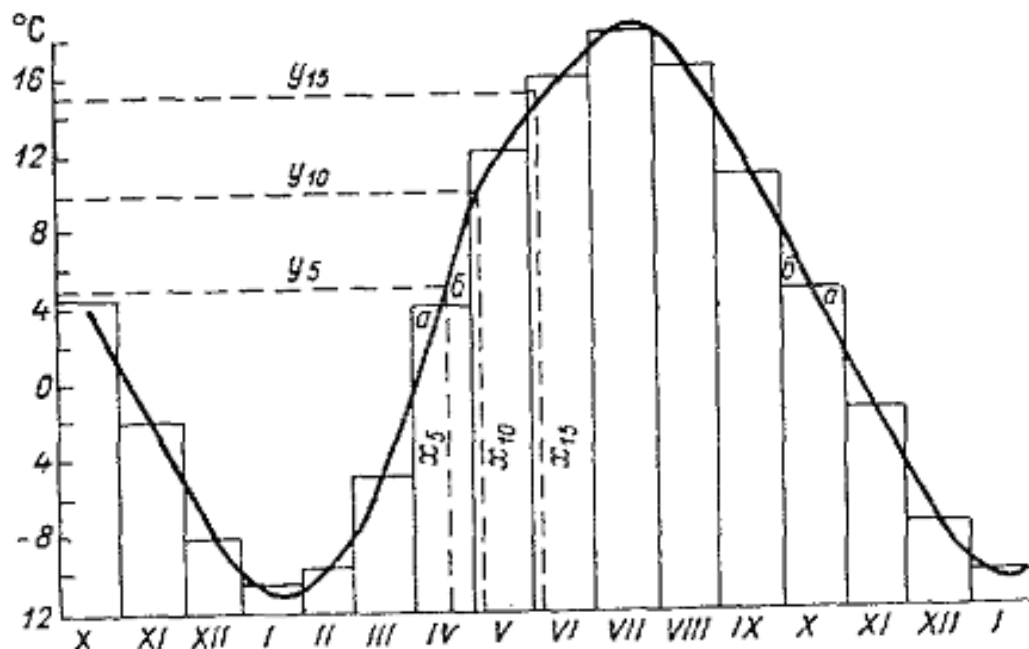


Рисунок 4.2 - Графік річного ходу температури, побудований методом гістограм (за О.О. Шепелевським)

Розділяють поняття біологічних і кліматичних сум температур як показників вимоги культур до тепла і теплових ресурсів території відповідно. Перехід від біологічних до кліматичних сум температур (приведення) здійснюється шляхом введення кліматичних поправок або різниць. Можливо декілька варіантів вирішення цієї задачі, схематичне зображення яких представлено на рис.4.3.

У варіанті I кліматична поправка дорівнює 0, так як температура початку росту і визрівання дорівнює 10°C , тому біологічна сума співпадає з кліматичною. У варіанті II біологічна сума більша кліматичної, так як температура початку росту дорівнює 5°C . Тому для приведення необхідно суму температур, яка накопичена весною за період $5-10^{\circ}\text{C}$, відняти від біологічної суми. Для цього достатньо середню температуру за цей період помножити на число днів в періоді, що дасть кліматичну поправку. У варіанті III біологічна сума менше кліматичної за рахунок того, визрівання культури відбувається за температури 15°C , тобто до дати переходу через 10°C восени. Кліматична поправка визначається як добуток середньої температури за період $15-10^{\circ}\text{C}$ на тривалість періоду в днях, а біокліматична сума

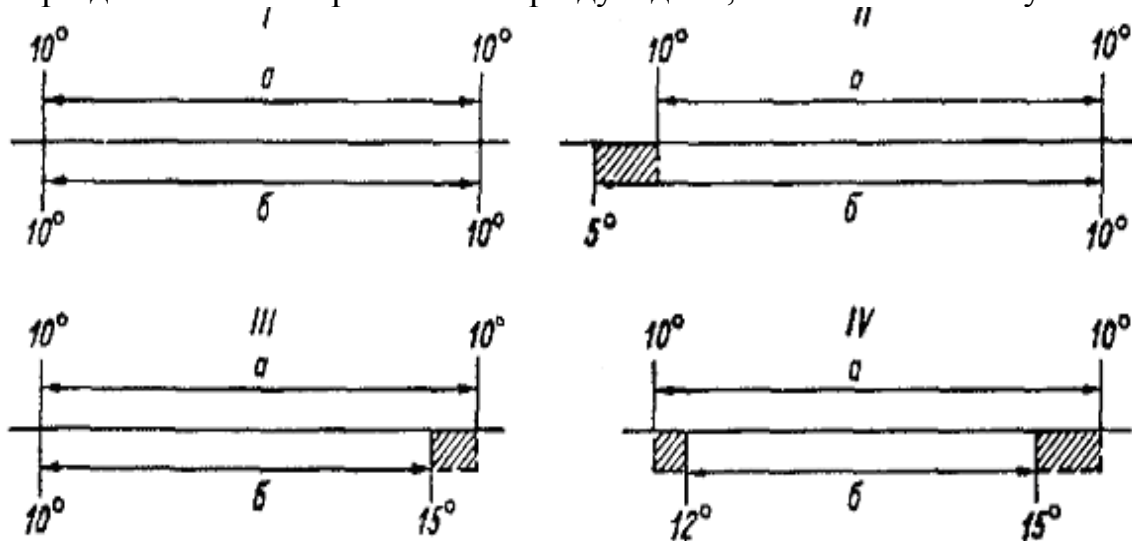


Рисунок 4.3 – Варіанти визначення кліматичної різниці температур.
а - кліматична сума, б – біологічна сума

визначається як сума біологічної температури і кліматичної поправки. У варіанті IV кліматичні поправки треба розрахувати весною і восени і обидві мають знак «плюс», а сума біокліматичних визначається як сума цих поправок і біологічної суми. Можливі й інші варіанти, але порядок визначення кліматичних поправок і біокліматичних температур ідентичний.

Сума температур, розрахована за весь вегетаційний період не може характеризувати термічний режим і суми температур за окремі періоди розвитку культур. Ф.Ф. Давітая запропонував метод

розрахунку накопичення сум активних температур повітря вище 5, 10 і 15 °С на будь-яку дату вегетаційного періоду. Ним, для території СРСР (крім Східного Сибіру і Далекого Сходу) було складено дев'ять номограм накопичення сум температур в залежності від середніх багаторічних сум активних температур ($\overline{\Sigma T_{ак}}$). Для складання номограм використовувалися дані декількох метеорологічних станцій з різними $\overline{\Sigma T_{ак}}$. Для кожної станції розраховувалася середня сума температур по місяцям і її підсумок на кінець кожного місяця від дати переходу температури повітря через 10 °С весною до дати переходу температури через 10 °С восени (табл.4.9).

Таблиця 4.9- Сума активних температур повітря вище 10 °С за місяць і у вигляді підсумку

Станція	Д _в	Д _о	Місяць				
			V	VI	VII	VIII	IX
Сума температур вище 10 °С за місяць							
А	4 V	27 IX	389	600	685	617	356
Д	16 V	12 IX	164	465	560	477	151
Сума температур вище 10 °С у вигляді підсумку							
А	4 V	27 IX	389	989	1674	2291	2647
Д	16 V	12 IX	164	629	1189	1666	1817

За даними таблиці для кожної станції складаються графіки підсумкових сум температур (рис.4.4). За отриманими кривими накопичення тепла для окремих станцій складається номограма для визначення сум температур на будь-яку дату або навпаки, дати з будь-якою накопиченою сумою температур за середньою багаторічною сумою активних температур за період вегетації для даної території. На осі абсцис відкладаються дати накопичення сум температур, а на осі ординат – середні багаторічні суми температур повітря вище 10 °С (рис.4.4). У полі графіку складаються ізоплети кривих з сумою температур 0, 500, 1000, 1500 °С і т.д. На номограмі крива 0 відповідає сумі температур 0 °С і вказує на початок періоду з температурою вище 10 °С, а крива (а-б) – на кінець цього періоду.

Виконане картування сум температур повітря дозволяє виявити географічні особливості розподілу ресурсів тепла на досліджуваній території. На території СРСР сума активних температур за період з температурою вище 10 °С значно змінюється (рис.4.5). На півночі (район Дудинки) вона складає менше 500 °С, а на півдні (Середня Азія)

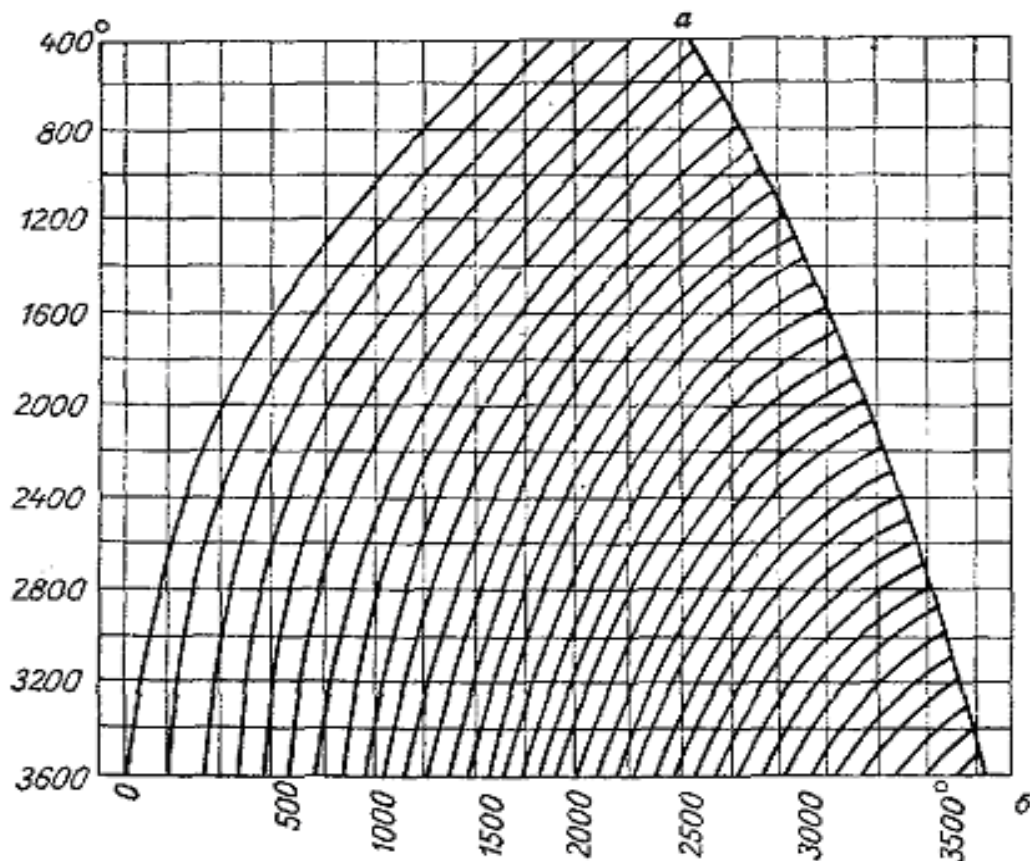


Рисунок 4.4. Номограма накопичення сум температур вище 10 °С залежно від середніх багаторічних сум

- перевищує 5000 °С. На Європейській частині території мінливість сум температур дещо менша: 600 °С на Кольському півострові і 3400 °С -

на півдні Одеської області. Наведена карта відбиває середні багаторічні умови, тобто забезпеченість вказаних сум температур складає 50% (в 5 роках із 10), а суми вище або нижче цих величин можуть накопичуватися кожного другого року.

4.2.2 Імовірнісна характеристика показників теплових ресурсів і оцінка теплозабезпеченості рослин

Як зазначалося в розділі 2 агрокліматична інформація повинна містити не тільки середні багаторічні дані величини агрокліматичних показників, а й характеристики їх мінливості у часі. Визначення теплозабезпеченості сільськогосподарських культур базується на детальному врахуванні імовірності і забезпеченості тривалості періодів з температурою вище 5, 10 і 15 °С та сум активних температур за ці періоди як показників ресурсів тепла. Під забезпеченістю, в загальному сенсі, розуміють сумарну імовірність величини агрокліматичного показника нижче або вище певної межі.

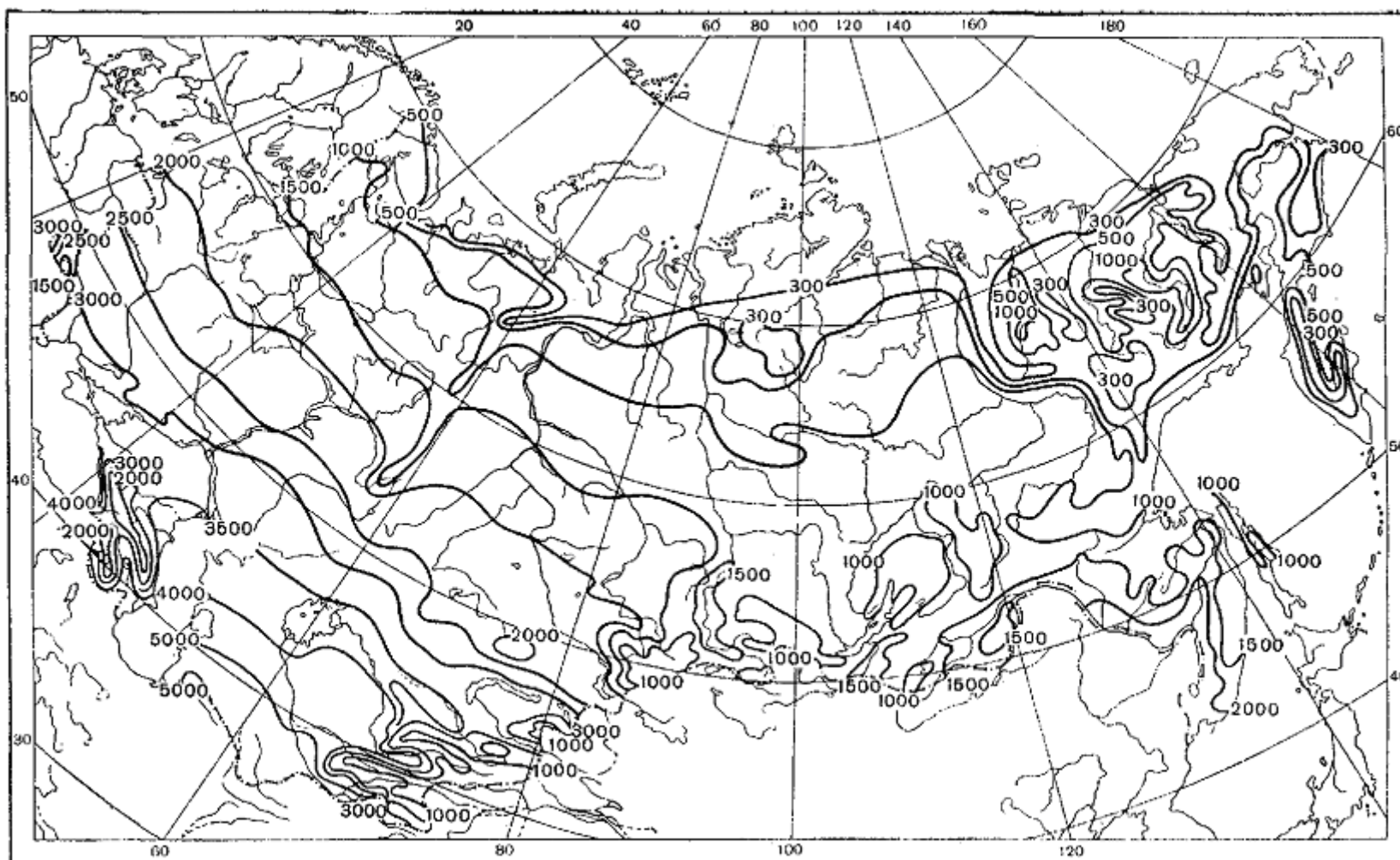


Рисунок 4.5 - Агрокліматична карта розподілу сум активних температур повітря за період з температурою вище 10 °C на території ЄСРП

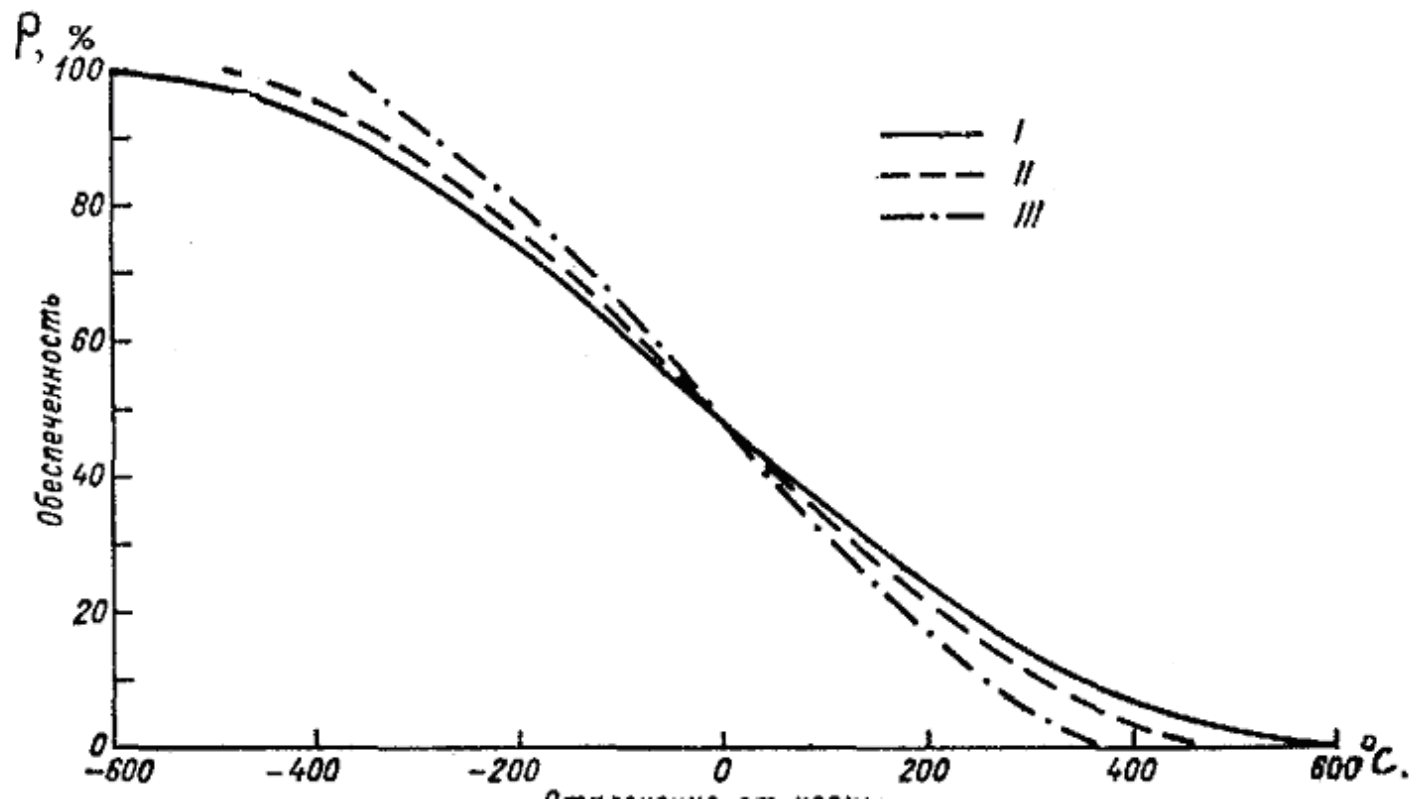


Рисунок 4.6 - Криві забезпеченості вегетаційного періоду сумами температур вище 10 °С.
 I тип – райони нестійкого клімату, II тип – стійкий клімат, III тип – райони найбільш стійкого клімату

Розроблено декілька методів визначення забезпеченості показників теплових ресурсів. Ф.Ф. Давітая запропонував метод розрахунку забезпеченості сум температур за період з температурами вище 10 °С в окремі роки в залежності від середніх багаторічних сум температур (кліматичної норми). Розрахункова формула має вигляд:

$$P = 50,333 - 7,545 \left(\frac{\sigma_T}{50} \right) + 0,002 \left(\frac{\sigma_T}{50} \right)^2 + 0,243 \left(\frac{\sigma_T}{50} \right)^3, \quad (4.24)$$

де P – забезпеченість у %; σ_T - середнє квадратичне відхилення від середньої багаторічної суми температур повітря вище 10 °С.

На підставі вивчення мінливості сум активних температур в окремі роки за даними 44 станцій, які рівномірно розташовані на території СРСР, Ф.Ф. Давітая вперше склав криві забезпеченості сум температур для цих станцій і типізував їх. Подальші дослідження імовірнісних характеристик сум температур дозволили виділити для території СРСР типа кривих забезпеченості сум активних температур повітря вище 10 °С, які представлено на рис. 4.6. Тип I характерний для районів з нестійким кліматом, за якого спостерігається найбільша їх мінливість в окремі роки. Крива забезпеченості сум температур має найбільш пологий вигляд. Цей тип мінливості притаманний Європейській частині СРСР, Середній Азії і Західному Сибіру. Другий тип кривої спостерігається за більшої стійкості клімату і сум температур і притаманний Центральним районам Сибіру (Західний Сибір). Крива забезпеченості має менш пологий вигляд. Третій тип кривої забезпеченості температур притаманний районам зі стійким кліматом (Східний Сибір і Далекий Схід) і відрізняється значною стійкістю сум температур, а крива має більш крутий вигляд. Похибка розрахунку за наведеними кривими не перевищує 2-4 %, що цілком допустиме для вирішення практичних агрокліматичних задач.

За наведеними кривими забезпеченості і використовуючи величини відхилення сум температур від середніх багаторічних дуже просто визначити суму температур 90% забезпеченості. Можна вирішити й зворотну задачу: знаючи суму температур, необхідну для визрівання будь-якої сільськогосподарської культури, визначити, як часто в даній місцевості ця культура буде визрівати. Ця задача може вирішуватися за іншими методами, наведеними в розділі 2. Так, застосовуючи універсальний графоаналітичний метод Г.О.Алексєєва, можна виконати розрахунки сум активних температур за періоди з температурами вище 5, 10 і 15 °С різної імовірності. Після розрахунків сум температур по рокам і їх імовірностей для різних станцій будується

крива сумарної імовірності сум температур, з якої знімаються величини можливих забезпеченостей з кроком 10 %. Отримані дані заносяться в таблицю, за якою, як і за кривими забезпеченості легко вирішувати задачі по забезпеченості культури теплом. Наприклад, із даних табл.4.10 наочно видно, що за середньої суми температур 3600 °С, в окремі роки можлива їх мінливість від 3000 до 4200 °С. На цій території не буває років з сумою температур менше 3000 і вище 4200 °С і на 70 % (7 років із 10) забезпечена сума температур 3500 °С і нижче. Вирішення цієї задачі можливе й за запропонованим І.А. Гольцберг спрощеним методом, який базується на використанні двох статистичних характеристик сукупності показників ресурсів тепла (середньої багаторічної величини і середнього квадратичного відхилення) та коефіцієнту кривої Гауса. Але цей метод можна застосовувати тільки у випадку підлягання сукупності величин показника нормальному закону розподілу щільностей імовірностей.

Д.І. Шашко запропонував для визначення теплозабезпеченості культур виконувати розрахунок біокліматичної температури, в яких враховується вплив континентальності клімату, широта місця, мікрокліматична мінливість сум температур тощо. Формула розрахунку сум біокліматичних температур має вигляд:

$$\Sigma T_{\text{бк}} \geq 10^{\circ}\text{C} = \Sigma T_{\text{б}} + P_{\text{к}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{м}} + P_{\text{к}} + (200, 300^{\circ}\text{C}) \quad (4.25)$$

де $\Sigma T_{\text{бк}}$ – біокліматична сума температур, яка характеризує кількість тепла, що забезпечує щорічне (або часте - 8-9 років із 10) визрівання культур; $\Sigma T_{\text{б}}$ – сума біологічних температур, яка відбиває потребу культури в теплі за період вегетації; $P_{\text{к}}$ – різниця сум температур в межах лімітних температур розвитку рослин за період з температурою повітря вище 10 °С ; $P_{\text{ш}}$ – поправка на широту місцевості, яка враховує тривалість дня ($\pm 10\text{-}15^{\circ}\text{C}$ 1⁰ пн.ш.); $P_{\text{м}}$ – поправка на мікрокліматичні особливості місцеположення; $P_{\text{к}}$ – поправка на континентальність клімату (від'ємна в межах -100, -200 °С); +200 (250, 300 °С) – відхилення сум кліматичних температур, які відповідають забезпеченості 90 %. Результати розрахунків за цією формулою дозволили Д.І. Шашко визначити на карті агрокліматичного районування території СРСР ареали видів і сортів культурних рослин.

4.2.3 Теплові ресурси територій за показниками, що враховують добову ритміку температур

Традиційний підхід до оцінки теплових ресурсів території в сучасних умовах вимагає деталізації. В окремих випадках, володіючи

Таблиця 4.10 - Забезпеченість сум температур повітря вище 10 °С в залежності від середньої багаторічної для кривої типу І

Середні багаторічні суми температур, °С	Забезпеченість, %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
3600	3000	3280	3400	3500	3580	3640	3680	3730	3780	3860	4200
3400	2800	3080	3200	3300	3380	3440	3480	3530	3580	3660	4000
3200	2600	2880	3000	3100	3180	3240	3280	3330	3380	3460	3800
3000	2400	2680	2800	2900	2980	3040	3080	3130	3180	3260	3600
2800	2200	2480	2600	2700	2780	2840	2880	2930	2980	3060	3400
2600	2000	2280	2400	2500	2580	2640	2680	2730	2780	2860	3200
2400	1800	2080	2200	2300	2380	2440	2480	2530	2580	2660	3000

інформацією про теплові ресурси за традиційними показниками, які базуються на осереднених величинах температури повітря, неможливо дати пояснення значної розбіжності у стані сільськогосподарських культур, рівню їх врожайності і якості продукції. Вже більше 50-ти років розвивається напрямок, за яким досліджуються теплові ресурси територій за показниками, що враховують добову ритміку температур.

Теоретичною базою таких досліджень є реально існуючі механізми фото- і термоперіодизму, за якими проходять усі фізичні і, особливо фізіологічні і біохімічні процеси в рослинах. Причому, в природі ці два механізми пов'язані між собою і визначають темпи росту та розвитку, урожайність і хімічний склад рослин. В. Лархер, А.А. Малишев, Ф.В. Вент переконливо довели, що середня добова температура повітря не може бути показником швидкості розвитку рослин. Невідповідність темпів розвитку культурних рослин і традиційних термічних показників пояснюється тим, що у рослин довгого дня процеси розвитку протікають в основному в денні години, а у рослин короткого дня – в темноті. Тому у рослин довгого дня прискорюються темпи розвитку при підвищених денних температурах повітря, а у рослин короткого дня – при підвищених нічних. А.А. Малишев і В.С. Шевелуха розглядають закономірність реакції рослин на тривалість дня і ночі, пов'язаної з механізмами фото- і термоперіодизму, та різницю денних і нічних температур як спадкове пристосування до ритму природних умов. В даний період в біологічній науці є загальновизнаним положення про те, що життєдіяльність рослин визначається дією двох основних механізмів – фотоперіодизму та термоперіодизму. Встановлена домінуюча роль добових кліматичних ритмів на періодику фізіологічних функцій людини та тварин вдень та вночі, а також добової термоперіодичності в регулюванні синусоїдно-екзогенних ритмів росту багатьох сільськогосподарських культур. Виявлена тісна залежність інтенсивності фотосинтезу, дихання, а також продуктивності і хімічного складу рослин від рівня температури вдень та вночі, а також добових коливань температури. В зв'язку з цим фізіологічно обґрунтованою для більш точного моделювання складного взаємозв'язку між інтенсивністю природних процесів і кліматичними факторами є необхідність переходу до роздільного для дня і ночі вивчення термічного режиму і теплових ресурсів.

Найбільш детальні, як фундаментальні, так і прикладні, дослідження теплових ресурсів дня і ночі виконано З.А. Міщенко. Нею запропоновані нові показники термічного режиму роздільного для дня та ночі: денна і нічна температура повітря ($T_{дн}, T_{н}$), добова амплітуда температури повітря (A_T), денна температура діяльного рослинного шару ($T_{w_{дн}}$), а також сума цих температур. Перевага запропонованих

показників перед існуючими (середня добова температура повітря і її суми) полягає в тому, що в них враховується дія добового ходу температури, особливо вдень при радіаційному нагріванні та мінливість тривалості дня і ночі в географічному розрізі. Крім того, ці показники відрізняються великою чутливістю до континентальності клімату і мікроклімату.

В зв'язку з тим, що режимний матеріал по клімату не містить інформації по $T_{дн}, T_{н}$, було розроблено методи прямих і опосередкованих розрахунків нових термічних показників. Прямий метод розрахунку $T_{дн}, T_{н}$ полягає в безпосередньому використанні багаторічних даних спостережень за добовим ходом температури повітря і визначенні середніх величин денної і нічної температури із щогодинних даних термографу відповідно за години від сходу до заходу сонця ($T_c + \dots + T_3$) і від заходу до сходу сонця ($T_3 + \dots + T_c$):

$$T_{дн} = \frac{(T_c + \dots + T_3)}{N_{дн}}, \quad (4.26)$$

$$T_{н} = \frac{(T_3 + \dots + T_c)}{N_{н}}, \quad (4.27)$$

де $N_{дн}, N_{н}$ – число годин за день і за ніч.

Інший метод розрахунку $T_{дн}$ і $T_{н}$, який близький до прямого, базується на використанні багаторічних даних восьмиistroкових спостережень за температурою повітря на метеорологічних станціях. До денного періоду доби віднесено спостереження за температурою повітря о 9, 12, 15 і 18 годин, а до нічного – о 3, 6, 21 і 0 годин. Формули розрахунку мають вигляд:

$$T_{дн} = \frac{T_9 + T_{12} + T_{15} + T_{18}}{4}, \quad (4.28)$$

$$T_{н} = \frac{T_3 + T_6 + T_{21} + T_0}{4}, \quad (4.29)$$

Треба зважати на те, що в залежності від широти місця і пори року число годин, які входять в розрахунок $T_{дн}, T_{н}$, відрізняються й, відповідно, змінюються початкові і кінцеві години, які входять в денні і в нічні години доби.

Метод прямих розрахунків вважається найбільш точним, але надто трудомістким. Це зумовило необхідність розробки методів опосередкованих розрахунків денних і нічних температур повітря за показниками, які характеризуються тісним зв'язком з $T_{дн}, T_{н}$ і в достатній кількості представлені в різних довідниках, насамперед, в довіднику по клімату СРСР. Такими показниками є середня максимальна $T_{мах}$ і середня мінімальна $T_{мін}$ температури повітря. З.А. Міщенко складена серія графіків залежності між середніми денними і нічними температурами повітря та $T_{дн}, T_{н}$ і середніми максимумом $T_{мах}$ і мінімумом $T_{мін}$ температури повітря за період з квітня по жовтень більше 2500 метеорологічних станцій, рівномірно розташованих на території СРСР. В результаті проведеного детального аналізу було встановлено лінійний характер залежності між цими температурами і ряд статистичних характеристик зв'язку. Коефіцієнт кореляції r зв'язків між $T_{дн}$ і $T_{мах}$, $T_{н}$ і $T_{мін}$ залишаються в усі місяці високими, а середні квадратичні похибки коефіцієнтів кореляції σ_r і можливі похибки ϵ малі (табл. 4.11). Рівняння регресії має вигляд:

$$T_{дн} = aT_{мах} + b, \quad (4.30)$$

$$T_{н} = a_1T_{мін} + b_2, \quad (4.31)$$

Таблиця 4.11 - Статистичні характеристики зв'язку між показниками теплових ресурсів та їх точність (за Міщенко З.А.)

Місяць	R	ϵ_R	σ_d	$\sigma_{мах}$	$T_{дн} = a T_{мах} + b$	S_y
$T_{дн}$ і $T_{мах}$						
Квітень	0,98	0,002	6,6	6,7	$T_{дн} = 0,96 T_{мах} - 3,5$	$\pm 3,7$
Травень	0,99	0,001	6,6	7,0	$T_{дн} = 0,93 T_{мах} - 3,1$	$\pm 2,8$
Червень	0,98	0,002	5,4	5,8	$T_{дн} = 0,91 T_{мах} - 2,5$	$\pm 3,2$
Липень	0,97	0,003	5,1	5,4	$T_{дн} = 0,91 T_{мах} - 2,2$	$\pm 3,6$
Серпень	0,99	0,001	5,3	5,4	$T_{дн} = 0,97 T_{мах} - 3,2$	$\pm 2,2$
Вересень	0,98	0,002	5,5	6,0	$T_{дн} = 0,90 T_{мах} - 2,0$	$\pm 3,1$
Жовтень	0,99	0,001	7,2	7,5	$T_{дн} = 0,95 T_{мах} - 2,7$	$\pm 3,0$
$T_{н}$ і $T_{мін}$						
Квітень	0,9	0,001	6,5	7,0	$T_{н} = 0,91 T_{мін} + 3,0$	$\pm 0,9$
Травень	0,9	0,002	5,8	5,7	$T_{н} = 0,98 T_{мін} + 3,1$	$\pm 1,2$
Червень	0,9	0,004	4,7	4,4	$T_{н} = 1,03 T_{мін} + 2,4$	$\pm 1,3$
Липень	0,9	0,004	4,0	4,0	$T_{н} = 0,96 T_{мін} + 3,2$	$\pm 1,1$
Серпень	0,9	0,003	4,6	4,3	$T_{н} = 1,04 T_{мін} + 2,0$	$\pm 1,1$
Вересень	0,9	0,003	5,0	4,8	$T_{н} = 1,01 T_{мін} + 2,7$	$\pm 1,2$
Жовтень	0,9	0,001	6,8	6,7	$T_{н} = 1,01 T_{мін} + 2,6$	$\pm 0,8$

де a, a_1, b, b_1 – коефіцієнти відповідних рівнянь регресії.

Середня похибка рівняння регресії розраховується за формулою:

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4.32)$$

Точність розрахунку $T_{дн}$ і $T_{н}$ для рівнинних земель в різні місяці складає відповідно $\pm (0,7 - 1,2)$ і $\pm (0,6 - 1,3)$ °С.

За отриманими рівняннями З.А. Міщенко для 2500 метеорологічних станцій були виконані розрахунки і отримано величини середніх денних і середніх нічних температур повітря $T_{дн}, T_{н}$. За отриманими даними $T_{дн}$ і $T_{мах}, T_{н}$ і $T_{мін}$ та температури о 13-й годині надалі нею було проведено аналітичний аналіз і встановлено теоретичні залежності, представлений в графічному вигляді на рис. 4.7а, 4.7б і 4.7в. Цей метод дозволяє в розрізі окремих місяців теплого періоду (квітень - жовтень) за відомими величинами середніх максимальних і середніх мінімальних температур та температури повітря о 13 годині отримати величини $T_{дн}, T_{н}$ для будь-якої території.

Розрахунок теплових ресурсів з врахуванням добової ритміки температур виконується за величинами денних і нічних температур $T_{дн}, T_{н}$, формули яких аналогічні розрахунку сум середньодобових температур і мають вигляд:

$$\sum T_{дн} \geq 10^\circ\text{C} = \sum (T_{дн} \cdot N_{IV} + T_{дн} N_V + \dots + T_{дн} \cdot N_X), \quad (4.33)$$

$$\sum T_{н} \geq 10^\circ\text{C} = \sum (T_{н} \cdot N_{IV} + T_{н} N_V + \dots + T_{н} \cdot N_X), \quad (4.34)$$

де $T_{дн}, T_{н}$ – середні місячні величини денних і нічних температур повітря; N з індексом IV, V, \dots, X – кількість днів та ночей у квітні, травні і до жовтня з $T_{дн}, T_{н}$ вище 10°C .

Розрахунки $\sum T_{дн}, \sum T_{н}$ виконуються за період між датами переходу $T_{дн}, T_{н}$ через 10°C . Визначення дат переходу здійснюється у графічний або аналітичний спосіб. Графічний спосіб полягає у наступному. На вісі абсцис відкладаються дати місяців теплого періоду (1 мм – 1 доба), а на вісі ординат – середні температури (1 мм – 1°C). Далі наноситься графік річного ходу денних і нічних температур повітря і проводиться ізотерма 10°C , з точок перетину яких в весняні і осінні місяці проводяться перпендикуляри на вісь абсцис і знімаються дати. Надалі розраховуються

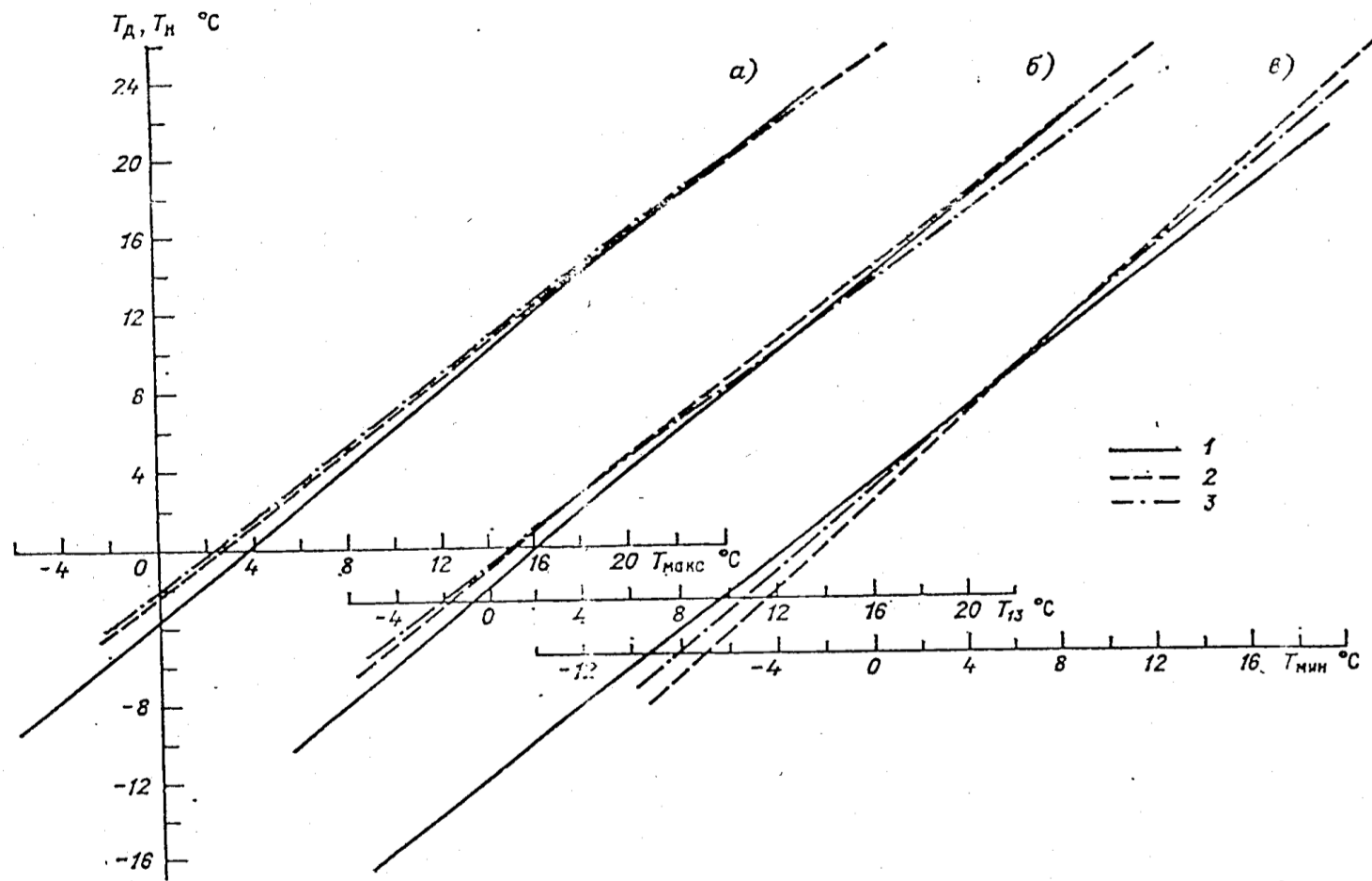


Рисунок - 4.7. Теоретичні лінії залежності між $T_{\text{дн}}$ і $T_{\text{макс}}$ (а); $T_{\text{дн}}$ і T_{13} (б); $T_{\text{н}}$ і $T_{\text{мін}}$ (в).
1 – травень, 2 – червень, 3 – вересень.

тривалість періоду з температурами вище 10 °С і суми денних та нічних температур за ці періоди. Аналітичний спосіб полягає у використанні формули розрахунку дат переходу, які мають вигляд:

$$D_{10} = \frac{k-a}{b-a} \cdot d + 15, \quad (4.35)$$

де D_{10} - дата переходу температури повітря через 10 °С; k - температура переходу, в даному випадку 10 °С; a - середня температура місяця, коли вона менше 10 °С; b - середня температура місяця, коли вона вище 10 °С; d - число днів в місяці з середньою температурою менше 10 °С; 15- коефіцієнт, який відносить отриманий результат до середини місяця.

Розрахунок $N_{дн}, N_{н}, \Sigma T_{дн}, \Sigma T_{н}$ можна виконувати за запропонованим З.А. Міщенко методом, який базується на рівняннях залежності між цими показниками і тривалістю періоду з середньодобовими температурами вище 10 °С (N_c) та сумою середньодобових температур за цей період ($\Sigma T_c \geq 10^\circ\text{C}$). Ці залежності представлені в графічному вигляді на рис. 4.8. Пізніше такі дослідження були виконані Г.В.Ляшенко для території України, результати яких представлені в табл. 4.12 та формулах 4.36- 4.39. Коефіцієнти кореляції складають 0,85-0,92, а похибка рівнянь регресії не перевищує 10 %.

Таблиця 4.12 - Статистичні параметри рівнянь зв'язку між показниками теплових ресурсів дня та ночі ($N_{дн}, N_{н}, \Sigma T_{дн}, \Sigma T_{н}$) і традиційними ($N_c, \Sigma T_c \geq 10^\circ\text{C}$)

Зв'язок	R	ε_R	σ_y	σ_x	\bar{S}_y
$\Sigma T_{дн} \text{ з } \Sigma T_c$	0,92	0,004	476	364	± 175
$\Sigma T_{н} \text{ з } \Sigma T_c$	0,86	0,007	323	364	± 166
$N_{дн} \text{ з } N_c$	0,88	0,009	16,8	11,6	± 10
$N_{н} \text{ з } N_c$	0,85	0,008	14,6	11,6	± 8

$$\Sigma T_{дн} = 1,092 \Sigma T_c + 130,6 \quad (4.36)$$

$$\Sigma T_{н} = 0,955 \Sigma T_c - 472,2 \quad (4.37)$$

$$N_{дн} = 1,10 N_c + 0,4 \quad (4.38)$$

$$N_{н} = 1,10 N_c - 38,5 \quad (4.39)$$

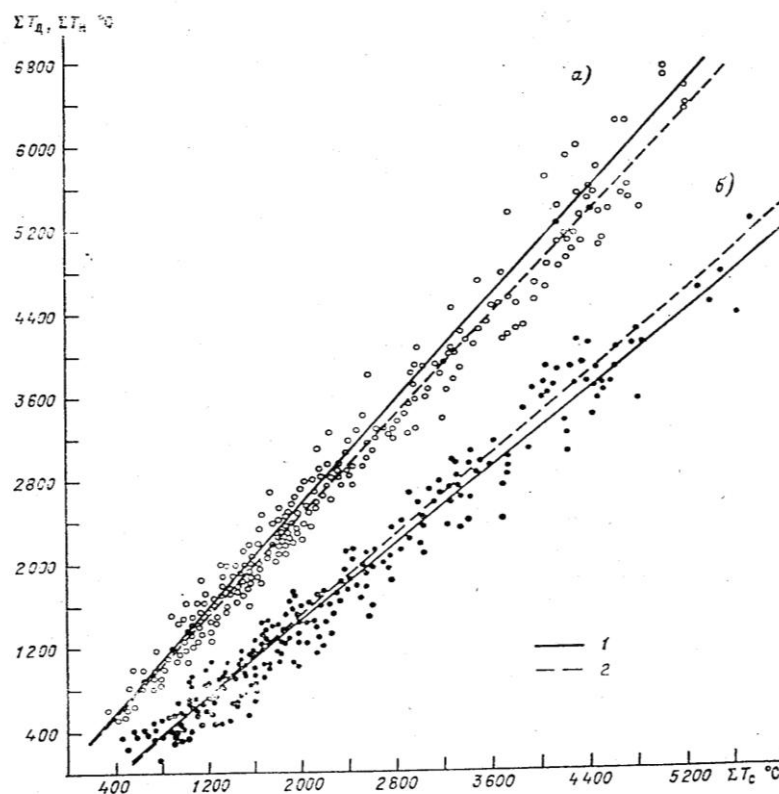


Рисунок - 4.8. Зв'язок між сумами денних та нічних температур з сумами середньодобових температур

Наявність високої тісноти зв'язку $\Sigma T_{\text{дн}}$ з $\Sigma T_{\text{с}}$ та $\Sigma T_{\text{н}}$ з $\Sigma T_{\text{с}}$ не означає, що вказані показники в однаковій мірі відрізняються просторовою мінливістю. Виявлено, що за однакових значень $\Sigma T_{\text{с}}$ і $N_{\text{с}}$ спостерігаються різні величини $\Sigma T_{\text{дн}}$ та $N_{\text{дн}}$, $\Sigma T_{\text{н}}$ та $N_{\text{н}}$. Так, наприклад, за майже однакових сум середньодобових температур повітря на метеостанціях, які розташовані приблизно на одній широті, але різній географічній довготі, тобто в районах з різним ступенем континентальності клімату, суми денних та нічних температур можуть значно відрізнятися. В більш континентальних районах $\Sigma T_{\text{дн}}$ на 200-700 °С більше, а $\Sigma T_{\text{н}}$ на 300-1100 °С менше, ніж в західних і особливо в приморських районах ЄСР.

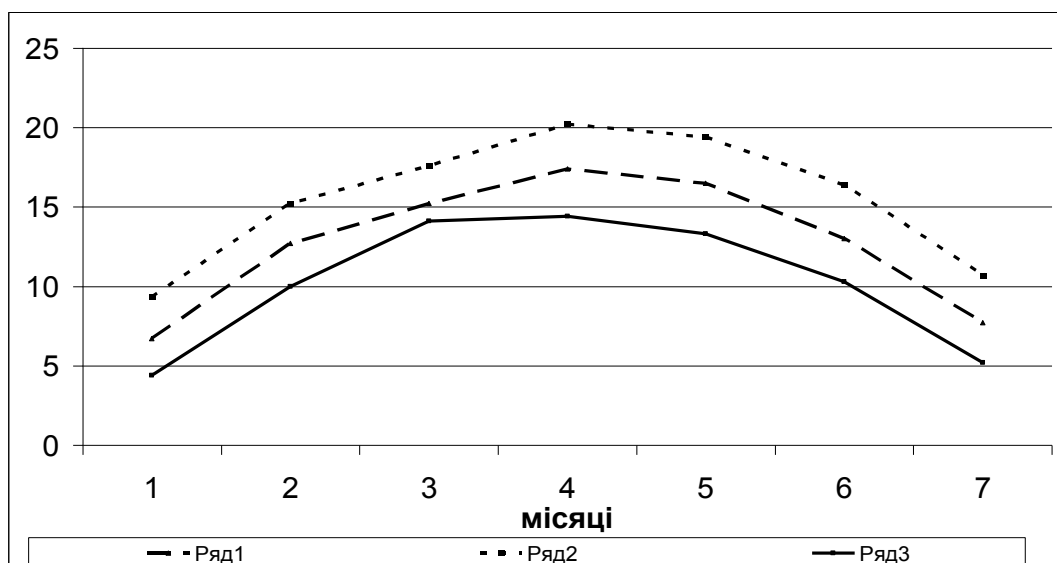
Найменші величини $\Sigma T_{\text{дн}}$ і $\Sigma T_{\text{н}}$ вище 10 °С характерні для північних районів Росії і не перевищують відповідно 400–800 та 100–400 °С. Найбільші ж величини сум денних та нічних температур за період з денними і нічними температурами вище 10 °С спостерігаються в південних районах ЄЧ ЄСР та південно-східних районах Середньої Азії і складають відповідно 6000-6500 та 4000-4500 °С. Сумарний ефект від оцінки теплових ресурсів дня можна виразити надбавкою тепла в

північних районах на 40 %, а в південних районах – на 80 %, порівняно з ΣT_c вище 10 °С. Різниця між ΣT_c та ΣT_n змінюється у зворотному напрямку. В північно-західних районах СРСР ΣT_n приблизно на 50-60 % менша ніж ΣT_c , а в південних районах Середньої Азії – тільки на 15-25 %. Звідси можна зробити головний висновок про те, що застосування $\Sigma T_{дн}$, ΣT_n істотно змінює наші уявлення про ресурси тепла на території СРСР, в тому числі в Україні.

Детальні дослідження термічного режиму і теплових ресурсів з врахуванням добової ритміки, проведенні стосовно території України, дозволили уточнити закономірності і виявити ряд особливостей їх просторового розподілу. Наприклад, відзначаються особливості річного ходу денних, середньодобових і нічних температур за даними метеостанцій, які розміщені з заходу на схід України. На графіках (рис. 4.8а і 4.8б) наочно видно різницю у ході означених температур в західних і східних районах. Відзначається більший діапазон річної мінливості як денних, так і нічних температур в Донецьку порівняно з Львовом, що проявляється у опуклості ломаних. Простежується і більша різниця між $T_{дн}$ та T_n і T_c , особливо у весняні і осінні місяці. Це свідчить про вплив ступеню континентальності клімату, хоча й в дещо меншій мірі, ніж в СРСР, на добову ритміку температур. Детальний аналіз аналогічних графіків по іншим метеостанціях України показав також різницю в річному ході температур в залежності від абсолютної висоти місцевості, близькості водоймищ і, особливо, від форми рельєфу. Різниця в датах переходу як денних, так і нічних температур складає по території України більше місяця, тривалість періоду з денними температурами змінюється від 160 до 205 і більше днів, а з нічними температурами – від 130 і менше до 190 днів.

За місячними величинами середніх денних і нічних температур ($T_{дн}$, T_n) та датами їх переходу через 10 °С весною і восени ($N_{дн}$, ΣT_n) виконано розрахунки сум денних і нічних температур ($\Sigma T_{дн}$ і ΣT_n) повітря за вказаний період. В просторовому розподілі цих сум в Україні на фоні однозначного їх збільшення з півночі на південь країни також простежується вплив ступеню континентальності клімату. На рис. 4.9 представлено гістограму, яка показує збільшення різниці між сумами середніх денних і середніх добових температур (ряд 1) та між сумами середніх добових і середніх нічних температур (ряд 2) з заходу на схід країни. Так, наприклад, різниця між $\Sigma T_{дн}$ і ΣT_c в західних районах складає 380-400, в центральних – 420-430, а у східних районах – 470-490 °С. Різниця між ΣT_n і ΣT_c значно більша і відповідно дорівнює -490,-620, -700 і -750, 820 °С.

а)



б)

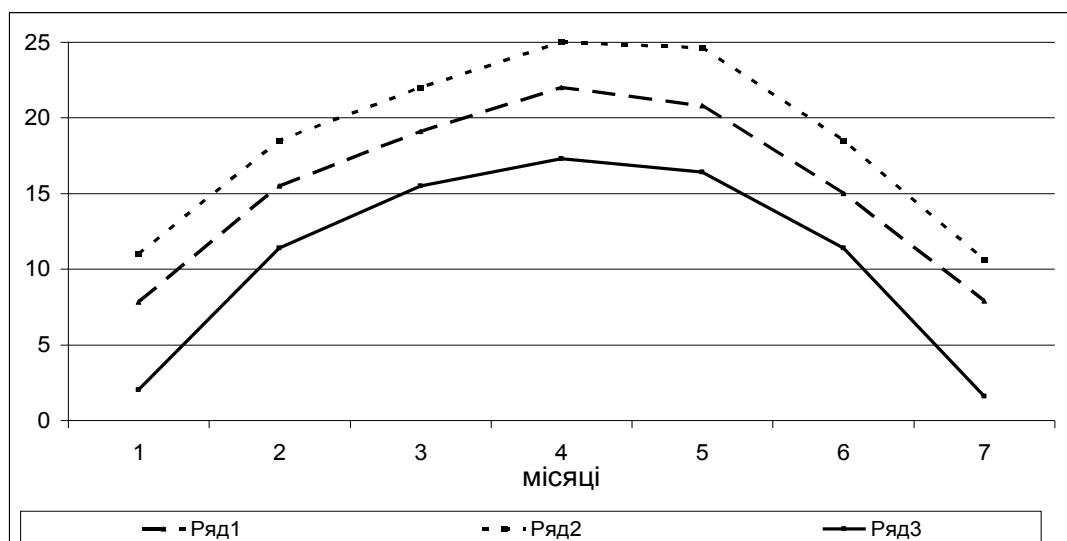


Рисунок 4.8 - Хід температури повітря в теплий період. а - Львів, б – Донецьк. Ряд 1, 2 і 3 – відповідно середньоденна, середньодобова і середньонічна температури; 1-7 – місяці: відповідно квітень, травень, червень, липень, серпень, вересень і жовтень.

Інтегральним біокліматичним показником термоперіодичної реакції живих організмів є добова амплітуда температур A_T , яка зумовлена ходом або ритмом екстремальних температур вдень та вночі. Середні місячні величини A_T розраховуються як різниця між середнім

$\Delta \Sigma T_{\text{дн}}, \Delta \Sigma T_{\text{н}}, ^\circ \text{C}$

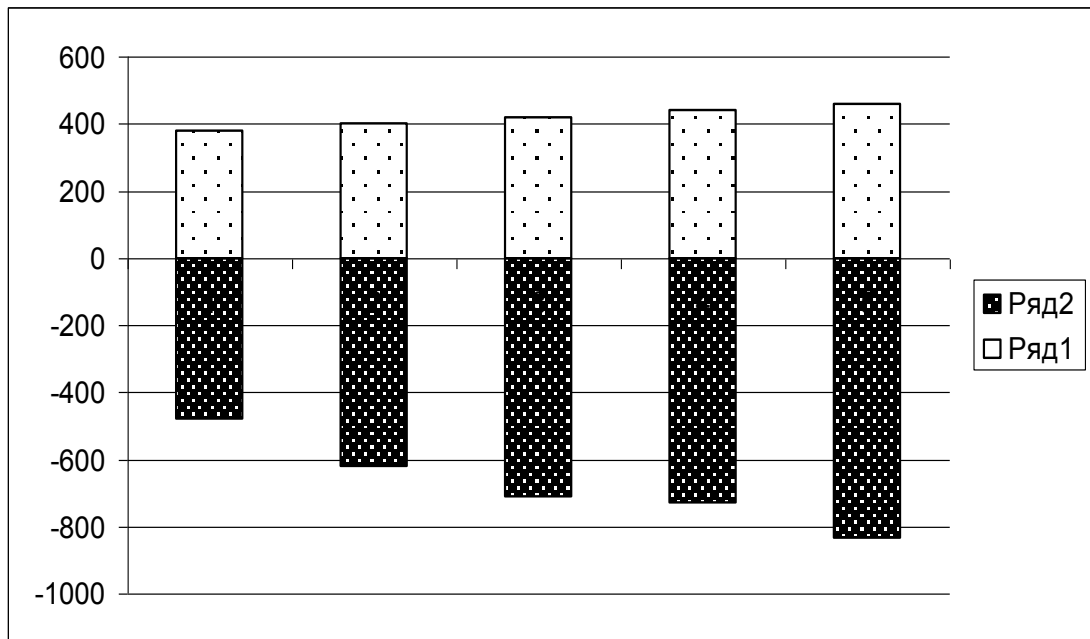


Рисунок 4.9 - Мінливість різниці сум середньоденних і середньодобових температур повітря та різниці сум середньонічних і середньодобових температур. 1- Ковель, 2 – Вінниця, 3 – Гайсин, 4 - Умань, 5 - Луганськ

максимумом \bar{T}_{MAX} і середнім мінімумом \bar{T}_{MIN} температури повітря за конкретний місяць, тобто

$$A_T = \bar{T}_{MAX} - \bar{T}_{MIN}. \quad (4.40)$$

Сумарним показником термічної різниці дня та ночі є різниця між середньоденною і середньонічною температурами повітря $\bar{T}_{\text{дн}} - \bar{T}_{\text{н}}$. Просторовий розподіл $T_{\text{дн}}, T_{\text{н}}$ відрізняється від розподілу середньої добової температури повітря, а повторює розподіл добової амплітуди температур. Це підтверджується наявністю тісної залежності між A_T і різницею $\bar{T}_{\text{дн}} - \bar{T}_{\text{н}}$. Встановлено, що зв'язок $\bar{T}_{\text{дн}} - \bar{T}_{\text{н}}$ з A_T носить лінійний характер, а рівняння регресії для рівнинних земель території СРСР для травня, липня, вересня мають вигляд:

$$(\bar{T}_{\text{дн}} - \bar{T}_{\text{н}}) = 0,90 A_T - 3,6, \quad (4.41)$$

$$(\bar{T}_{\text{дн}} - \bar{T}_{\text{н}}) = 0,95 A_T - 2,8, \quad (4.42)$$

$$(\bar{T}_{\text{дн}} - \bar{T}_{\text{н}}) = 0,98 A_T - 3,6 \quad (4.43)$$

В усі місяці коефіцієнти кореляції залишаються високими ($r \geq 0,90$), а похибки рівнянь регресії малими.

4.3 Методи оцінки ресурсів вологи

Найбільш складною задачею забезпечення агрокліматичною інформацією споживачів є оцінки умов вологозабезпеченості культур. Волога відноситься до основних факторів життя рослин і її функції пов'язані з фізіологічними та фізико-хімічними процесами, в т.ч., фотосинтезом, забезпеченням терморегуляції і переносом елементів живлення. Це зумовлює важливість оцінки умов вологозабезпеченості як співвідношенням вологовимогливості культур і ресурсів вологи на території, ступінь достовірності якої визначається адекватністю цих показників. Безумовно, складність задачі оцінки вологозабезпеченості культури пов'язана з багатофакторністю досліджуваної системи. Це, насамперед, шар повітря, де знаходиться надземна частина рослини, звідки надходить найбільша кількість вологи у ґрунт і рівень зволоження повітря впродовж усієї вегетації. Велике значення має тип і гранулометричний склад ґрунту, які визначають основні його властивості по трансформації вологи у шарі ґрунту, де розміщена підземна частина рослини. Третім фактором виступає сама рослина з властивістю вологопереносу і засвоювання вологи, транспірації.

В фізіології рослин відрізняють зовнішні і внутрішні фактори транспірації, які пов'язані відповідно з властивістю рослин, умовами середовища та агротехнікою вирощування і відрізняються за просторово-часовою мінливістю. В польових умовах сумарні витрати вологи рослинами складаються із транспірації та випаровування з поверхні ґрунту (сумарне випаровування). Сумарні витрати вологи за оптимального вологопостачання рослин не можуть збільшуватися безмежно, так як цей процес пов'язаний з витратами тепла. Будико М.І. стверджував, що максимально можливе випаровування (випаровуваність), яке характеризує випаровування з водної поверхні або за достатнього зволоження ґрунту, обмежується величиною радіаційного балансу.

Складність вирішення проблеми визначення вологозабезпеченості рослин зумовила появу різних методів і способів її вирішення, в т.ч., застосуванні різних показників.

4.3.1 Оцінка вологозабезпеченості рослин за кількістю опадів

В поточний період найбільш поширеним показником, особливо серед аграріїв (як науковців, так і практиків) для оцінювання вологозабезпеченості рослин здійснюють за кількістю опадів, виражених в міліметрах шару води. При цьому, порівнюють поточну кількість опадів у відношенні до середньої багаторічної величини. Середня багаторічна кількість опадів дає уявлення про 50-% забезпеченості опадів. На рис. 4.10 представлена карта території минулого СРСР, де виділено райони з різною середньою багаторічною кількістю опадів – від 100 мм і менше до 2000 мм і більше.

Між тим, важливе значення має інформація про мінливість кількості опадів у часі, найкращим представленням якої є номограми забезпеченості. На рис. 4.11 надана номограма забезпеченості річної кількості опадів в південно-західному регіоні території СРСР, складена О.О.Алексєєвим. На цій номограмі представлена територія з річною кількістю опадів від 160 до 720 мм, а в окремі роки можливе її коливання від 80 до 1040 мм. Так, наприклад, за середньої багаторічної величини річної кількості опадів на рівні 400 мм (що близько для району Одеси), в окремі роки їх кількість змінюється від 200 до 700 мм. Для території з середньою кількістю опадів 640 мм в окремі роки їх кількість може зменшуватися до 360 і збільшуватися до 960 мм. Техніка складання номограм кількості опадів ідентична складанню номограм інших агрокліматичних показників.

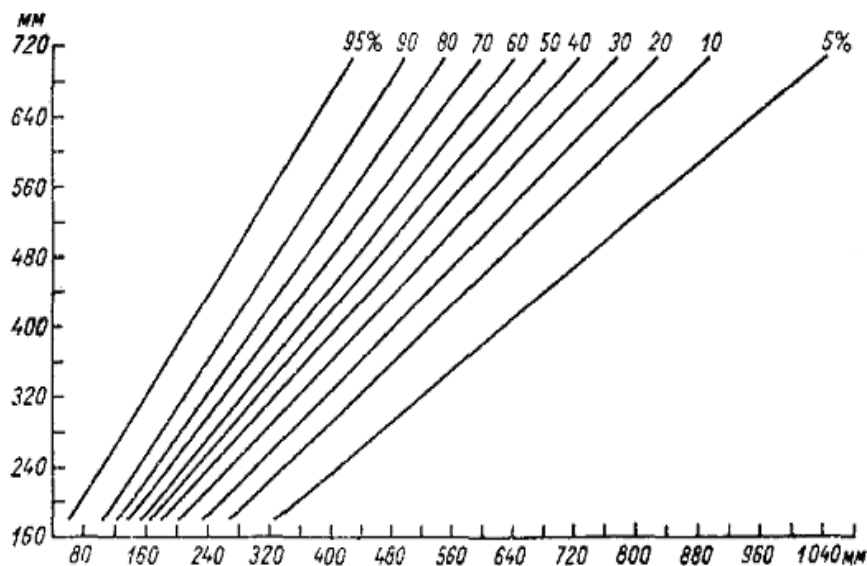


Рисунок 4.11 – Номограма для розрахунку річної кількості опадів різної забезпеченості (%) в південно-західних районах ЄЧ СРСР

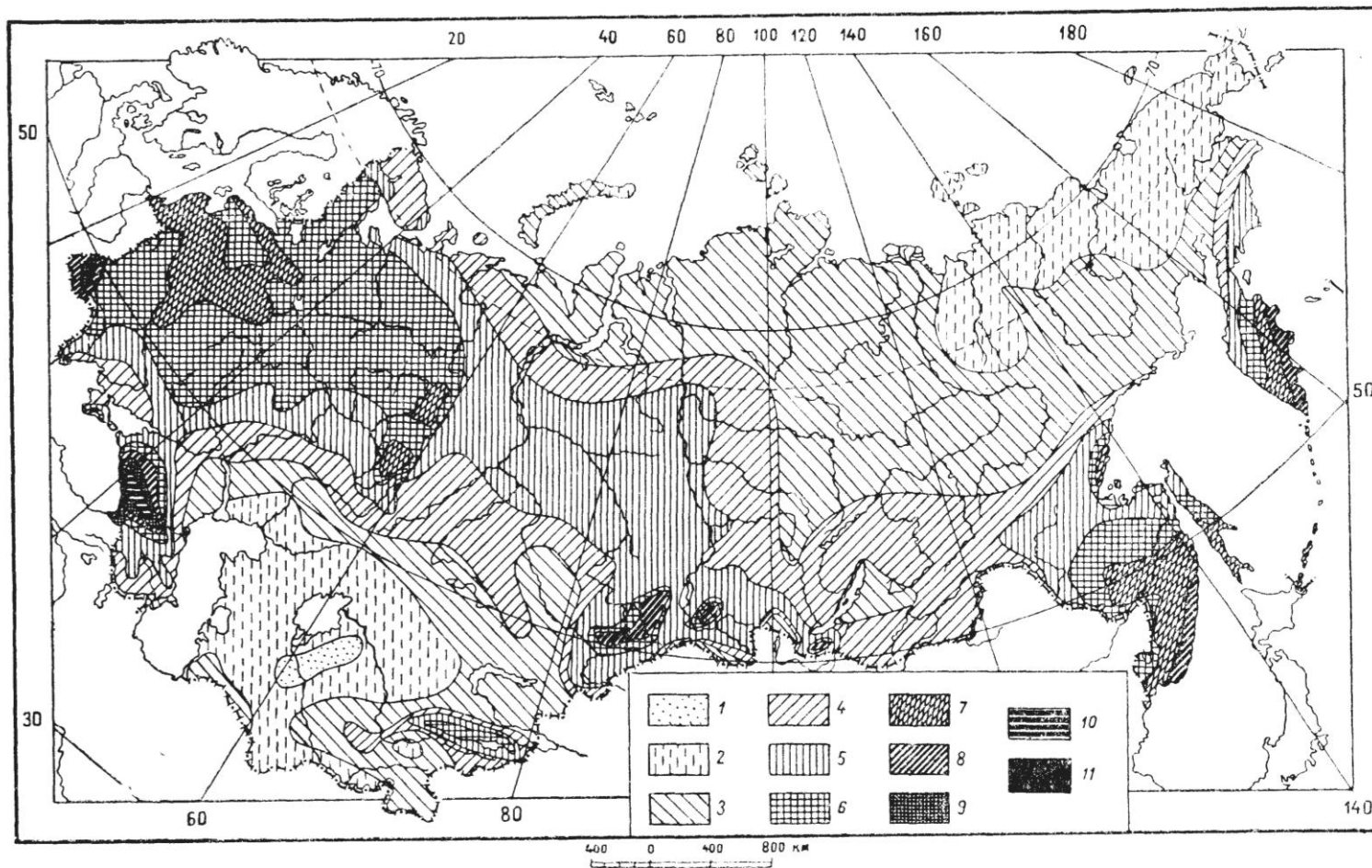


Рисунок 4.10 - Річна кількість опадів на території СРСР.

Райони: 1 – менше 100; 2 – 100-200; 3 – 200-300; 4 – 300-400; 5 – 400-500; 6 – 500-600; 7 – 600-700; 8 – 700-800; 9 – 1000-1500; 10 – 1500-2000; 11- більше 2000.

Відомо, що кількість опадів неоднакова в різні місяці і сезони року, інформація про які має велике значення для споживачів агрометеорологічної інформації – аграріїв. Тому виникає необхідність в складанні номограм сезонної або, найкраще, місячної кількості опадів. На рис. 4.12 (а, б) представлено номограми забезпеченості кількості опадів весною (березень-травень) і літку (червень-серпень), складених О.І.Лебедевим для посушливих районів України. З цих номограм за величинами середньою багаторічною місячної кількості опадів можна визначити їх можливу кількість в окремі роки.

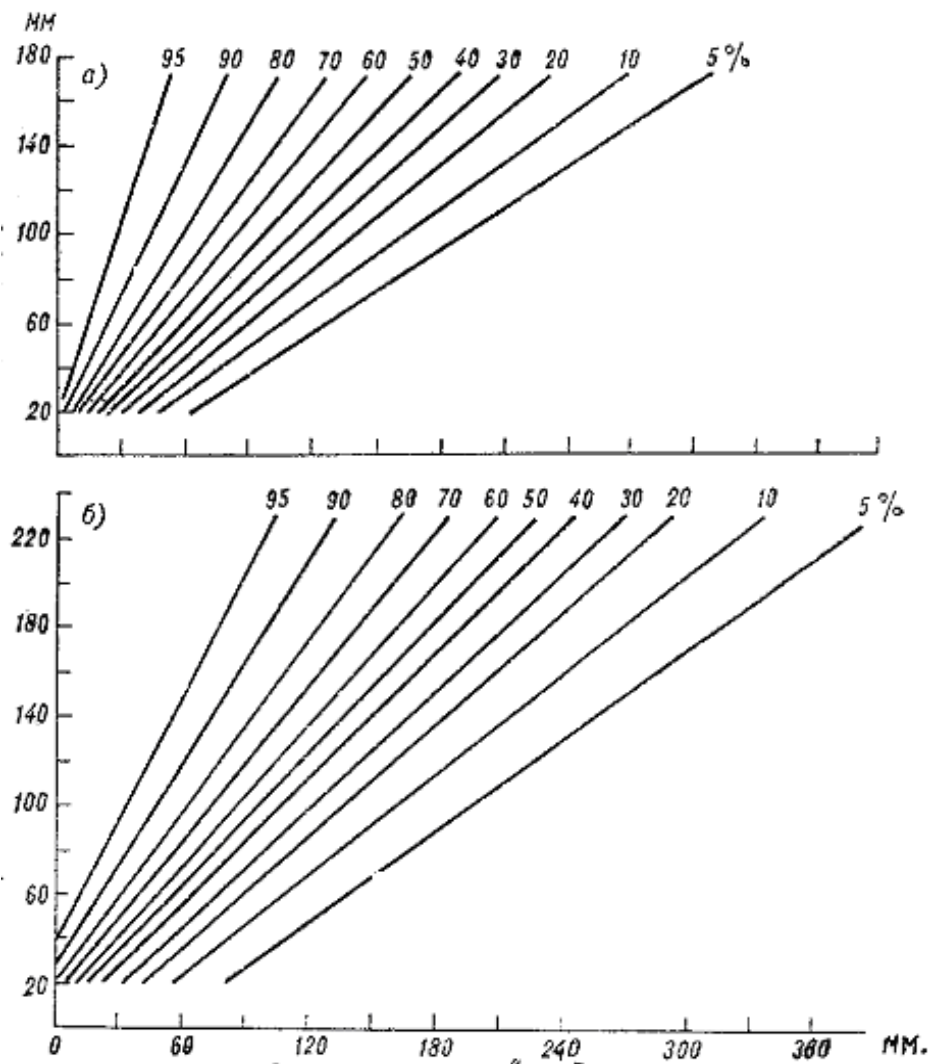


Рисунок 4.12 - Номограми для розрахунку місячної кількості опадів різної забезпеченості в посушливих районах України.
а) березень-травень, б) червень-серпень

Проте характеристика вологозабезпеченості за кількістю опадів не може задовольняти споживачів агрокліматичної інформації, що зумовлено наступним. По-перше, опади є лише однією складовою

водного балансу і характеризують тільки кількість води, яка надходить на земну поверхню або поверхню рослинного покриву з атмосфери. В різних регіонах може відзначатися однакова кількість опадів, проте вологозабезпеченість рослин буде різна. Наприклад, на Кольському півострові випадає стільки ж опадів, скільки й в Узбекистані (350 мм за рік, але на Кольському півострові спостерігається надлишок вологи за нестачі тепла, а в Узбекистані – нестача вологи за надлишку тепла. Вологозабезпеченість рослин в цих регіонах значно відрізняється. Це зумовлює необхідність розробки інших методів оцінки вологозабезпеченості рослин, які б адекватно враховували б вимоги сільськогосподарських культур до вологи і сумарну кількість вологи в діяльному шарі.

4.3.2 Оцінка вологозабезпеченості рослин за емпіричними методами

Емпіричні методи базуються на теоретичному положенні, що водоспоживання рослин визначається біологічною особливістю конкретного сорту рослини і погодними умовами. Погодні умови характеризуються сонячною радіацією, температурою повітря, дефіцитом насичення водяної пари в повітрі тощо. Деякі дослідники пропонували розраховувати потребу рослин у волозі за середньою добовою температурою повітря або за сумою середніх добових температур за певний проміжок часу. Так, І.О. Шаров запропонував розраховувати оптимальне водоспоживання культур E_0 за формулою:

$$E_0 = e \sum T + 4b, \quad (4.44)$$

де $\sum T$ – сума температур повітря за період вегетації; e – коефіцієнт водоспоживання культури, розрахованої на 1 °С; b – число днів вегетаційного періоду конкретної культури

Згідно із М.М. Іванова оптимальне водоспоживання культури можна розраховувати за такою формулою:

$$E_0 = 0,0018(T_B + 25)^2 \cdot (100 - h), \quad (4.45)$$

де T_B - середня місячна температура повітря; h – середня місячна відносна вологість повітря; E_0 – випаровуваність (мм в місяць)

Температуру повітря для розрахунку оптимального водоспоживання культур пропонували використовувати також

Г.К. Льгов, Д.О. Штойко, Б.Б. Ципріс та ін. Блейні, Джонсон, Пенман, Торнтвейн, Тюрк пропонують використовувати температуру повітря, теплобалансовий індекс, сумарну сонячну радіацію, тривалість сонячного сяйва і опади.

Широкого застосування для оцінки оптимальних умов водоспоживання (максимального випаровування) набув біофізичний метод О.М. Алпатьєва. Показником клімату, що визначає величину оптимального водоспоживання (оптимального сумарного випаровування), він пропонує вважати сумарний за певний період дефіцит насичення водяної пари повітря. Врахування ритму водоспоживання, хід накопичення біомаси і якісної зміни рослин здійснюється через біологічний коефіцієнт водоспоживання K_B . Формула розрахунку має вигляд:

$$E_o = K_B \cdot \sum d, \quad (4.46)$$

де E_o – потреба рослин у волозі, фізичним аналогом якої є сумарне випаровування за оптимального режиму зволоження, (мм); K_B – біологічний коефіцієнт (безрозмірна величина); $\sum d$ – сума дефіцитів насичення водяної пари (мм або ГПа).

Розрахунки показали, що біологічні коефіцієнти змінюються в залежності від ґрунтово-кліматичних умов та особливості водоспоживання рослин впродовж вегетації. Характер зміни біологічних коефіцієнтів впродовж вегетації конкретної культури називається кривою вологоспоживання. Наочно видно (табл.4.13), що величина K_B істотно змінюється впродовж вегетаційного періоду різних культур – від 0,4-0,5 на початку розвитку до 0,7-0,9 в період максимального вологоспоживання (п'ята декада) з наступним зменшення в кінці розвитку до 0,-0,6. Зважаючи на вплив ґрунтово-кліматичних ці коефіцієнти були визначені для різних культур в зональному розрізі. Умови зволоження вважаються оптимальними, коли різниця між фактичним і оптимальним випаровуванням ($E - E_o$) не перевищує ± 50 мм. Коли різниця $E - E_o$ менше -50 мм або більше 50 мм умови и умовами зволоження відносять до зон з достатнім, недостатнім і надмірним зволоженням.

Вологозабезпеченість розраховується як відношення фактичного і оптимального вологоспоживання або випаровування і випаровуваності:

$$V_k = \frac{E}{E_o} \cdot 100\%, \quad (4.48)$$

де V_k – вологозабезпеченість конкретної культури, у відсотках.

Таблиця 4.13 – Біологічні коефіцієнти (K_B) вологоспоживання

№ декади від сходів	Біологічний коефіцієнт водоспоживання K_B			
	ярих культур в лісовій зоні	ярих культур в степовій зоні	соняшника в степовій зоні	бульби в степовій зоні
1	0,5	0,5	0,4	0,5
2	0,6	0,6	0,5	0,6
3	0,7	0,7	0,6	0,7
4	0,7	0,8	0,7	0,7
5	0,7	0,9	0,8	0,7
6	0,7	0,8	0,8	0,7
7	0,6	0,8	0,7	0,6
8	0,5	0,6	0,6	0,6
9	–	0,5	0,4	0,6

Треба відзначити, що всі розглянуті методи розрахунків мають один і той же недолік – в них не враховується надходження вологи до кореневого шару ґрунту за рахунок ґрунтових вод. Тому результати будуть надійними тільки за умови їх глибокого залягання. Також застосування методу Алпатьяєва має надійні результати й за умови коректно визначених біологічних коефіцієнтів.

4.3.3 Оцінка вологозабезпеченості рослин за теоретичними методами

В наукових дослідженнях та при розробці методологічних підходів оцінки умов вологозабезпеченості виникає потреба у застосуванні значної кількості різних фізіологічних, біологічних та фізичних показників і констант, визначення яких пов'язане зі значною складністю. Проте використання навіть загальних теоретичних положень та їх наближене обчислення значно підвищує кінцевий результат – визначення вологозабезпеченості сільськогосподарських культур.

До теоретичних методів відноситься комплексний метод, розроблений М.І. Будико, за якого розділяють випарування за двох видів зволоження ґрунту. В першому випадку випаровування відбувається з достатньо зволоженого ґрунту і близьке до випаровуваності. В другому випадку випаровування розглядається за зволоження нижче критичного, а випаровування буде значно менше випаровуваності. Оптимальне водоспоживання (потреба рослин у воді) М.І. Будико ототожнює з потенційною можливістю випаровування,

тобто з випаровуваністю. Встановлено, що величина можливого випаровування за оптимального зволоження ґрунту пропорційна дефіциту насичення водяної пари і розраховується за температурою повітря. Формула розрахунку випаровування має вигляд:

$$E_0 = \rho D(q_s - q), \quad (4.49)$$

де ρ – щільність повітря; D – інтегральний коефіцієнт дифузії; q_s – питома вологість насиченого водяною паром, яка розраховується за температурою випарної поверхні; q – питома вологість повітря в психрометричній будці.

Найскладніше проводити розрахунки величини q_s за температурою випарної поверхні. При вирішенні цієї задачі використовується два рівняння: теплового балансу і Магнуса, а розрахунок випаровуваності за методом М.І. Будико здійснюється за величинами радіаційного балансу, теплообміну, температури, вологості повітря і коефіцієнту дифузії. Л.І. Зубенко, розвиваючи метод М.І. Будико, вивела модифіковану формулу, за якою величина випаровуваності визначається для кожного місяця за середнім місячним дефіцитом насичення водяної пари, який, в свою чергу, розраховується за температурою повітря з врахуванням поправки на особливості ґрунтово-кліматичних умов (тундра, ліс, лісостеп, степ). Розрахунок сумарного випаровування за вологозапасами нижче критичних здійснюється за формулою:

$$E = E_0 \frac{W_H + W_K}{2W_o}, \quad (4.50)$$

де E – випаровування, яке відповідає вологоспоживанню за нормальних природних умов, мм; E_0 – випаровуваність, мм; W_H і W_K – запаси вологи у ґрунті на початок і кінець розрахункового періоду; W_o – критичні запаси вологи у метровому шарі ґрунту, які складають 70% найменшої польової вологості (НВ).

При розрахунках за спрощеним рівнянням водного балансу стік води не приймається до уваги. За запропонованими формулами Л.І. Зубенко виконано розрахунки випаровування і випаровуваності та складено карти E, E_0 за рік і роздільно за місяці з березня до жовтня для території суші земного шару. Нею також виконано розрахунки дефіциту випаровування у вигляді різниці $E_0 - E$ і відносного випаровування E/E_0 та складено карти розподілу цих показників на суші земного шару.

За комплексним методом ресурси вологи можна визначати як різницю між оптимальним і фактичним випаровуванням – $E_0 - E$. Ця величина за додатного знаку являє собою кліматичну норму зрошення (за умови середніх багаторічних даних). Для порівняння умов зволоження різних територій доцільно застосовувати E/E_0 як відносний показник вологозабезпеченості. Для території минулого СРСР показник відносного зволоження за рік змінюється від 0,9 в північних районах Росії, Нечорноземній зоні і Західного Сибіру до 0,5 – в південних районах України і Молдови і до 0,1 в південних районах Середньої Азії. В липні на значній території Росії, крім Західного Сибіру, величина E/E_0 перевищує 0,7. На півдні Молдови і України вологозабезпеченість знижується до 0,3, а на півдні Казахстану і в середньоазійських країнах – до 0,1 (рис. 4.13).

Треба зазначити, що цей показник має широке застосування не тільки для характеристики умов зволоження, а й при визначенні зв'язку між врожайністю сільськогосподарських культур і умовами зволоження територій. Його також застосовують в різних моделях формування продуктивності сільськогосподарських культур. Як підсумок треба відзначити, що комплексний метод Будико є найбільш фізично обґрунтованим. До його недоліків треба віднести відсутність врахування водно-фізичних властивостей ґрунтів. Крім того, певна похибка при застосуванні методу зумовлена відсутністю даних з величини коефіцієнта турбулентної дифузії для різних фітоценозів і погодних умов. До методів, які базуються на теоретичних положеннях, відносять метод С.І. Марченко. За цим методом розрахунок оптимального водоспоживання виконується із використанням показників водного і теплового балансів за формулою вигляду:

$$E_{OP} = \frac{\beta(R_O - P_O)W_{hн.в.}}{z\gamma}, \quad (4.51)$$

де R_O – радіаційний баланс; P_O – потік тепла у ґрунт; z – прихована теплота випаровування; $W_{hн.в.}$ – запаси вологи в розрахунковому шарі ґрунту за найменшої вологості; γ – параметр, який розраховується як різниця між найменшою вологостістю і вологістю в'янення; β – коефіцієнт, який залежить від фази розвитку рослин і стану діяльної поверхні.

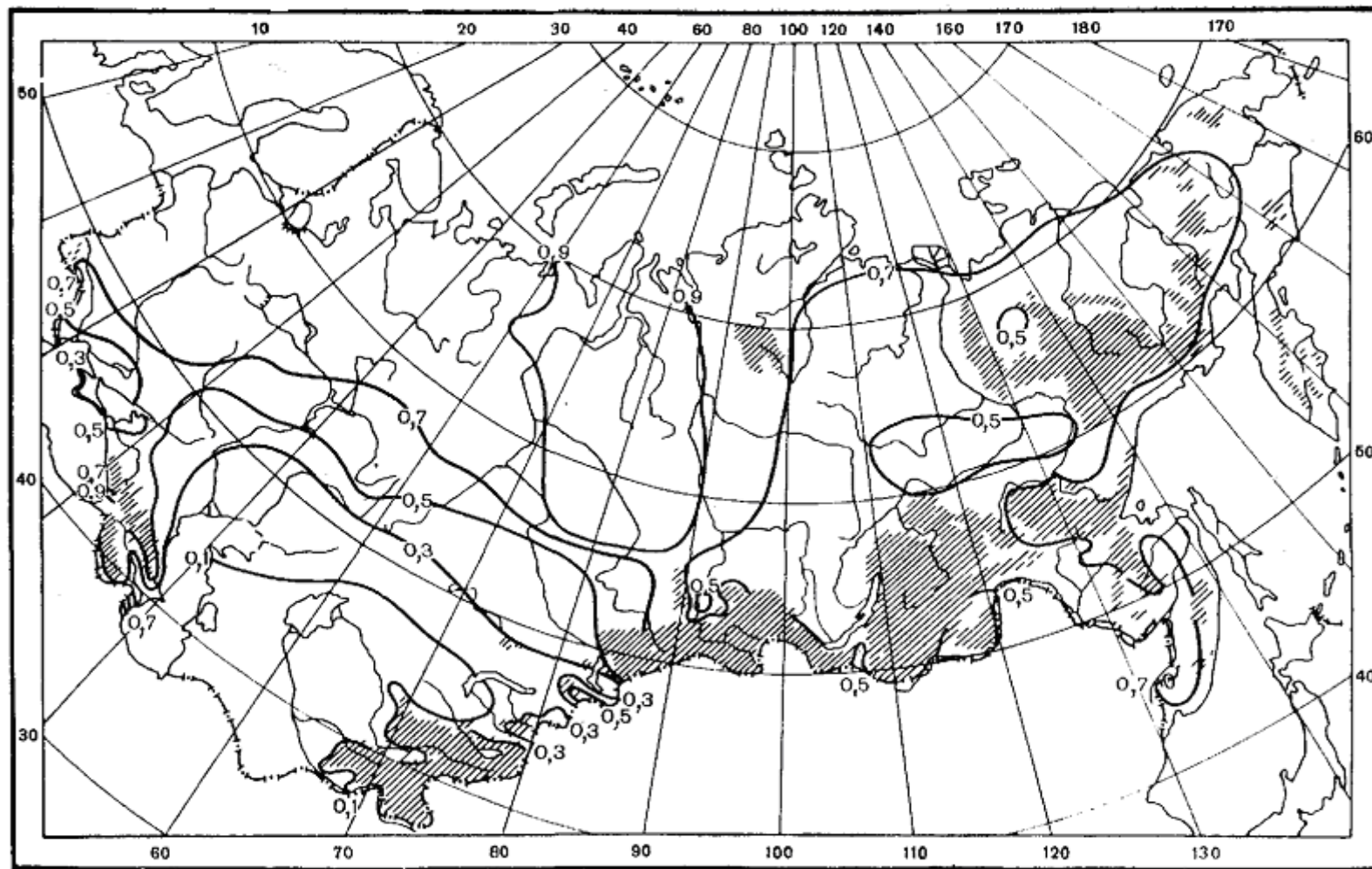


Рисунок 4.13 - Середнє місячне відносне випаровування (E/E_0) в липні на території СРСР

Показником зволоження за цим методом пропонується використовувати коефіцієнт вологозабезпеченості η , який характеризує відношення водного балансу у кореновому шарі ґрунту до оптимального водоспоживання (випаровування):

$$\eta = \frac{X + (W_{hн} - W_{hk}) + K_h - I_h - I_{нов}}{E_{он}} \quad (4.52)$$

де X – атмосферні опади; $W_{hн}$ и W_{hk} – вологозапаси на початок і кінець розрахункового періоду у шарі ґрунту h ; K_h – надходження води за рахунок висхідного потоку капілярної, плівкової і пароподібної води або надходження води за рахунок ґрунтових вод; I_h – інфільтрація води (витрати води за рахунок низхідного потоку; $I_{нов}$ – поверхневий стік; $E_{он}$ – оптимальне водоспоживання культури.

За глибокого залягання ґрунтових вод (4-5 м та глибше), коли елементи вологообміну по вертикалі K_h і I_h можна вважати рівними нулю, розрахунок коефіцієнту вологоспоживання спрощується:

$$\eta = \frac{X + (W_{hн} - W_{hk}) - I_{нов}}{E_{он}} \quad (4.53)$$

Перевага цього методу полягає у врахуванні вологообміну по вертикалі, особливо величин K_h і I_h , що дуже важливо для визначення вологозабезпеченості за короткі інтервали часу і за неглибокого залягання ґрунтових вод. За методом С.І. Харченко крім коефіцієнта вологозабезпеченості визначається середня багаторічна величина нестачі водоспоживання для сільськогосподарських культур, які вирощуються на півдні ЄЧ СРСР, в Казахстані і Західному Сибіру. Під цим терміном він розумів нестачу води у кореновому шарі ґрунту до величини оптимального випаровування (водоспоживання). Надалі за характеристикою нестачі водоспоживання в середньосухі кліматичні роки Харченко С.І. складено карти розподілу величин 25%-вої забезпеченості. На підставі встановлених залежностей врожаю ряду культур від нестачі водоспоживання запропонована методика розрахунку основних параметрів зрошувальних систем та визначено диференційні норми зрошення. В цілому, розглянутий метод має добрі результати, але відзначається значною трудомісткістю і вимагає обчислення значної кількості показників з високою точністю. Найбільша складність відзначається при визначенні показника β , який враховує фазу конкретної культури і стан ділячної поверхні.

До методів розрахунку вологозабезпеченості культур теоретичного напрямку відноситься метод, запропонований О.Р.Константиновим. За цим методом вологозабезпеченість також визначається як різниця між випаровуваністю і фактичним водоспоживанням $E_0 - E$, але розрахунок фактичного випаровування здійснюється за градієнтними даними. При складанні емпіричних залежностей, автор замінив величини градієнтів швидкості вітру, температури і вологості повітря температурою T_B і пружністю водяної пари e , які виміряні на висоті психрометричної будки. За цими даними визначено фактичне випаровування луків, які оточують майже всі метеорологічні станції.

Розрахунок випаровування з конкретного сільськогосподарського поля виконується за введеними відносними показниками, які одержані О.Р. Константиновим при паралельних градієнтних спостереженнях на метеорологічних станціях та на полях з зерновими культурами. Для визначення цих показників були складені графіки залежності – графіки переходу від величин випаровування з луків до величин випаровування з сільськогосподарського поля. Під випаровуваністю автор, як й інші дослідники, вважає максимально можливе випаровування з максимально зволоженого сільськогосподарського поля. Випаровуваність за оптимальних вологозапасів ґрунту, зімкнутого травостою в період активної вегетації рослин близькі. Доведена ідентичність величин випаровуваності різних підстильних поверхонь (поле з паром, сільськогосподарськими культурами, водоймами) за умови значних розмірів випарної поверхні і оптимального зволоження ґрунту. Базуючись на цих положеннях та використовуючи дані по оптимальному випаровуванні різних культур (кукурудзи, конюшини, бульби тощо) було складено графіки випаровуваності.

Вологозабезпеченість територій виконувалася за величиною дефіциту випаровування у вигляді різниці $E_0 - E$. Даний метод відрізняється простотою визначення вологозабезпеченості культур, так як для якого застосування в наявності велика кількість матеріалів спостережень за температурою та пружністю водяної пари на мережі метеорологічних станцій. Недоліки методу полягають у застосуванні графіків, що зумовлює значний суб'єктивізм у визначенні дефіциту вологозабезпеченості.

4.3.4. Оцінка вологозабезпеченості за умовними показниками зволоження

Дослідниками було запропоновано умовні показники зволоження, які представлені у вигляді коефіцієнтів або індексів, що являють собою відношення прихідної і витратної частин вологи, визначених у той чи

інший спосіб. Більша частина запропонованих показників до прихідної частини відносить кількість опадів, а витратна частина розраховується за сумою температур або сумарного дефіциту насичення водяної пари. Найбільшого поширення набули гідротермічний коефіцієнт (*ГТК*) Г.Т.Селянінова, показник зволоження Д.І. Шашко (*Мд*) і індекс сухості М.І.Будико.

Розрахунок *ГТК* в цілому за теплий період (період з температурою повітря з температурою вище 10 °С) виконується за формулою:

$$ГТК = \frac{\sum r}{\sum T_c : 10} \quad (4.54)$$

де $\sum r$ – кількість опадів за теплий період; $\sum T_c$ – сума середньодобових температур повітря вище 10 °С з коефіцієнтом 0,1, яка умовно характеризує випаровуваність.

За результатами виконаних розрахунків Селяніновим Г.Т. складено карту розподілу *ГТК* на земному шарі, а також карту розподілу середніх багаторічних величин *ГТК* за травень-липень на території СРСР (рис.4.14). Виявлено, що величина *ГТК* зменшується з півночі і північного заходу на південь і південний схід від 1,6 до 0,2 і менше. Встановлено значну стійкість коефіцієнта за природними зонами та географічної межі поширення різних видів сільськогосподарських культур. Наприклад, межа лісу і степу співпадають з ізолінією *ГТК* 1,0, північна межа пустелі – з ізолінією 0,5 тощо. Гідротермічний коефіцієнт 2,0 і більше характеризує умови надмірного зволоження, 1,5 – умови оптимального зволоження, 1,0 – недостатнього зволоження, 0,7 – умови нестійкого землеробства, 0,5 і менше – дуже суху зону, де для вирощування сільськогосподарських культур обов'язкове зрошення. В окремі роки умови зволоження за величиною *ГТК* можуть значно відрізнятися від середніх багаторічних.

У зв'язку із важливістю інформації про умови зволоження для оцінки вологозабезпеченості необхідно виконувати розрахунок мінливості величин показника впродовж довгого періоду і імовірність та забезпеченість окремих його величин. В табл. 4.14 надано величини сумарної імовірності (забезпеченості) гідротермічного коефіцієнта за певної середньої багаторічної величини, що дозволяє оцінювати, поряд з часовою, його просторову мінливість. Наприклад, за середньої багаторічної величини *ГТК* 1,2, на 90% (в 9 роках із десяти) забезпечена величина не нижче 0,7 і тільки в один рік із десяти величина може перевищити 1,8. За середньобагаторічної величини *ГТК* 2,0 відповідна забезпеченість (90 і 10%) вже складає 1,3 та 3,2.

Таблиця 4.14 - Забезпеченість величин *ГТК* в окремі роки

<i>ГТК</i> (середня)	Забезпеченість, %						
	100	90	75	50	25	10	1
0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,6
0,8	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,5	2,0
1,0	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,5
1,2	0,4	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	3,0
1,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	3,5
2,0	0,8	1,3	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0
2,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0

Детальний аналіз результатів розрахунків *ГТК* свідчить, що із збільшенням величини середньобагаторічної величини зростає і діапазон їх мінливості, особливо для малої забезпеченості. Деякі дослідники величину *ГТК* використовували як показник вологозабезпеченості для визначення врожайності сільськогосподарських культур. П.І. Колосков і В.О. Смирнова отримали результати залежності врожаю ярої пшениці від *ГТК* за квітень-червень (табл.4.15). Врожайність пшениці надається в балах, які одержані шляхом перерахунку їх як частки від максимально можливої. Наведена інформація про балову оцінку врожайності в залежності від величини *ГТК* можна застосовувати в інших випадках, в т.ч., для визначення балу врожайності за різних величин *ГТК*, наведених в табл.4.14.

Таблиця 4.15 - Мінливість врожайності ярої пшениці в залежності від величини *ГТК* за квітень-червень

<i>ГТК</i> (1У-У1)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Врожай (бали)	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0

Шашко Д.І. запропоновану показник зволоження, який розраховується за формулою:

$$Md = P / \sum d, \quad (4.55)$$

де P – опади за рік; $\sum d$ – сума середніх добових дефіцитів насичення водяної пари, тісно зв'язаних з величиною випаровування, за рік.

Величина Md 0,45 вказує на повну відповідність прихідної (опадів) і витратної (випаровування) частин водного балансу. За величини Md

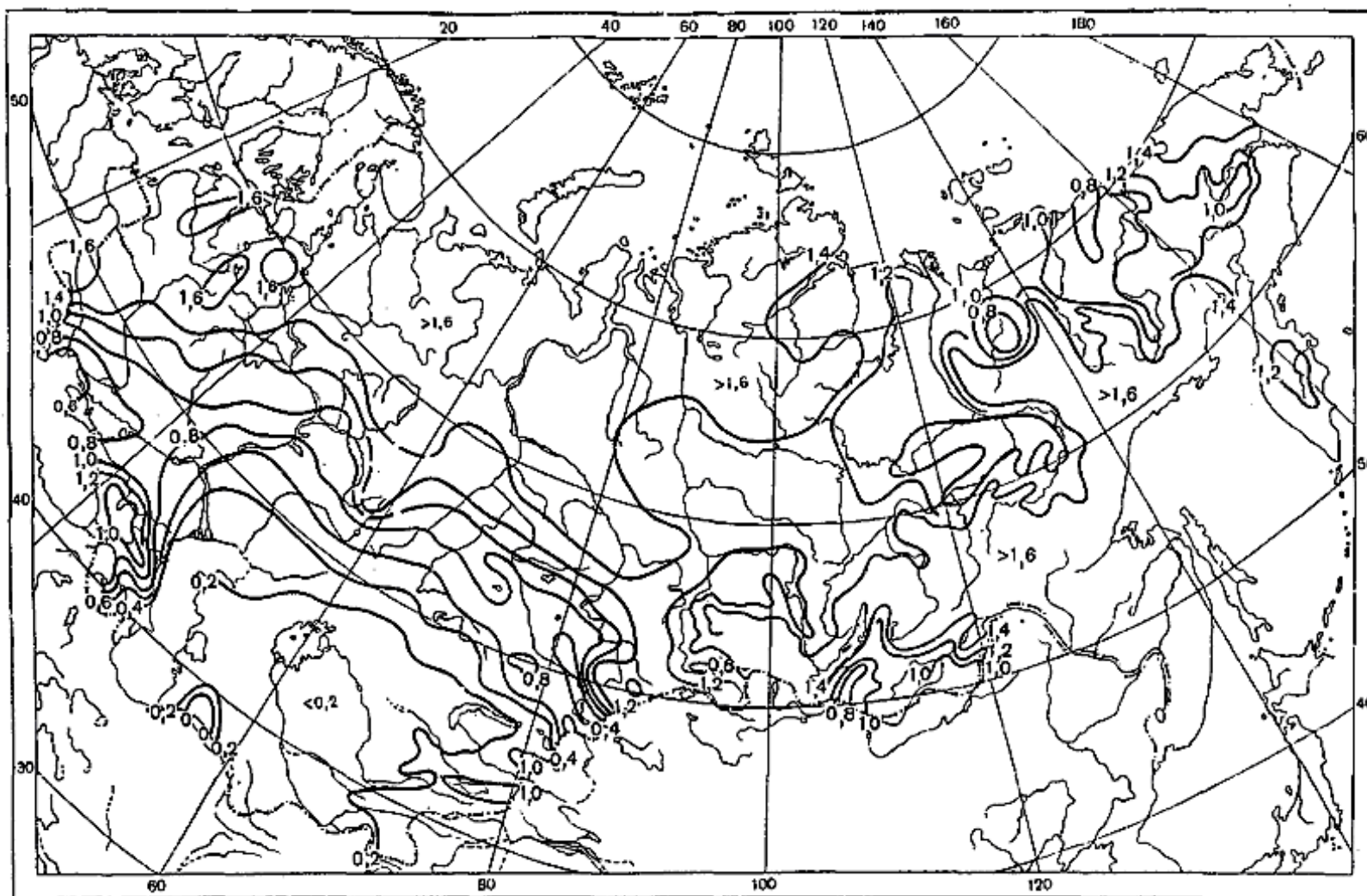


Рисунок 4.14 - Географічний розподіл ГТК на території СРСР за травень-липень (за Г.Т.Селяніновим)

більше 0,45 опади перевищують випаровування; за Md більше 0,60 формуються умови надмірного зволоження, за Md менше 0,45 відзначаються умови недостатнього зволоження, а за Md менше 0,15 – відзначаються дуже сухі умови.

В географічній науці, в т.ч. кліматології, для оцінки умов зволоження набув значного поширення показник зволоження Будико М.І. – радіаційний індекс сухості, який визначається за формулою:

$$I_c = \frac{R}{Lr}, \quad (4.56)$$

де R – радіаційний баланс підстильної поверхні; L – прихована теплота випаровування; r – річна кількість опадів.

Застосування цього показника ускладнене обмеженістю даних з радіаційного балансу. Проте М.І.Будико запропонував. для поповнення даних з радіаційного балансу, виконувати його розрахунки для підстильної поверхні за величиною сум температур вище 10 °С. Показник I_c є найбільш фізично обґрунтованим.

Відомий для визначення зволоження територій відносний показник зволоження, запропонований М.І.Івановим і застосований Е.Л.Хершковичем для агрокліматичного районування території Східної Європи стосовно до розміщення бульби. Формула розрахунку цього показника має вигляд:

$$K_y = P / f \quad (4.57)$$

де P – опади за рік, мм; f – випаровуваність за рік в мм, визначена за величиною з поверхні водойм (озер).

П.І. Колосков запропонував при визначенні умов зволоження території в інтегральний показник вводити інформацію не тільки про вологість повітря, а й вологість ґрунту:

$$W = K \frac{P}{(E - e)}, \quad (4.58)$$

де P – кількість опадів; $E - e$ – дефіцит насичення водяної пари; K – коефіцієнт пропорційності, який враховує вологість ґрунту.

Саме складність визначення коефіцієнта пропорційності за вологістю ґрунту й обмежує широке використання цього інтегрального показника.

Відомі також показник сухості В.П. Попова та різні індекси зволоження, запропоновані В.С. Мезенцевим, Х.П. Блейні, У.Д. Крідла, У.У. Тортвейнта та Л. Пенмана. Але через складність визначення різних емпіричних коефіцієнтів і параметрів, що входять до формул розрахунку індексів, вони не знайшли поширення для вирішення агрокліматичних задач оцінки вологозабезпеченості сільськогосподарських культур.

Із перелічених показників зволоження найбільшого поширення для вирішення агрокліматичних задач набули показники Селянінова Г.Т.,

Шашко Д.І. та Будико М.І., але й вони мають низку недоліків, що вимагає постійної їх перевірки та уточнення. Так, наприклад, в ГТК Селянінова не враховуються вологозапаси на весну, що зумовлює зменшення величини показника. Інший недолік пов'язаний з тим, що випаровуваність базується тільки на врахуванні температури повітря, хоча для більшої частини території більш ефективним було б використовувати дефіцит насичення водяної пари. Показник зволоження Шашко Md також вимагає уточнення введенням коректуючих поправок на річний хід опадів, так як опади в холодний і теплий періоди року чинять неоднаковий вплив на формування режиму зволоження і, як наслідок, умови вологозабезпеченості культур. Крім того, цей показник через врахування річної кількості опадів відрізняється певною стійкістю у часі і не відбиває усього спектру мінливості умов зволоження впродовж вегетаційного періоду в окремі роки. Майже всі показники зволоження в значній мірі орієнтовані на врахування зволоження повітря, що може бути ефективним за необмеженого зволоження ґрунту. В інших умовах вони мають значну похибку.

Цих недоліків не має коефіцієнт зволоження С.А. Сапожнікової $KУ$, який визначається за формулою:

$$KУ = \frac{W + P_B}{\gamma \sum T \geq 10^{\circ} C}, \quad (4.59)$$

де, W – вологість ґрунту, розрахована за опадами в зимово-весняний (до початку вегетації культур) період; P_B – опади за теплий період з температурою повітря вище $10^{\circ} C$; γ – коефіцієнт, який переводить $\sum T \geq 10^{\circ} C$ у випаровуваність за відношенням $\sum T$ і $\sum (E - e)$ з врахуванням мінливості цього співвідношення в різних природних умовах.

Проте до сьогодення часу відомі дослідження, присвячені визначенню W , γ і $KУ$ для оцінки умов зволоження тільки стосовно кукурудзи, озимої пшениці, цукрового буряку і соняшника.

4.3.5 Оцінка вологозабезпеченості рослин за вологозапасами у ґрунті

Процеси життєдіяльності рослин і формування їх врожайності в значній мірі визначається за достатньої кількості продуктивної вологи у кореневому шарі ґрунту. Продуктивні вологозапаси складає така кількість вологи у ґрунті, вміст якої перевищує вологість стійкого в'янення і яка приймає участь у формуванні органічної речовини. Для переводу вологості ґрунту, вираженої у відсотках, в мм продуктивної вологи застосовують формулу:

$$W_{np} = 0,1 d h (W - K), \quad (4.60)$$

де W_{np} – запаси продуктивної вологи, мм; d – об'ємна маса ґрунту, г/см³; h – товща шару ґрунту, см; W – вологість ґрунту (у % від маси абсолютно сухого

грунту) у шарі, для якого виконуються розрахунки; K – вологість стійкого в'янення; 0,1 – коефіцієнт для переведення запасів води в мм водяного шару.

Продуктивна вода є інтегральним показником, який включає опади, стік, водообмін у вертикальному напрямку, випаровування, являє собою комплексний показник взаємодії біологічних особливостей культури, погодних і ґрунтових умов та агротехнічних заходів. Це найважливіший й найефективніший показник доступної для рослин води. По відношенню до рослин ґрунтова вода, згідно із методикою О.О.Роде, поділяється на п'ять категорій, які об'єднані в дві групи:

- а) непродуктивна вода (1-а і 2-а категорії);
- б) продуктивна вода (3-5-а категорії). Межею доступності води для рослин є вологість в'янення.

Продуктивну воду метрового або орного шару ґрунту, як комплексний агрокліматичний показник зволоження, використовують для характеристики показник зволоження, використовують для для характеристики умов забезпеченості рослин водою в онтогенезі; початкових водозапасів весною і кінцевих – восени; критичного по відношенню до води періоду життя рослин. Співставлення фактичних запасів продуктивної води у кореновому шарі ґрунту з потребою рослин у воді дозволяє виконати агрокліматичну оцінку водозабезпеченості культур. Весняні запаси води в ґрунті (у шарі 0-100 см) оцінюють стосовно величині найменшої польової водоемності (НВ). Для значної частини степових і лісостепових районів на території СРСР НВ середньосуглинистих ґрунтів за глибокого залягання ґрунтових вод відповідає приблизно 170-190 мм продуктивної води метрового шару ґрунту. Базуючись на цій величині і водовимогливості рослин, весняні запаси води у метровому шарі ґрунту оцінюються наступним чином:

- 1) 180-160 мм – добрі;
- 2) 150-130 мм – задовільні;
- 3) 130-180 – недостатні;
- 4) 80-50 мм і менше – погані й дуже погані.

С.О. Веріго встановила такі критерії оцінки водозапасів в орному шару ґрунту (0-20 см) для зернових культур на початку розвитку:

- 1) 25-30 мм – оптимальні;
- 2) 25-30 мм – добрі;
- 3) 15-20 мм задовільні;
- 4) менше 10 мм – погані.

В період розвитку зернових від виходу в трубку до цвітіння оцінка водозабезпеченості виконується за водозапасами у метровому шарі ґрунту за такою шкалою:

- 1) 120-180 мм і більше –добрі;
- 2) 120-80 мм – задовільні;
- 3) менше 80 мм (40-50% НВ) – незадовільні.

В завершальний етап розвитку зернових (в період від цвітіння до воскової стиглості) потреба рослин у воді дещо зменшується. Умови вологозабезпеченості в цей період оцінюються за наступною шкалою: оптимальні запаси вологи у метровому шарі ґрунту відповідають 80-100 мм; задовільні – 40-80 мм, незадовільні – 30-40 мм, погані – менше 25 і більше 125 мм. Роздільна градація в останньому випадку пояснюється тим, що вологозапаси менше 25 мм відносяться до недостатніх, а вологозапаси більше 125 мм зумовлюють значне полягання рослин і розвиток хвороб.

Вміст продуктивної вологи у ґрунті в природних умовах істотно змінюється в географічному розрізі, що визначається впливом багатьох факторів. До основних із них треба віднести загальні кліматичні умови, властивості ґрунту, характер рослинності та агротехнічні заходи. Динаміка річного ходу продуктивної вологи визначається, насамперед, кількістю і розподілом опадів та температурним режимом на конкретній території. Результати детального аналізу річного ходу вологості ґрунту на території СРСР і відповідності особливостей режиму зволоження потребі у волозі зернових культур дозволили С.О. Веріго і Л.О. Разумовій виділити на вказаній території чотири агрогідрологічні зони: обводнення, капілярного промочування, повного і слабого весняного промочування.

Практична робота №2

Тема: Агрокліматична оцінка теплових ресурсів

Мета: надати агрокліматичну оцінку теплових ресурсів.

Порядок виконання роботи

1. Виписати із довідника значення середніх, мінімальних і максимальних температур повітря з березня по листопад і занести їх до таблиці.
2. Виконати розрахунки величин денних та нічних температур і занести їх до таблиці.
3. Побудувати графік річного ходу середніх, денних, максимальних, нічних і мінімальних температур повітря (рис. 2.1п).
4. Визначити графічним методом дати переходу середніх денних та нічних температур повітря через 10 °С.
5. Виконати розрахунок тривалості періодів з середніми, денними та нічними температурами повітря вище 10 °С. Підрахунок виконують з дати переходу температур повітря через 10 °С весною до аналогічної дати восени.
6. Виконати розрахунки активної температури $T_{\text{акт}}$ (всі значення температури за період з температурами вище 10 °С) і занести до табл. 2.1п.
7. Визначити значення ефективної температури $T_{\text{еф}}$ (значення температури понад 10 °С - $T_{\text{еф}} = T_{\text{ср}} - 10$ °С). Занести до табл. 2.1п.
8. Виконати підрахунки сум активних, ефективних, денних та нічних температур (за кожний місяць) за формулою:

$$\Sigma T_{\text{місяч}} = T \cdot N;$$

де T – середня, денна і нічна температури за кожний місяць теплого періоду;
 N – кількість днів в місяці;

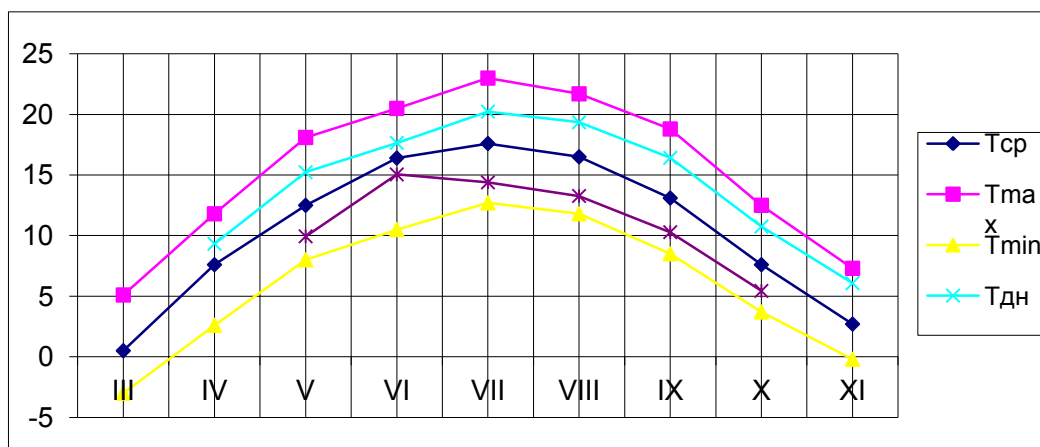


Рисунок 2.1п - Річний хід температур повітря

В місяці переходу температури через 10°C весною та восени кількість днів підраховують відповідно від і до дати переходу температури. Занести до табл.2.1п.

9. Підрахувати суми $T_{\text{акт}}$, $T_{\text{еф}}$, $T_{\text{дн}}$, $T_{\text{н}}$ методом накопичення.
10. Побудувати графік накопичення сум активних, ефективних, денних та нічних температур (рис. 2.2п).

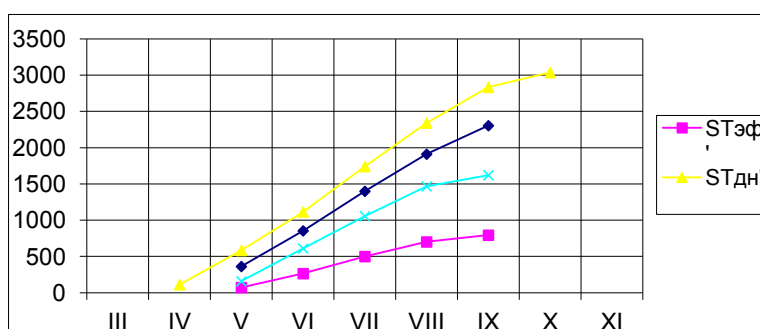


Рисунок 2.2п - Графік накопичення сумм активних, ефективних, денних і нічних температур повітря впродовж теплого періоду

11. Виконати короткий аналіз отриманих результатів.

Практична робота №3

Тема: **Агрокліматична оцінка радіаційно-світлових ресурсів**

Мета: Надати агрокліматичну оцінку радіаційних ресурсів окремої території.

Порядок виконання роботи

1. Виписати із довідника величини тривалості сонячного саява SS і сумарної радіації ΣQ по місяцям за теплий період (з березня або квітня по листопад або жовтень) і занести до таблиці. Якщо величини ΣQ виражені в $\text{ккал}/\text{см}^2$ –

переводимо в МДж/м² (ккал/см² = 41,9 МДж/м²) і записуємо в таблиці.

2.Визначити дати переходу температури повітря через 10 °С. Розрахунок ΣQ за місяці, коли відбувається перехід температури повітря через 10°С, здійснюють за формулою:

$$\Sigma Q_{10} = \frac{\Sigma Q}{N} N';$$

де N – число днів в місяці, N' - число днів в місяці після і до переходу температури повітря через 10°С в місяці, коли відбувається перехід температури через 10°С .

3.Визначити місячні суми фотосинтетично активної радіації ΣQ_{ϕ} за формулою:

$$\Sigma Q_{\phi} \approx 0,5 \Sigma Q;$$

4.Скласти графік динаміки місячних сум сумарної і фотосинтетично активної радіації впродовж теплого періоду.

5.Виконати розрахунок сумарної радіації методом накопичення: сума сумарної і фотосинтетично активної радіації за кожний наступний місяць додається до попередньої (за один чи кілька місяців) суми і занести до таблиці.

5. Скласти графік накопичення сум сумарної і фотосинтетичної активної радіації впродовж теплого періоду (рис.3.1п.).

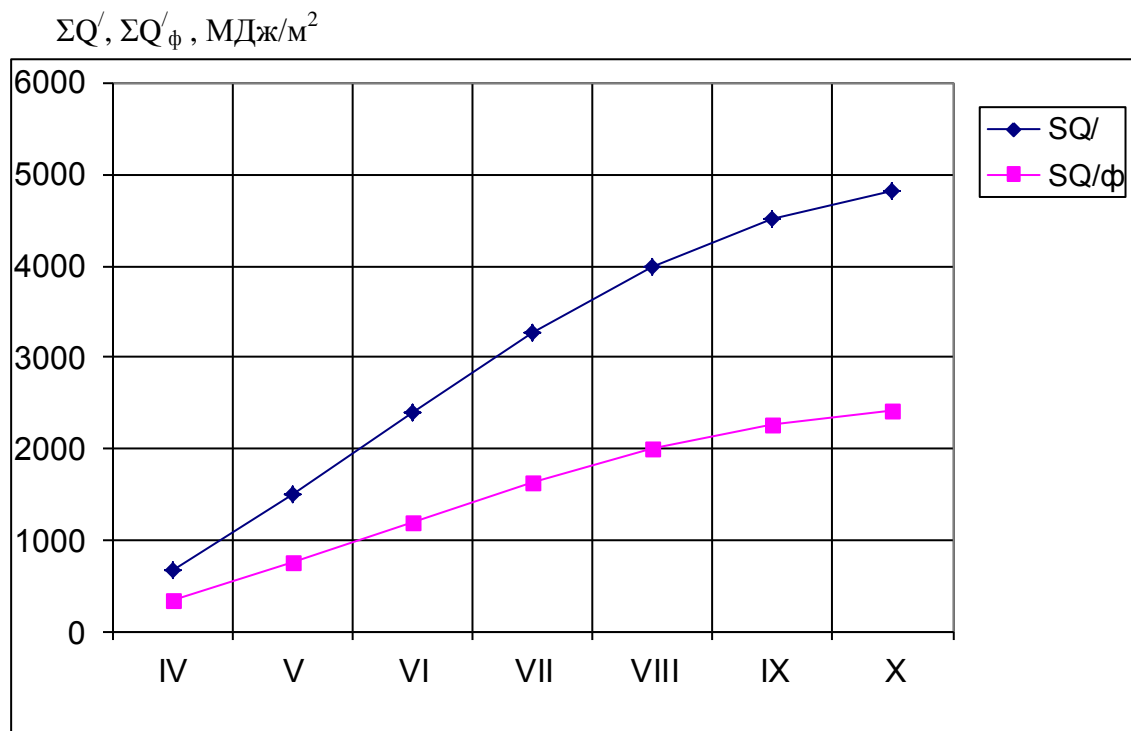


Рисунок 3.1п – Накопичення сум сумарної і фотосинтетично активної радіації впродовж теплого періоду

Практична робота №4
Тема: **Оцінка ресурсів вологи території**

Мета: Виконати розрахунки та надати оцінку ресурсів вологи території

Порядок виконання роботи

1. Виписати із агрокліматичного довідника для одного пункту (метеорологічної станції) за місяці теплового періоду наступні дані: місячну кількість опадів H , середній місячний дефіцит насичення водяної пари d , запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на початок W_n і кінець W_k місяця. Занести до табл.4.1п.
2. Виписати із довідника середні температури повітря і визначити дати переходу температури повітря через 10°C весною і восени.
3. Виконати розрахунки величин вологоспоживання і вологовимогливості за формулами

$$E = W_H - W_K + H;$$

$$E_0 = K \cdot \sum d;$$

де H – місячна кількість опадів, $\sum d$ – сума дефіциту насичення водяної пари; W_n і W_K – запаси продуктивної вологи за попередній і поточний місяць; $K \approx 0,65$;

Отримані дані занести до таблиці.

4. Виконати розрахунок вологозабезпеченості V і показників зволоження $ГТК$ Селянінова і Md Шашко. Величини $ГТК$, Md і V визначаються за формулами

$$V = \frac{E}{E_0} \cdot 100\%; \quad ГТК = \frac{\sum H}{0,1 \sum T > 10^\circ\text{C}}; \quad Md = \frac{\sum H}{\sum (E_0 - E)} = \frac{\sum H}{\sum d};$$

5. Скласти графік динаміки величин показників ресурсів вологи впродовж теплового періоду (рис.4.1п).
6. Дати короткий аналіз отриманих результатів: коливання величин всіх показників по місяцям (максимум, мінімум).

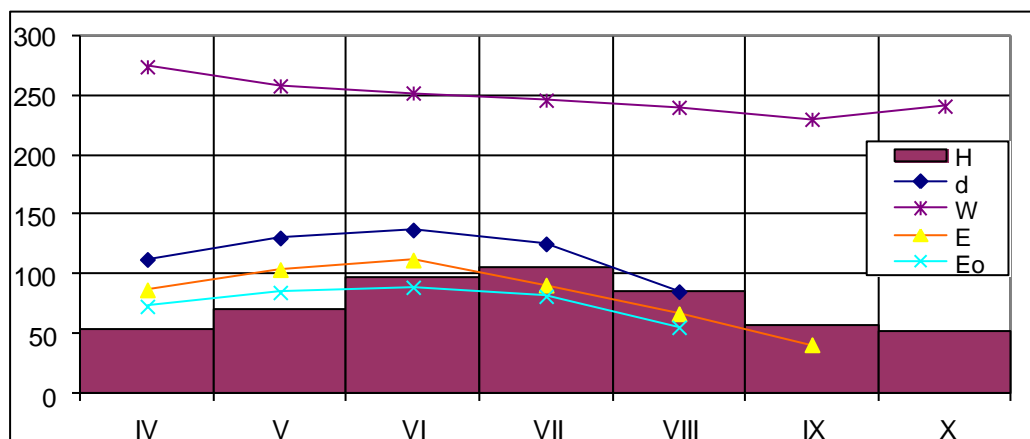


Рис. 4.1п – Динаміка величин показників ресурсів вологи впродовж теплового періоду

5 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ АГРОКЛІМАТИЧНИХ ЛІМІТУЮЧИХ ФАКТОРІВ

5.1 Агрокліматичні лімітуючі фактори

Наряду із агрокліматичними ресурсами територій, які включають ресурси світла, тепла і вологи, важливе значення при агрокліматичному забезпеченні надається інформації про небезпечні або лімітуючі агрокліматичні умови. Під ними розуміють такі агрокліматичні умови, які у той чи інший спосіб обмежують або погіршують стан сільськогосподарських культур в період вегетації або в період зимового спокою озимих та багаторічних культур. До числа лімітуючих агрокліматичних факторів відносяться агрокліматичні умови морозонебезпечності, заморозконебезпечності і посушливості. Всі вказані фактори часто проявляються на території України, що зумовлено загально-географічним положенням, і визначають необхідність їх детального вивчення.

Лімітуючий характер умов морозо- і заморозконебезпечності та посушливості визначається часом прояву, інтенсивністю та площею поширення цих факторів. Саме за характером прояву вони й зумовлюють небезпечну або, навіть, особливо небезпечну дію і визначають методологію передбачення, ступінь детальності їх врахування та застосування запобіжних заходів. Як і за іншими агрокліматичними умовами, важливе значення має комплексність дослідження лімітуючих факторів: вивчення механізму їх формування, закономірностей просторово-часового розподілу, особливостей впливу на стан і продуктивність сільськогосподарських культур. Безумовно, ефективність застосування запобіжних заходів визначається саме ступенем вивченості лімітуючих факторів.

5.2 Агрокліматична оцінка умов морозонебезпечності територій

Агрокліматична оцінка умов перезимівлі сільськогосподарських культур є необхідною складовою при оптимізації розміщення зимуючих й багаторічних культур і обґрунтуванні агротехнічних, запобіжних і захисних заходів щодо поліпшення умов зимівлі. Особливе значення надається вибору показників, які здатні, у співставленні з біологічними особливостями культур, адекватно характеризувати умови перезимівлі. Агрокліматичні показники, які були запропоновані різними дослідниками, відрізняються великою різноманітністю. Найбільшого поширення набули такі показники; середній із абсолютних річних мінімумів температури повітря ($\overline{T_{\min}}$) і ґрунту ($\overline{T_{\text{мт}}}$), тривалість холодних періодів з температурою повітря нижче 0, -5, -10, -15 °С, сума від'ємних температур за періоди з цими температурами

($\Sigma T \leq -0; -5; -10; -15^{\circ}\text{C}$), температура самого холодного місяця (\bar{T}_x), висота снігового покриву (H) і глибина промерзання ґрунту (h). Додатковими показниками можуть бути: кількість днів зі стійким сніговим покривом, дати встановлення і сходу снігового покриву.

5.2.1 Методи визначення і розрахунку показників умов перезимівлі

Агрокліматична оцінка умов морозонебезпечності для різних сільськогосподарських культур базується на обов'язковому врахуванні їх морозостійкості, тобто стійкості рослин до низьких від'ємних температур в зимовий період. Морозостійкість, як біологічна властивість рослин, неоднакова і залежить від їх виду і сорту та загальних кліматичних умов тієї чи іншої географічної зони. Згідно із дослідженнями Степанова В. М. озимі культури і багаторічні трави за морозостійкістю можна умовно поділити на три групи:

1) рослини високої морозостійкості, які здатні переносити зниження зимових температур на глибині вузла кушіння від -20 до -24°C – озиме жито, тимофіївка лугова;

2) рослини середньої морозостійкості, які здатні витримувати зниження температури до $-15...-20^{\circ}\text{C}$ – озима пшениця, їжа збірна, райграс, конюшина пізньостигла, люцерна синя;

3) рослини слабкої морозостійкості, які не здатні витримувати зниження температур нижче $-10...-15^{\circ}\text{C}$ – малозимостійкі сорти озимої пшениці, ячмінь, конюшина.

Важливою генетично зумовленою особливістю культур щодо умов перезимівлі є значна мінливість їх морозостійкості впродовж зими. У динаміці морозостійкості всіх сортів озимих культур відзначається певна закономірність, яка пов'язана з тенденцією зміни температури повітря й верхнього шару ґрунту впродовж певних сезонів року. При повільному зниженні температури повітря в другій половині осені морозостійкість культур підвищується і досягає максимуму на початок та середину зими. В другій половині зими відзначається поступове зниження морозостійкості. В окремі роки морозостійкість озимих культур може бути значно меншою, порівняно зі своєю умовною константою, що пов'язано з відсутністю періоду закалювання: після тривалого періоду з високими температурами відзначається різке їх зниження до від'ємних величин, порядку $-10...-20^{\circ}\text{C}$.

На думку В.М. Лічікакі, критична температура вимерзання рослин залежить від мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушіння (табл.5.1). Найменші величини критичної температури вимерзання відзначаються за середніх температур ґрунту на глибині вузла кушіння порядку $0...-0.6^{\circ}\text{C}$. У озимої пшениці середньоморозостійких сортів вона не перевищує $-14, -15^{\circ}\text{C}$, а в озимого ячменю – $-9, -11^{\circ}\text{C}$. Найбільше значення

критичної температури вимерзання спостерігається за середньої температури ґрунту на рівні -6°C . У озимій пшениці середньоморозостійких сортів вона становить $-19, -20^{\circ}\text{C}$, а в озимого жита – -25°C .

Таблиця 5.1 - Критична температура вимерзання ($T_{кр}$) озимих культур в залежності від середньої із мінімальних температур ґрунту на глибині вузла кушіння (за В.М. Лічикакі)

$\bar{T}_{мн},$ $^{\circ}\text{C}$	$T_{кр}, ^{\circ}\text{C}$				
	озимій пшениці з морозостійкістю			озимого жита	озимого ячменю
	вище середньої	середньою	нижче середньої		
0	-14,0	-14,0	-12,0	-14,0	-9,2
-0,6	-15,2	-15,1	-13,1	-15,5	-11,0
-4,2	-16,6	-16,1	-14,1	-16,8	-12,4
-1,8	-17,7	-16,9	-14,9	-18,3	-13,5
-2,4	-18,8	-17,7	-15,7	-19,5	-14,3
-3,0	-19,6	-18,3	-16,3	-20,7	-14,6
-3,6	-20,3	-18,7	-16,7	-21,8	-14,8
-4,2	-20,8	-19,1	-17,1	-22,7	-
-4,8	-21,2	-19,2	-17,2	-23,4	-
-5,4	-21,6	-19,4	-17,4	-24,2	-
-6,0	-22,0	-19,5	-17,5	-24,9	-

Від рівню від'ємної температури повітря і ґрунту взимку відзначається також ступінь пошкодження та вимерзання плодових культур і винограду. Причому, у цих культур відрізняють критичні температури вимерзання надземної і підземної частин (органів), які наведені в табл.5.2. Вимерзання кореневої системи частіше пов'язують з мінімальними температурами ґрунту: для озимих культур - на глибині вузла кушіння $T_{мз}$ (приблизно 3 см), а для плодових і винограду – у приповерхневому шарі ґрунту (20 - 40 см). Треба відзначити, що критична температура вимерзання кореневої системи значно вище температури пошкодження надземної частини. Найбільшою морозостійкістю відзначається яблуня середньоруських сортів, а найменшою – виноград і мигдаль.

При вимерзанні рослини пошкоджуються і гинуть не стільки під дією низьких середньодобових температур, скільки нічних мінімальних температур, про які судять за абсолютним мінімумом температури повітря або ґрунту. Проте, величина абсолютного мінімуму температури не може в повній мірі характеризувати термічний режим, оскільки відзначається впродовж незначного часу – 10, 5 або, навіть, 1-2 хвилини і, за винятком,

окремих випадків, не наносить реальної шкоди рослині. Більше застосування для агрокліматичної оцінки умов перезимівлі мають запропоновані Г. Т. Селяніновим такі показники як середній із абсолютних річних мінімумів температури повітря і ґрунту.

Таблиця 5.2 - Критичні температури вимерзання плодових культур і винограду

Культура	$T_{кр}, ^\circ\text{C}$	
	наземної частини	кореневої системи
Яблуня: середньоросійські сорти південні сорти	-35, -40 -30	-12, -15 -10, -12
Груша європейського сорту	-25, -30	-9, -10
Вишня	-30	-14, -15
Черешня	-25, -30	-14, -15
Слива південна	-23, -28	-14, -15
Абрикос	-25	-11, -12
Персик	-23, -25	-10, -12
Айва	-25	-10, -12
Грецький горіх	-23, -25	-10, -12
Виноград європейських сортів	-16, -22	-7, -9
Мигдаль	-18, -23	-7, -9

Середній із абсолютних річних мінімумів температури повітря $\overline{T_{\min}}$ і ґрунту $\overline{T_{\min}}$ дають уявлення про величини, які мають 50-відсоткову імовірність, тобто можуть спостерігатися кожного другого року. Розрахунок цих показників здійснюється наступним чином: абсолютні мінімуми температури по рокам алгебраїчно підсумовуються, а отриманий результат ділиться на кількість років спостережень. Як і для інших агрокліматичних показників крім середньої багаторічної величини виконується вибірка крайніх екстремальних значень – максимальних і мінімальних. Між тим, при визначенні ступеню морозонебезпечності території для розміщення багаторічних і зимуючих культур ця інформація явно недостатня. Екстремальні величини вказують на поодинокі дані, імовірність яких менше 1%. Для повної оцінки умов морозонебезпечності, як одного із лімітуючих агрокліматичних факторів, особливо важливо мати інформацію про імовірність усього спектру мінімальних температур повітря і ґрунту, особливо в діапазоні температур, близьких до критичних температур вимерзання різних зимуючих культур або їх груп за морозостійкістю.

Фундаментальні дослідження стосовно агрокліматичної оцінки умов морозонебезпечності для території минулого СРСР і країн Східної Європи були проведені З. А. Міщенко. За матеріалами спостережень більше 2500 метеорологічних станцій нею виконано розрахунки основних показників термічного режиму зимового періоду, які характеризують умови морозонебезпечності територій: середнього із абсолютних мінімумів температур повітря $\overline{T_{\min}}$, мінімальної температури самої холодної п'ятиденки $\overline{T_x}$, мінімальної температури ґрунту $\overline{T_{\text{мт}}}$, середньої висоти снігового покриву і глибини промерзання ґрунту. За результатами аналізу отриманих даних $\overline{T_{\min}}$ встановлено основні закономірності і особливості його просторового розподілу. Виявлено домінуючий вплив абсолютної висоти місцевості, географічної довготи, континентальності клімату і близькості до значних водойм. Майже на всій досліджуваній території ізотерми $\overline{T_{\min}}$ мають меридіанальний і субмеридіанальний напрямки, а в гірській місцевості – напрямком гірських систем. Величина $\overline{T_{\min}}$ знижується від -20...-24 °С в південно-західних районах до -56...-60 °С – в центральних районах Східного Сибіру.

Аналогічні дослідження для території України були проведені в 2000-2003 рр. З. А. Міщенко і С. В. Ляховою, за якими підтверджено вплив на просторовий розподіл $\overline{T_{\min}}$ континентальності клімату і теплих Чорного і Азовського морів (рис.5.1). Величина $\overline{T_{\min}}$ знижується від -14...-16 °С в південних районах України до -28 °С і нижче – в північно-східних. Відзначаються загальні закономірності просторового розподілу величин, при цьому більш чітко проявляється вплив теплих Чорного і Азовського морів – широтний напрямки ізотерм $\overline{T_{\min}}$.

Аналогічна закономірність притаманна просторовому розподілу мінімальних температур ґрунту $\overline{T_{\text{мт}}}$: відзначається їх зниження від -12, -16 °С на південному заході (прибережні райони Чорного і Каспійського морів) до -56, -60 °С – на сході і північному сході (Центральна Якутія).

Як зазначалося раніше, крім основного показника умов морозонебезпечності - середнього із абсолютних річних мінімумів температури повітря $\overline{T_{\min}}$, оцінка умов морозонебезпечності для різних сільськогосподарських культур більш повно може бути виконана за наявності й інших показників холодного періоду. До них відносяться мінімальна температура ґрунту $\overline{T_{\text{мт}}}$, мінімальна температура холодної п'ятиденки $\overline{T_x}$, висота снігового покриву H , глибина промерзання ґрунту h . За методикою ущільнення агрокліматичної інформації, розробленою З. А. Міщенко і Г. В. Ляшенко, надалі Міщенко З. А. і Ляховою С. В. були отримані регресійні рівняння і виконані розрахунки $\overline{T_x}$, $N_{\text{хл}}$ і $\Sigma T \leq 0^\circ\text{C}$. Так, за просторової

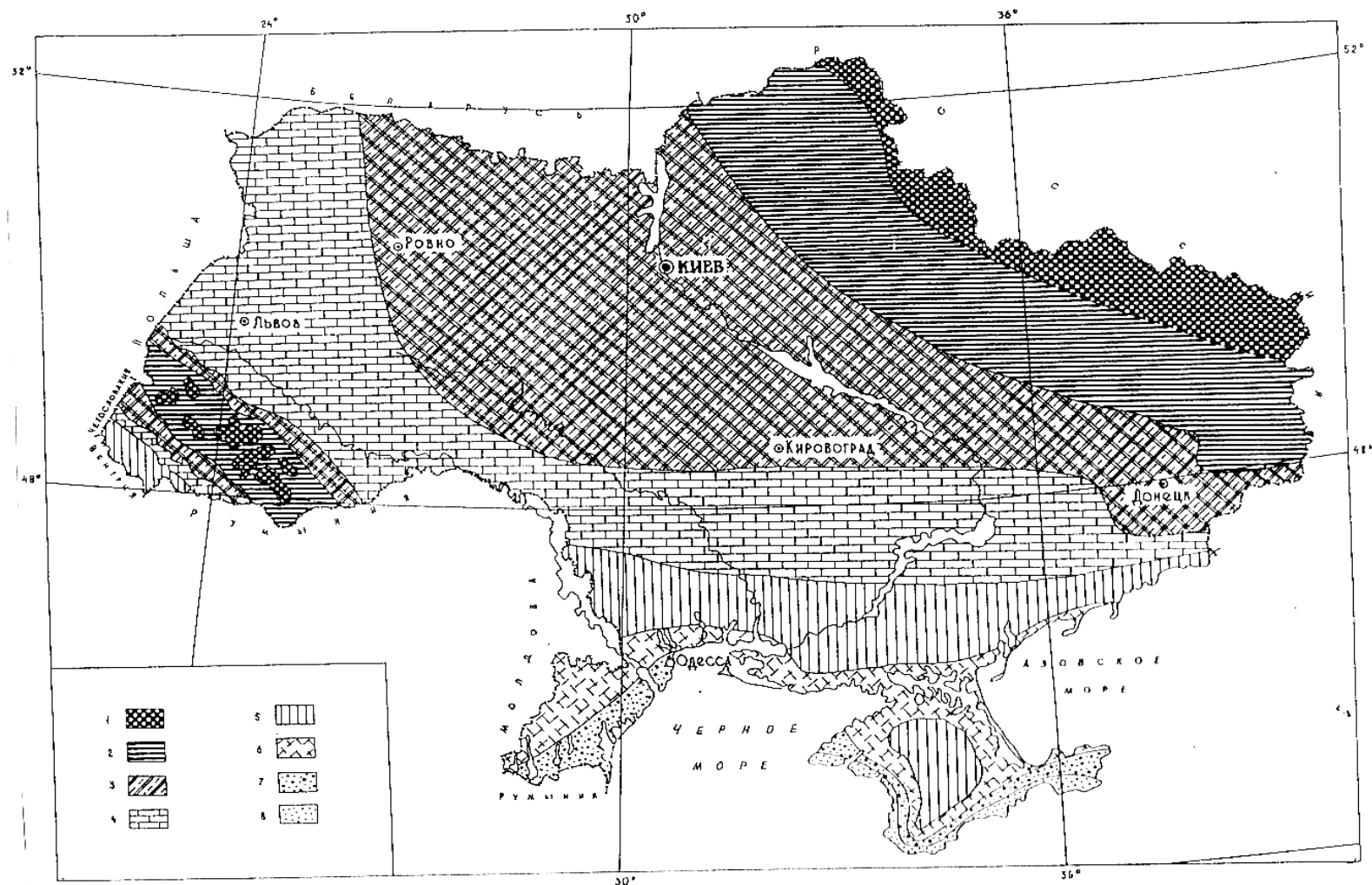


Рисунок 5.1 - Просторовий розподіл середнього із абсолютних мінімумів температури повітря на території України

мінливості на території України величини $\overline{T_{\min}}$ від -14...-16 до -28 °C і нижче величини $N_{\text{хп}}$ і $\Sigma T \leq 0^\circ\text{C}$ відповідно змінюються від 35-55 до 135 днів і від -20...-85 до -650 °C.

5.2.2 Часова мінливість умов морозонебезпечності

Обґрунтування розміщення озимих і багаторічних сільськогосподарських культур вимагає детальної оцінки умов морозонебезпечності, яка можлива не тільки за наявності середніх багаторічних величин, а й їх імовірнісних характеристик. Визначення ймовірності в окремі роки небезпечних морозів (нижче критичних температур вимерзання надземних і підземних частин рослин) дозволяє оцінити ризики пошкодження зимуючих культур.

Як і для інших показників агрокліматичних ресурсів розрахунок ймовірності величин показників морозонебезпечності виконується із застосуванням відомих універсального графоаналітичного методу Алексєєва і спрощеного методу Гольцберг, які детально викладені в попередніх розділах. Розподіл розглянутих вище показників морозонебезпечності, в першому наближенні, підкоряється нормальному закону розподілу. Тому їх міжрічну мінливість можна визначити за допомогою основних статистичних характеристик – середньої багаторічної величини, середнього квадратичного відхилення σ і коефіцієнтів Гауса K' . Виконуються розрахунки різних ймовірностей $\overline{T'_{\min}}$, $\overline{T'_{\text{мп}}}$ та інших показників, які заносяться в спеціальної форми таблицю. Формули розрахунку мають вигляд

$$T'_{\min}(5,10,...95\%) = \overline{T_{\min}} + K'(5,10...95\%) \cdot \sigma_{T_{\min}} \quad (5.1)$$

$$T'_{\text{мп}}(5,10,...95\%) = \overline{T_{\text{мп}}} + K'(5,10...95\%) \cdot \sigma_{T_{\text{мп}}} \quad (5.2)$$

$$T'_{\text{хп}}(5,10,...95\%) = \overline{T_{\text{хп}}} + K'(5,10...95\%) \cdot \sigma_{T_{\text{хп}}} \quad (5.3)$$

$$\Sigma T' \leq 0^\circ\text{C}(5,10,...95\%) = \overline{\Sigma T \leq 0^\circ\text{C}} + K'(5,10...95\%) \cdot \sigma_{\Sigma T \leq 0^\circ\text{C}} \quad (5.4)$$

Надалі за одержаними даними складаються криві або номограми, які дають більш наочне уявлення про просторово-часову мінливість середніх багаторічних величин. Міщенко З.А. складено такі номограми забезпеченості середнього із абсолютних мінімумів температури повітря взимку ($\overline{T'_{\min}}$) для трьох районів (а, б і в) Нечорноземної зони Росії (рис.5.2). На них по вісі ординат відкладають величини середнього із

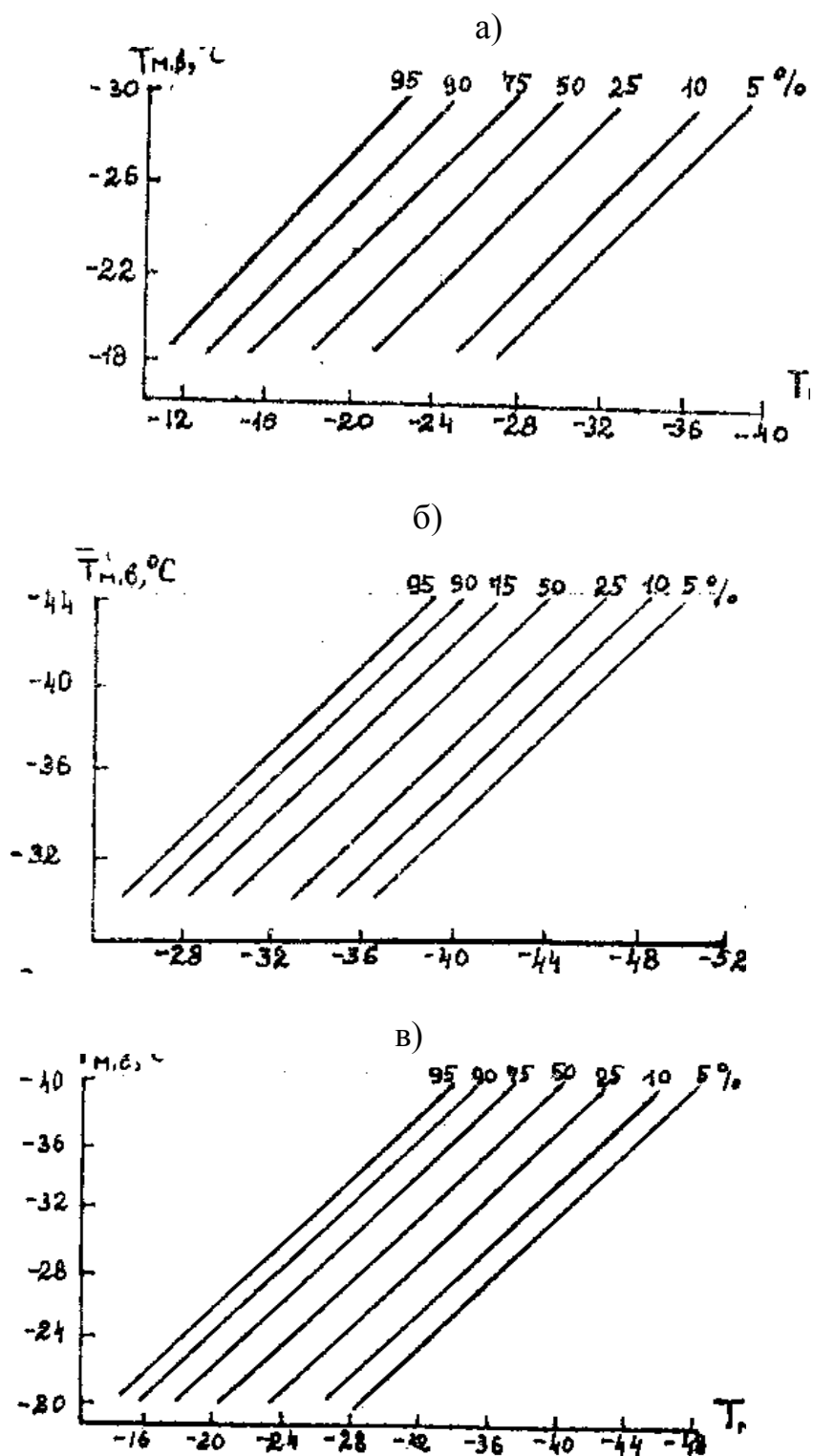


Рисунок 5.2 - Номограми розрахунку можливих мінімальних температур різної забезпеченості $\overline{T'_{min}}$ в залежності від середнього із абсолютних мінімумів температури повітря $\overline{T_{min}}$ на території Нечорноземної зони Росії. Райони: а) північно-західні; б) північні; в) центральні і південні.

абсолютних мінімумів 50% забезпеченості для низки станцій, а на вісі абсцис – величини різних ймовірностей – від 5 до 95%. Довжина похилих ліній показує зміну величини показника по території, а ширина в межах від 5 до 95% забезпеченості – його мінливість його в часі. Аналогічні розрахунки виконують й за іншими показниками морозонебезпечності ($\overline{T}'_{\text{мт}}, T'_{\text{хп}}, T'_{\text{мз}}$).

Ймовірність мінімальних температур можна розрахувати в інший спосіб – у відхиленнях від середнього із абсолютних річних мінімумів. За всі роки спостережень підраховують додатні і від’ємні відхилення мінімальних температур від середньої із абсолютних річних мінімумів за градаціями через 1 °С. Кількість випадків (повторюваність) різних відхилень надаються у відсотках від всієї кількості випадків і ці відсотки послідовно підсумовують від найбільшого від’ємного до найбільшого додатного відхилень. Надалі за одержаними даними сумарної ймовірності складають графік, на якому на осі абсцис відкладають відхилення (через 1 °С) від середнього із абсолютних річних мінімумів температури, який береться за нуль, а по осі ординат - ймовірність P_x , % мінімальних температур нижче певної межі.

5.2.3 Сніговий покрив як показник морозонебезпечності території

Сніговий покрив може істотно змінювати умови перезимівлі сільськогосподарських культур, що пов’язано з його фізичними властивостями, насамперед, слабкою теплопровідністю. Ця властивість снігу зумовлює зменшення різких коливань і рівень температури поверхневих шарів ґрунту, що, в свою чергу, зменшує ризики пошкодження зимуючих культур. Важливе значення має термін встановлення снігового покриву і рівень температури повітря та ґрунту й вологість ґрунту на цю дату. До несприятливих умов перезимівлі відносяться такі, які характеризуються як різким зниженням температури повітря за відсутності або незначної висоти снігового покриву, так і високий рівень температур за надмірної висоти покриву.

Найбільш детальні дослідження закономірностей просторового розподілу показників снігового покриву на території минулого СРСР виконані І. Д. Копанєвим. Складені ним карти дають наочне уявлення про просторовий розподіл середньої висоти і тривалості залягання снігу на третю декаду січня. Так, висота покриву змінюється з півночі на південь від 40-60 см до 109 см і менше, а з заходу на схід - від 10-20 см до 60-80 см. Середня тривалість його залягання змінюється в значно більшому діапазоні: в європейській частині в північних районах вона складає 200-240 днів, а в південних - 20 днів; в азіатській частині – відповідно 260-280 і 140 днів. При цьому треба відзначити, що як на висоту, так і на тривалість

залягання снігового покриву значний вплив чинять такі місцеві умови як характер рельєфу, наявність лісосмуг, домінуючий напрям вітру. Як правило, в лісах, лісосмугах, на навітряних схилах, в пониженнях місцях, сніговий покрив висота снігового покриву більша і залягає він більш тривалий час. В західних, південно-західних і південних районах з м'якою зимою сніговий покрив нестійкий – декілька разів за зиму він випадає і сходить. На іншій території відзначається встановлення стійкого снігового покриву і впродовж зими збільшення його висоти.

Дослідженнями, проведеними О.М.Шульгіним в Алтаї і В.О.Моїсейчик в Казахстані, встановлено залежність вимерзання озимих культур в залежності від висоти снігового покриву. Так, за даними Шульгіна О. М. збільшення висоти снігового покриву від 5 до 25-30 см зумовлює зменшення загибелі озимих від 40 до 0 %. Результати численних досліджень показали, що сприятливі умови перезимівлі озимих складаються в південних районах ЄЧ СРСР за висоти снігового покриву до 20 см, в південно-східних - до 30 см, а в Західному Сибіру - до 40 см.

Захисну роль снігового покриву треба розглядати в комплексі з рівнем температур повітря. Збільшення висоти снігового покриву погіршує умови перезимівлі: за підвищеного для зими рівню температур нерідко спостерігається випрівання культур. О. М. Шульгін для умов Західного Сибіру склав номограму (рис. 5.3), за якою визначається мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кушіння за різної величини висоти снігового покриву і температури повітря. Так, за середнього із абсолютного мінімуму температури повітря (\bar{T}_m) -30°C і глибини промерзання ґрунту 50 см мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кушіння складає за висоти снігового покриву 5, 10, 15, 20 см складає відповідно $-18, -7, -6, -4^{\circ}\text{C}$ (табл. 5.3). Тобто, за інших рівних умов, захисна роль снігового покриву тим більша, чим нижче мінімальна температура повітря.

В.О. Моїсейчик запропоновано формули розрахунку таких температур за величиною мінімальної температури повітря, яка для снігового покриву висотою 10 см має вигляд

$$\bar{T}_{M.3} = 0,25\bar{T}_{M.П} - 0,06H + 0,48, \quad (5.5)$$

де H - глибина промерзання ґрунту.

Нею за даними розрахунків складено номограму (рис.5.4), на якій на осі абсцис відкладається мінімальна температура повітря, на осі ординат – висота снігового покриву, а в полі графіка прямі мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушіння. Наочно видно, що чим нижче температура повітря, тим більша захисна дія снігового покриву.

a)

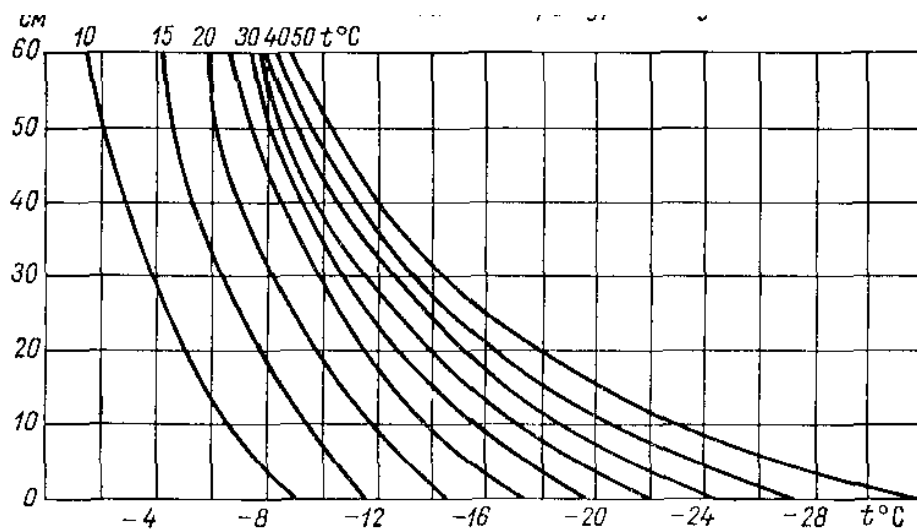


Рисунок 5.3 - Зв'язок мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушіння (3 см) з мінімальною температурою повітря за різної висоти снігового покриву (за О. М. Шульгіним)

Таблиця 5.3 – Визначення мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушіння озимих культур, °C

$\overline{T_{\min}}$ °C	Висота снігового покриву, см														
	0		5			10			15			20			
	Глибина промерзання ґрунту, см														
	30	50	30	50	100	30	50	100	30	50	100	30	50	100	
-15	-8	-12	-6	8	-11	-4	-5	-8	-2	-4	-6	-1	-3	-5	
-20	-12	-16	-10	11	-15	-4	-6	-8	-3	-4	-8	-3	-4	-6	
-25	-16	-20	-13	14	-18	-5	-6	-9	-5	-6	-9	-3	-4	-7	
-30	-20	-24	-16	18	-21	-6	-7	-10	-5	-6	-9	-3	-4	-7	
-35	-24	-28	-19	21	-24	-7	-8	-11	-6	-7	-10	-4	-5	-8	
-40	-28	-32	-22	24	-27	-7	-9	-12	-7	-11	-11	-5	-6	-9	

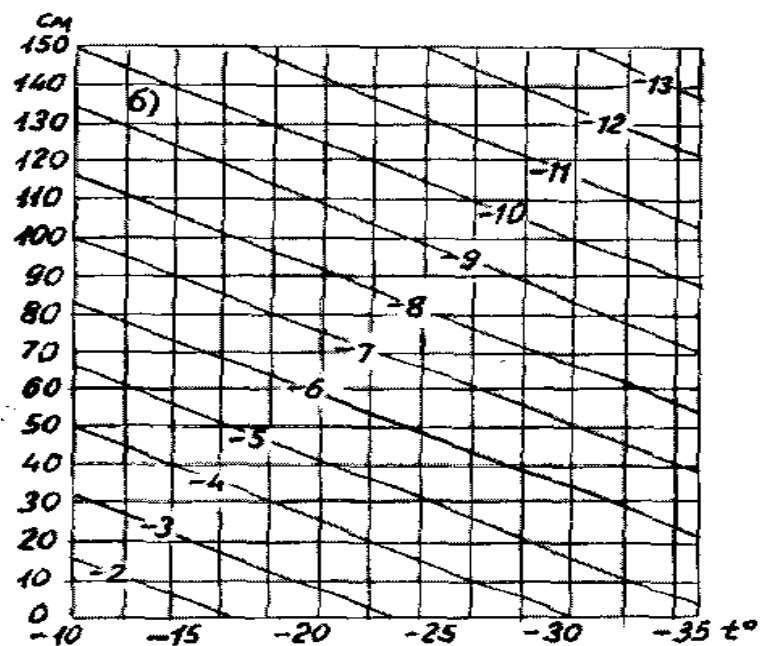
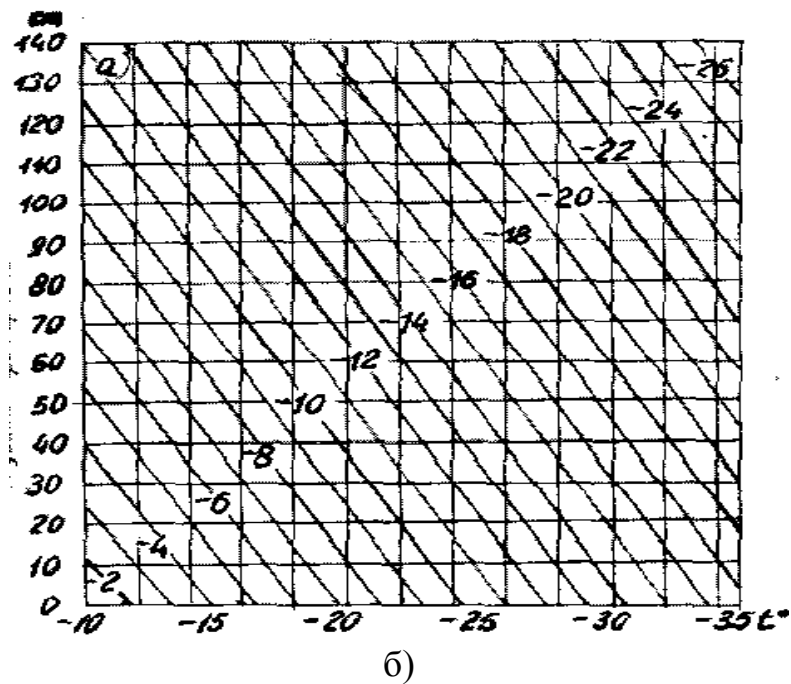


Рисунок 5.4 - Залежність мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушіння озимих від мінімальної температури повітря і глибини промерзання ґрунту за середньої висоти снігового покриву 5 см (а) і 10 см (б) (за В. О. Моїсейчик)

5.2.4 Комплексні показники умов перезимівлі сільськогосподарських культур

Для комплексної агрокліматичної оцінки зимового періоду запропоновано різні показники, які враховують термічний режим,

глибину промерзання ґрунту і висоту снігового покриву. О.М. Шульгін запропонував показник суворості зими, який базується на врахуванні середнього із абсолютних мінімумів температури повітря і середньої висоти снігового покриву,

$$K_c = \frac{\overline{T_{\min}}}{C}, \quad (5.6)$$

де K_c - коефіцієнт суворості зими; $\overline{T_{\min}}$ - середній із абсолютних мінімумів температури повітря; C - висота снігового покриву.

За цим показником Шульгіним О. М. виконана типізація ступеня суворості зими (табл.5.4). Наочно видно, що за однієї й тієї ж мінімальної температури повітря ступінь суворості зими може в залежності від висоти снігу типізуватися від слабко суворої до дуже суворої. Г. Д. Ріхтер назвав свій показник сніжно-температурним коефіцієнтом:

$$K = \frac{10T}{H}, \quad (5.7)$$

Таблиця 5.4 - Оцінка ступеня суворості зими

Ступінь суворості зими	$\overline{T}_m, ^\circ\text{C}$	$C, \text{ см}$	K_c
Дуже сувора	< -30	< 10	> 3
Сувора	< -30	10-30	1-3
Слабкосувора	< -30	> 30	< 1

де T – середня температура повітря, H – середня висота снігового покриву за період зі сніговим покривом більше 1 см.

Цей коефіцієнт вказує на градуси морозів, розраховані на кожні 10 см товщі снігового покриву. Коефіцієнт змінюється на ЄЧ ЄРСР з північного заходу на південний схід від 1,6 до 17,8. Так наприклад, для лісової зони він в середньому дорівнює 2,3 і змінюється від 1,7 до 3, лісостепової зони – 3,6 (3-5), степової зони – 6,7 (5-8), сухостепової підзони – 7,2 (7-10), пустелі – 15,5 (10-20).

Лічикакі В.М. для оцінки умов вимерзання озимих запропонував показник, який називається коефіцієнтом морозонебезпечності (K_{MG}) і розраховується як відношення мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушніння - T_{MG} (3 см) і критичної температури вимерзання культури ($T_{кр}$). Формула має вигляд

$$K_{MG} = \frac{T_{MG}}{T_{KP}}, \quad (5.8)$$

На основі отриманих зв'язків між K_{MG} і загибеллю озимої пшениці від вимерзання ним складена карта ймовірності загибелі культури на території України.

Для оцінки умов перезимівлі озимих культур Моїсейчик В. О. запропонувала комплексний показник \bar{K}_M , який був розрахований для різних природних зон СРСР (для середніх багаторічних умов). Для степової зони рівняння має вигляд

$$\bar{K}_M = 0,4844 \frac{\bar{T}_M}{T_{KP}} + 1,3081 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,6071, \quad (5.9)$$

де \bar{T}_M - мінімальна температура повітря, усереднена для конкретної області, \bar{H} - максимальна глибина промерзання ґрунту, \bar{n} - тривалість періоду зі сніговим покривом, T_{KP} - критична температура вимерзання.

Рівняння дійсне за \bar{T}_M від -15 до -30 °С, \bar{H} - 10-100 см, \bar{n} - 25-125 днів ($R = 0,97$).

Для лісової і лісостепової зони рівняння має вигляд

$$\bar{K}_M = 0,4934 \frac{\bar{T}_M}{T_{KP}} + 1,4181 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,7015, \quad (5.10)$$

і дійсне за $\bar{T}_M = -18 \dots -45$ °С, $\bar{H} = 10-150$ см, $\bar{n} = 35-200$ днів.

Надалі за цим комплексним показником нею визначено ймовірну площу загибелі озимих культур. Для лісової і лісостепової зони рівняння зв'язку має вигляд

$$\bar{S}_B = 84,63 \bar{K}_M^2 - 137,25 \bar{K}_M + 61,53 \quad (5.11)$$

$$(\bar{K}_M - 0,55 - 1,30). \quad (5.12)$$

Для степової зони рівняння має вигляд

$$\bar{S}_B = 63,37 \bar{K}_M^2 - 54,40 \bar{K}_M + 16,07 \quad (5.13)$$

$$(\bar{K}_M - 0,33 - 1,20) \quad (5.14)$$

За розмірами площі вимерзання озимих та величиною комплексного показника виконано кількісну оцінку умов перезимівлі (в балах). Так, в лісовій і лісостеповій зонах найменші площі вимерзання (до 5%) – 5 балів спостерігається за \bar{K}_M 0,76-0,96. Погіршення умов до 1 балу спостерігається при зменшенні \bar{K}_M до 0,30 і менше і збільшенні до 1,20 і більше, коли \bar{S}_B становить 20% і більше. В степовій зоні найкращі умови складаються за \bar{K}_M менше 0,70 - \bar{S}_B менше 10%. За величини

$\bar{K}_M > 1,10$ - \bar{S}_B збільшується до 30% і більше - умови перезимівлі оцінюються в 1 бал (рис.5.5, табл.5.5).

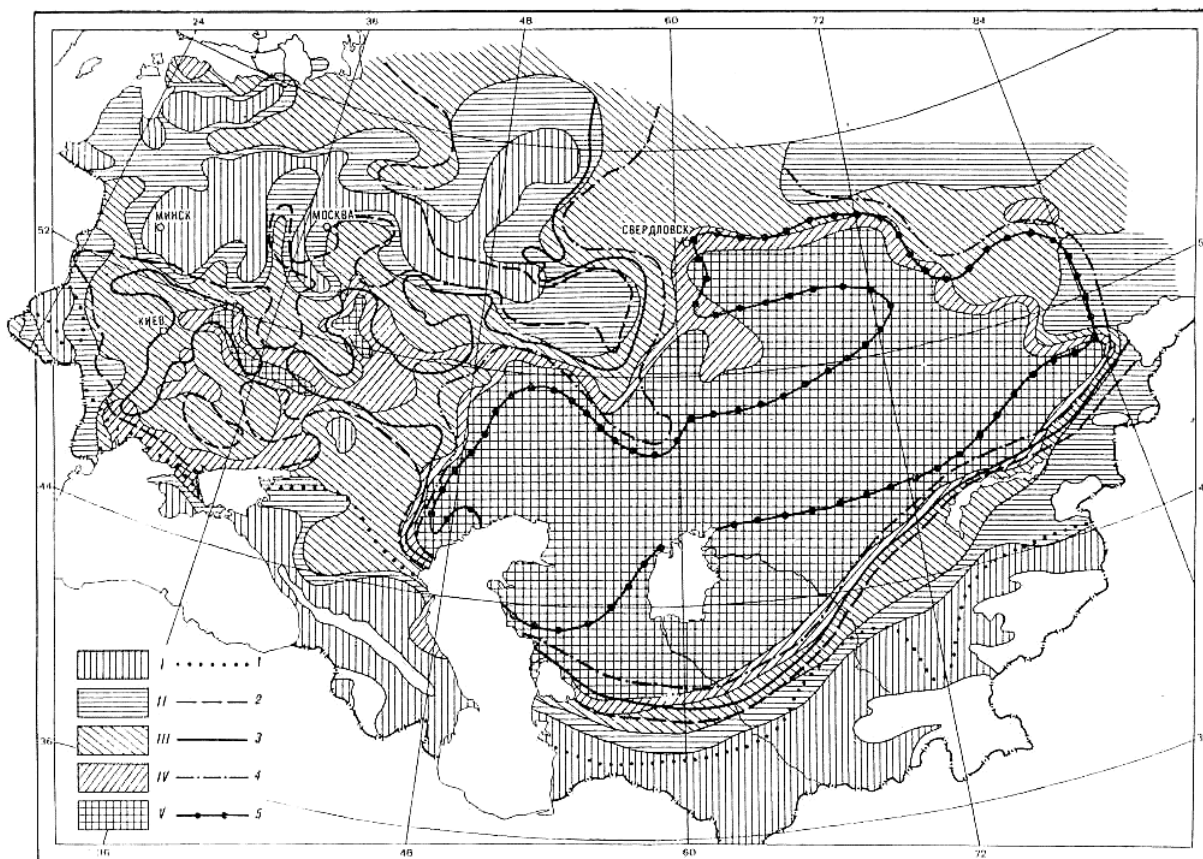


Рисунок 5.5 - Оцінка агрокліматичних умов перезимівлі районуваних сортів озимих культур. Оцінка умов в балах: I – відмінні, II – добрі, III – задовільні, IV – погані, V – дуже погані.

Межі районів зі сприятливими умовами перезимівлі озимих культур за різної морозостійкості, °С: 1 – слабкоморозостійкі сорти озимого ячменю, з критичною температурою вимерзання $T_{кр}$ -14 °С; 2 – високморозостійкі сорти озимого ячменю, слабо морозостійкі сорти озимої пшениці з $T_{кр}$ -16 °С; 3 – середньо морозостійкі сорти озимої пшениці і слабкоморозостійкі сорти озимого жита $T_{кр}$ -18 °С; 4 – високморозостійкі сорти озимої пшениці і середньоморозостійкі сорти озимого жита з $T_{кр}$ -20 °С; 5 – високморозостійкі сорти озимого жита з $T_{кр}$ -24 °С. За комплексним показником перезимівлі та його зв'язком з площею вимерзання озимих S Моїсейчик В. О. вивела рівняння для території СРСР (за винятком крайніх північних і східних районів), практичне значення якого полягає в оцінці умов перезимівлі озимих. Усього виділено 5 макрорайонів з оцінкою від 1 до 5 балів. До територій з відмінними умовами перезимівлі відносяться центр і

Таблиця 5.5 – Оцінка кліматичних умов перезимівлі озимих культур за температурою ґрунту на території СРСП

Район клімату ґрунту	Снігові меліорації	Оцінка умов перезимівлі озимих культур	Абсолютний мінімум температури			Імовірність температури в окремі зими (%)			
			серед- ній	найви- щий	наймен- ший	Вище -5 °С	-5,-15 °С	нижче -16 °С	нижче - 20 °С
1. Дуже мягкий	не треба	відмінні	-4,-8	-1,-3	-11,-14	10-20	80-90	-	-
2. Мякий	в окремі зими	добрі	-8,-12	-1,-8	-12,-20	5-10	70-90	5-20	5
3. Помірно холодний	Часто	задовільні	-12,-16	-2,-10	-20,-22	-	50-80	20-50	5-20
4. Холод- ний	в більшість зим	нижче задовільних	-16,-20	-10,-15	-20,-30	-	20-50	50-80	20-50
5. Дуже холодний	Щорічно	погані	-20,-24	-12,-17	-25,-30	-	10-20	80-90	50-70
6. Суворий	те ж	погані	-20,-28	-15	-30	-	-	100	70-80
7. Дуже суворий	те ж	погані	-28,-32	-15	-35	-	-	100	100

Північний захід області нечорноземної зони, Крим, Краснодарський край, райони Північного Кавказу, закавказькі і південні середньоазіатські країни. Погані і дуже погані умови перезимівлі складаються в північних і східних зонах України, Центральній чорноземній зоні, Середньому і Нижньому Поволжі, на Уралі, в Західному Сибіру, Казахстані (крім південних областей) і Східному Сибіру.

5.3 Заморозки як лімітуючий агрокліматичний фактор

До лімітуючих агрокліматичних факторів, здатних погіршувати умови розвитку сільськогосподарських культур, особливо їх теплолюбної групи (овочевих, винограду, плодових), відносяться заморозки. Вони часто наносять значних збитків сільськогосподарській галузі, що зумовлює важливе практичне значення їх детальної агрокліматичної оцінки.

5.3.1 Загальна характеристика умов заморозконебезпечності

Заморозком називається явище, пов'язане із зниженням мінімальних температур повітря та на поверхні ґрунту і рослинного покриву до 0 °C і нижче в період стійких додатних середньодобових температур. Заморозки спостерігаються в період загального підвищення температур весною та їх зниження – восени. Особливо небезпечні заморозки, які спостерігаються за високих (вище 10 °C) середньодобових температур в період вегетації сільськогосподарських культур. Збитки, які вони можуть нанести сільськогосподарському виробництву, майже щорічно оцінюються сотнями тисяч, а іноді і десятками мільйонів гривень. В 1999-2002 роки пізні весняні заморозки значної інтенсивності в травні викликали пошкодження навіть стійких до заморозків зернових культур.

Дослідженню заморозків як фізіологічного, метеорологічного і агрокліматичного явища в різний час приділяли значну увагу Г. Т. Селянінов, С.О. Сапожнікова, І.А. Гольцберг, Т.В. Покровська та ін. Були виявлені метеорологічні умови виникнення заморозконебезпечних ситуацій, проведені дослідження впливу заморозків на темпи розвитку та врожайність сільськогосподарських культур. І.А. Гольцберг, за процесами, які зумовлюють прояв заморозків, виділила 3 їх типи: адвективні, радіаційні та змішані адвективно-радіаційні. Адвективні заморозки, як домінуючі, відзначаються на початку весни і в другій половині осені за загального низького фону температур і пов'язані з адвекцією холодних (нижче 0 °C) арктичних повітряних мас. Вони відзначаються впродовж декілька (3-4 та більше) днів і

супроводжуються хмарною вітряною погодою. За цього типу заморозків рівень мінімальних температур залишається однаково низьким в усьому приземному шарі і на значній площі, що зумовлене постійним перемішуванням повітряних мас.

Формування радіаційного типу заморозків пов'язане з радіаційним вихолоджуванням приземного шару повітря і поверхні ґрунту та рослинності внаслідок інтенсивного нічного випромінювання за безвітряної безхмарної погоди. Ці заморозки можуть спостерігатися впродовж довгого періоду (10-15 днів) в ранкові години (4-7), за умови відсутності адвекції теплого повітря. Радіаційні заморозки в різних фізико-географічних умовах спостерігаються за неоднакового рівню середньодобових температур. В приморських районах відзначається їх припинення весною і наступ восени за рівню середньодобових температур значно нижчого, ніж в континентальних – відповідно 5-6 і 12-13 °С. Другою особливістю цього типу заморозків є значний вертикальний градієнт температур в приземному шарі повітря. Різниця мінімальних температур на рівні психрометричної будки (2 м) і на поверхні ґрунту або рослинного покриву може досягати 5-7 і до 9 °С. Найнижчі мінімальні температури за радіаційних заморозків відзначається в шарі повітря 2-50 см.

Найбільш небезпечними для сільськогосподарських культур є адвективно-радіаційний тип заморозків, фізичний механізм формування яких пов'язаний з адвекцією холодних повітряних мас з наступним радіаційним вихолоджуванням внаслідок ефективного випромінювання в ясні безвітряні ночі. Небезпечність заморозків обумовлена двома причинами. По-перше, цей тип заморозків може бути за високих середньодобових температур (в континентальних районах – до 15 °С). По-друге, цей тип заморозків найчастіше спостерігається в приповерхневому шарі повітря, їх інтенсивність складає 2-3 °С на рівнині, а тривалість одного заморозку може досягати 12-20 годин.

І. А. Гольцберг вперше проведено фундаментальні дослідження агро- і мікрокліматичних аспектів формування весняних і осінніх заморозків, закономірностей й особливостей їх поширення в географічному розрізі на території минулого СРСР, країн Європи і Світу та їх мінливості в умовах розчленованого рельєфу і близькості водоймищ. Нею також виконана оцінка ймовірності пошкодження сільськогосподарських культур, а на підставі паралельного аналізу прояву заморозків і пошкодження культур були запропоновані рекомендації з диференційного захисту культурних рослин (межах території минулого СРСР). В подальшому дослідження механізму утворення і географічного прояву були виконані стосовно до територій різних республік СРСР Копачевською М. М., Туркетті З. Л., Берлянд М. Є., Красицим П. М., Мкртчяном Р. С., Міщенко З. А., Ляшенко Г. В.

Весняні і осінні заморозки в помірному поясі – нормальне кліматичне явище для перехідних сезонів року. Небезпечними для сільськогосподарських культур вони стають тільки у випадку їх прояву вдругій половині весни і на початку осені період вегетації культур. Відомості про заморозки необхідні для оцінки заморозконебезпечності території з метою розрахунку строків сівби і можливих дат сходів різних культур, визначення ймовірності пошкодження квіток та зав'язі ягідних і плодових культур, розробки системи розміщення культур і методів захисту від заморозків.

5.3.2 Заморозкостійкість сільськогосподарських культур

Стійкість рослин до заморозків і ступінь їх пошкодження внаслідок зниження мінімальних температур до від'ємних величин на фоні додатних середньодобових температур (до 10 °C і вище) визначається багатьма факторами: календарного періоду, фази розвитку рослини і їх стану, інтенсивності і тривалості заморозку. Вона обумовлена особливістю проходження різних фізіологічних процесів, в тому числі, процесів трансформації води в рослині. В цілому заморозкостійкість усієї рослини визначається заморозкостійкістю їх окремих органів, насамперед, найбільш чутливих до зниження температур.

Відношення рослини до заморозку характеризує її заморозкостійкість, яка представляється у вигляді критичної температури $T_{кр}$. Температура нижче $T_{кр}$ зумовлює її пошкодження заморозками. Але цей показник є узагальнюючою характеристикою для окремих рослин або їх органів, а ступінь небезпечності визначається комплексом факторів – календарним строком заморозку, його інтенсивністю і швидкістю зниження температур. Найбільш повну класифікацію рослин за ступенем заморозкостійкості розробив В. М. Степанов. Він виділив п'ять екологічних груп рослин (табл.5.6).

1. Найбільш стійкі – $T_{кр}$ складає -7, -10 °C і нижче. До цієї групи входять рослини помірного поясу.
2. Стійкі – $T_{кр} = -5, -8$ °C.
3. Середньостійкі – $T_{кр} = -3, -4$ °C.
4. Малостійкі – $T_{кр} = -2, -3$ °C.
5. Нестійкі – $T_{кр} = -1,5$ °C.

Треба відзначити, що генеративні органи більш чутливі до заморозків і пошкоджуються за значно меншої їх інтенсивності. Наприклад, квітки і зав'язі більшості заморозкостійких рослин витримують мінімальні температури до -3, -4 °C, тоді як сходи – -9 і -10

Таблиця 5.6 – Стійкість сільськогосподарських культур до заморозків ($T_{кр}$, °C)

Культура	Температура початку пошкодження і часткової загибелі (°C)			Масова загибель (°C)		
	сходи	цвітіння	молочна стиглість	сходи	цвітіння	молочна стиглість
Найбільш стійкі						
Яра пшениця	-9, -10	-1,-2	-2, -4	-10, -12	-2	-4
Овес	-8, -9	-1,-2	-2, -4	-9, -11	-2	-4
Ячмінь	-7, -8	-1,-2	-2, -4	-8, -10	-2	-4
Сочевиця	-7, -8	-2,-3	–	-8, -10	-3	–
Горох	-8, -9	-3	-3, -4	-8, -10	-3, -4	-4
Стійкі						
Люпін багаторічний	-7, -8	-3	-3	-8, -10	-3, -4	-3, -5
Віка яра	-8, -9	-2,-3	-2,-3	-8, -9	-3	-3, -4
Люпін вузьколистний	-5, -6	-2,-3	-3	-6, -7	-3, -4	-3, -4
Бобби	-6, -7	-2,-3	–	-6, -7	-3	-3, -4
Соняшник	-5, -6	-1,-2	-2,-3	-7, -8	-3	-3
Льон, конопля	-5, -7	-1,-2	-2,-4	-7	-2	-4
Цукровий буряк	-6, -7	-2,-3	–	-8	-3	–
Буряк кормовий	-6, -7	-2,-3	–	-8	-3	–
Морква, брюква	-6, -7	–	–	-8	–	–
Середньостійкі						
Люпін жовтий	-4, -5	-2, -3	–	-6	-3	
Соя	-3,-4	-2	–	-4	-2	
Редис	-4,-5	–	–	-6	–	
Могар	-3,-4	-1,-2	–	-4	-2	
Малостійкі						
Кукурудза	-2,-3	-1,-2	-2,-3	-3	-2	-3
Просо, сорго, бульба	-2	-2	-1, -2	-2,-3	-2,-3	-3
Нестійкі						
Огірки, томати	-1, -2	–	–	-2	–	–
Гречка	-1, -2	-1	-1,5, -2	-2	-1	-2
Бавовник	-0,5, -1	-0,5, -1	–	-1	-1	–
Квасоля	-0,5,-1,5	-0,5, -1	-2	-1, -5	-1	-2
Рис	-0,5,-1	-0,5	–	-1	-0,5	–
Баштанні	-0,5,-1	-0,5, -1	-0,5	-1	-1	-1

°C. Загибель квіток більшості рослин спостерігається за температури -3, Чи не найбільшу шкоду в нашій країні заморозки наносять плодовим і

ягідним культурам, винограду і овочевим. В окремі роки можливе значне пошкодження технічних культур (цукровий буряк, соняшник), кукурудзи і навіть зернових культур першої групи. Для плодових культур, винограду і ягідників заморозки особливо небезпечні в період цвітіння і утворення зав'язі (табл. 5.7). Наприклад, дерево лимону повністю пошкоджується заморозком інтенсивністю $-9, -10^{\circ}\text{C}$, крона – за інтенсивності $-7, -8^{\circ}\text{C}$, листя – -6°C . Закриті бутони яблуні, груші, сливи, вишні пошкоджуються заморозками інтенсивністю -4°C , квітки гинуть за температури -2°C , а плодові зав'язі – за -1°C . Закриті бутони абрикосу і персику пошкоджуються заморозками -2°C , а їх плодові зав'язі – за -1°C . Бруньки винограду, що розпустилися, витримують заморозки до -1°C , а квітки – -0°C . Зерно основних зернових культур у фазі молочної стиглості пошкоджується заморозками $-2, -4^{\circ}\text{C}$, а критична температура $T_{кр}$ пошкодження зерна у фазі воскової і, особливо, повної стиглості знижується до $-8, -9^{\circ}\text{C}$. Генеративні ж органи менш заморозкостійких культур пошкоджуються вже за температури $-0, -2^{\circ}\text{C}$.

5.3.3 Агрокліматичні показники заморозконебезпечності території

До основних показників режиму заморозків відносяться дати останніх весняних і перших осінніх заморозків у повітрі ($D_{ВВ}, D_{ВО}$) і на поверхні ґрунту ($D_{ПВ}, D_{ПО}$), тривалість беззаморозкового періоду ($N_{б/п}$), сума температур вище 10°C за цей період ($\Sigma T_{б/п}$) та коефіцієнт заморозконебезпечності (K_3) як відношення тривалості беззаморозкового періоду до тривалості періоду з температурами вище 10°C . За виключенням останніх двох, інформацію про заморозконебезпечність територій можна отримати із довідників про клімат та із агрокліматичних довідників. В них є також дані з ймовірності дат заморозків на окремі фенологічні дати теплолюбних сільськогосподарських культур та можливу мінливість їх в окремих місцезонах за розробленою І. А. Гольцберг схемою.

Детальна характеристика заморозконебезпечності територій, зважаючи на заморозкостійкість сільськогосподарських культур, вимагає визначення дат весняних і осінніх заморозків як в повітрі, так і на поверхні ґрунту і рослин, в розрізі їх інтенсивності від -0 до -5 ($-0, -1, -2, -3, -5$) $^{\circ}\text{C}$. Традиційно тривалість беззаморозкового періоду розраховується як період після ночі з останнім весняним до ночі перед першим заморозком восени інтенсивністю -0°C . Але, знову ж таки, зважаючи на заморозкостійкість культур, є сенс виконання розрахунків й тривалості беззаморозкового періоду з цими інтенсивностями.

Таблиця 5.7 – Критичні температури пошкодження заморозками
плодових культур ($T_{кр}$, °C)

Культура	Органи рослини	Критична температура
Яблуна, груша, вишня слива	Закриті бутони	-4
	Квітки	-2
	Плодові зав'язі	-1
Черешня	Бутони і квітки	-2
	Плодові зав'язі	-1
Абрикос, персики	Закриті бутони	-2
	Квітки	-3
	Плодові зав'язі	-1
Виноград	Бруньки, що розпустилися	-1
	Квітки	-2
Ягідники (малина, суниця)		
Лимон	Квітки і зав'язі	-9,-10
	Дерево повністю	-7,-8
	Крона	-6
Апельсин	Листя	-10,-11
	Дерево повністю	-8,-9
	Крона	-7
Мандарин	Листя	-12
	Дерево повністю	-10
	Крона	-8

Комплексна агрокліматична оцінка режиму заморозків територій виконується на підставі кількісної характеристики усіх показників і базується на встановленні зв'язку між різними показниками. Так, І. А. Гольцберг встановлена тісна залежність між датами останніх весняних і перших осінніх заморозків з тривалістю беззаморозкового періоду. Наочно видно зменшення тривалості періоду із більш пізніми датами весняних і ранніх осінніх заморозків (табл. 5.8).

На прикладі території Молдови і України Міщенко З. А. і Ляшенко Г. В. проведено аналіз і отримано зв'язок між інтенсивністю останнього весняного і першого осіннього заморозків і тривалістю беззаморозкового періоду, графічний вигляд якого показано на рис.5.5. Наочно видно, що із збільшенням інтенсивності заморозків від -0 до -5 °C, однаково для весняних (а) і осінніх (б) заморозків, тривалість беззаморозкового періоду зменшується. Дуже чітко простежується зв'язок між усіма показниками режиму заморозків у повітрі (2 м) і на поверхні ґрунту. Заморозки на поверхні ґрунту весною припиняються

Таблиця 5.8 – Зв'язок тривалості беззаморозкового періоду і дат останніх весняних і перших осінніх заморозків (в континентальній частині СРСР)

$N_{\delta/n}$ (діб)	Середні дати		$N_{\delta/n}$ (діб)	Середні дати	
	початок	кінець		початок	кінець
60	20.VI	19.VIII	150	1.V	27.IX
75	12.VI	26.VIII	165	21.IV	2.X
90	5.VI	3.IX	180	12.IV	9.X
90	1.VI	29.VIII	195	6.IV	18.X
105	31.V	12.IX	210	30.III	25.X
120	21.V	18.IX	225	26.III	6.XI
135	10.V	22.IX			

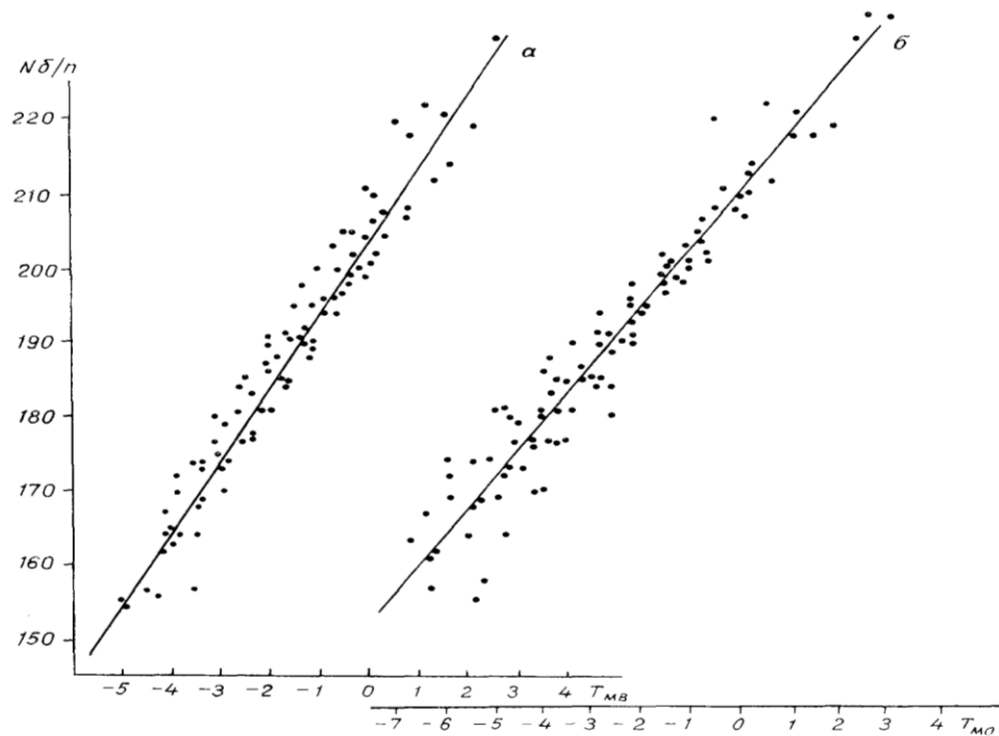


Рисунок 5.5 – Зв'язок між інтенсивністю останніх весняних (а) і перших осінніх (б) заморозків і тривалістю беззаморозкового періоду

пізніше, а восени спостерігаються раніше, за інших рівних умов. Відповідно й тривалість беззаморозкового періоду більша у повітрі.

5.3.4 Географічний розподіл режиму заморозків

Основні закономірності географічної мінливості умов заморозконебезпечності визначаються великомасштабними циркуляційними процесам і наявності в перехідні періоди року центрів дії атмосфери – баричних депресій і максимумів. Результати проведених

досліджень дозволили І. А. Гольцберг встановити основні закономірності географічного розподілу режиму заморозків на території минулого СРСР, Європи і Світу. Відзначається значний вплив географічної широти і довготи та висоти над рівнем моря, а також континентальності клімату і теплих морів. Із зростанням географічної широти простежується здвигання дати останніх весняних заморозків на більш пізні строки, а осінніх – на ранні строки однаково у повітрі і на поверхні ґрунту. З півночі на південь зменшується інтенсивність заморозків весною і восени. Географічна довгота чинить дещо менший вплив. Збільшення абсолютної висоти місцевості обумовлює більш пізні строки весняних і ранні – осінніх заморозків. Відповідно простежується закономірність збільшення тривалості беззаморозкового періоду з півночі на південь, яка порушується наявністю гірських систем і морів. Ці закономірності і особливості просторового розподілу тривалості беззаморозкового періоду як основного показника режиму заморозків наочно видно на карті (рис.5.6).

5.3.5 Імовірнісна оцінка показників режиму заморозків

Інформації про середні багаторічні величини показників режиму заморозків, як і для інших показників лімітуючих агрокліматичних факторів, недостатньо для визначення ступеню заморозконебезпечності території для тих чи інших сільськогосподарських культур. Тому особливу задачу представляє розрахунок імовірності заморозків різної інтенсивності на завдану дату або сумарну ймовірність припинення весняних заморозків певної тієї чи іншої інтенсивності до певної дати. Такі розрахунки необхідно виконувати для кожного із вказаних агрокліматичних показників режиму заморозків, усього 26 показників. Розрахунок ймовірності і забезпеченості можна виконувати як за універсальним графоаналітичним методом Алексєєва, так і за спрощеним методом І. А. Гольцберг, який базується на визначенні середньої багаторічної величини (\bar{X}), середнього квадратичного відхилення(σ) і коефіцієнта Гаусса(K_G). Формули розрахунку мають вигляд:

$$D_{вв(\%)} = \bar{D}_{вв} \pm \sigma_{D_{вв}} \cdot K_G \quad (5.24)$$

$$D_{во(\%)} = \bar{D}_{во} \pm \sigma_{D_{во}} \cdot K_G \quad (5.25)$$

$$N_{б/n(\%)} = \bar{N}_{б/n} \pm \sigma_N \cdot K_G \quad (5.26)$$

де $D_{вв(\%)}, D_{во(\%)}, N$ – можливі дати припинення весняних і наступу осінніх заморозків, тривалість беззаморозкового періоду; $\bar{D}_{вв}, \bar{D}_{во}, \bar{N}_{б/n}$ – середня багаторічна величина показників; $\sigma_{\bar{D}}, \sigma_{\bar{D}}, \sigma_N$ – середні

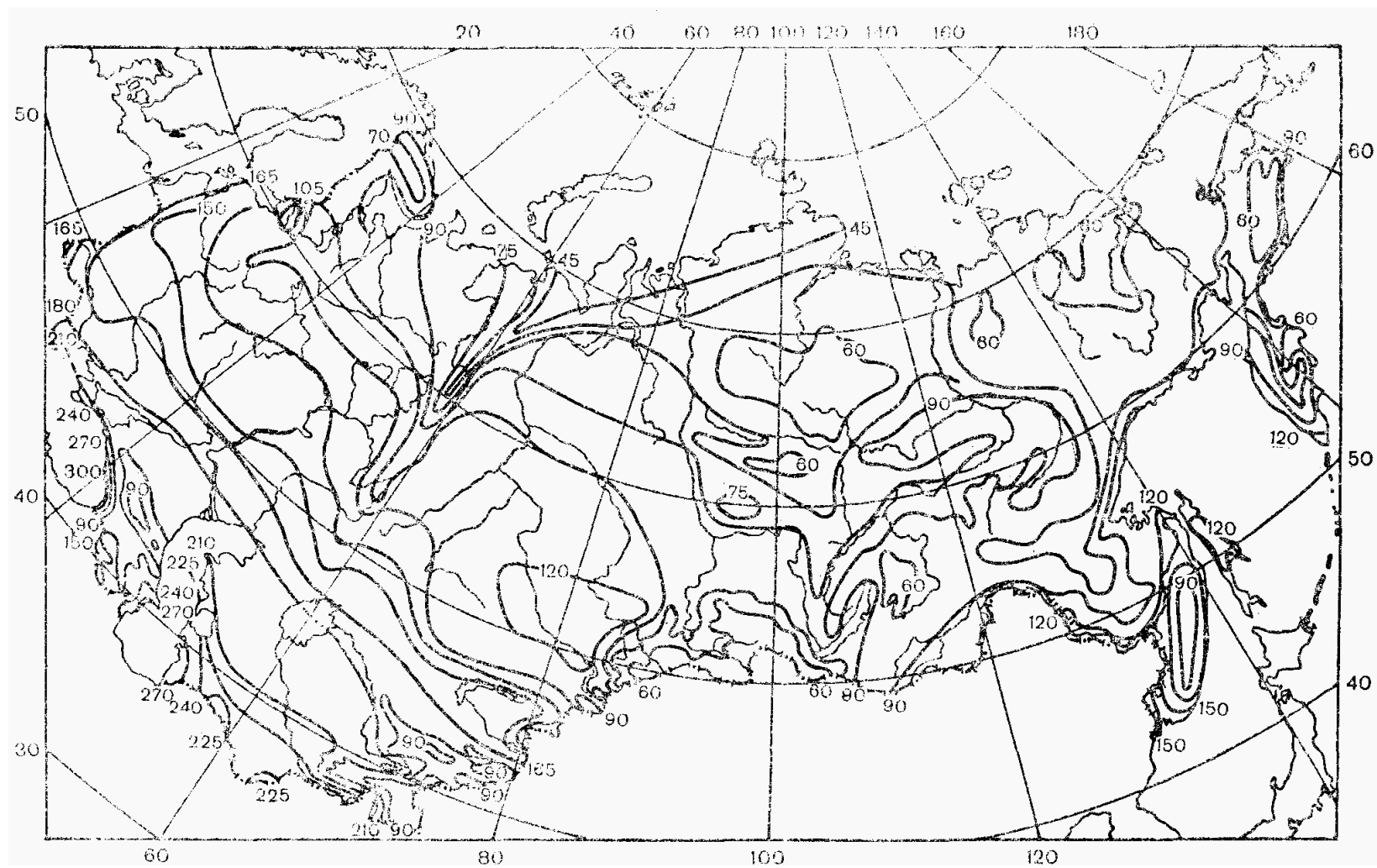


Рисунок 5.6 – Тривалість беззаморозкового періоду (середня багаторічна величина) в повітрі

квадратичні відхилення середніх величин показників; K_z – коефіцієнти нормального розподілу до $\sigma_e, \sigma_o, \sigma_N$ для визначення відхилення від середніх у вигляді $n = \sigma \cdot K_z$.

В табл. 5.9 показано приклад розрахунку сумарної ймовірності припинення заморозків весною у відхиленнях від середньої дати (n) або в абсолютних значеннях раніше вказаних дат. Наочно видно, що за однакових величин n дати весняних зааморозків різної ймовірності в Москві припиняються на місяць пізніше ніж в Одесі.

За величиною середнього квадратичного відхилення І. А. Гольцберг на території СРСР виявила сім типів кривих ймовірності заморозків, які виділені на мілкомасштабних картах розподілу дат весняних і осінніх заморозків та тривалості беззаморозкового періоду. Ймовірність заморозків збільшується із збільшенням σ від 7-9 до 20 і більше. Весною мають місце 1, 2, 3, 4, 5, 7 типи кривих ймовірності дат заморозків, які відповідають величинам σ_e від 7-9 до 20. Для Східного Сибіру виділяється особливий район частих заморозків влітку. Восени переважають 1, 2, 3, 4, 5 типи кривих ймовірностями із величинами σ_o від 7-9 до 15-17.

Цілісна інформація про режим заморозків, яка включає детальну характеристику просторово-часової їх мінливості, може бути надана у вигляді номограм ймовірності. На рис. 5.7 надано приклад складання такої номограми для заморозків різної інтенсивності весною (ліва частина) і восени (права частина) для чотирьох регіонів (а, б, в і г) території минулого СРСР. Наочно видно різницю у датах заморозків різної інтенсивності в різних регіонах країни та їх часової мінливості, яка відбивається розмахом прямих (прямих, які відповідають ймовірності 5 - 95%). Крім того, за цим графіком можна визначити тривалість беззаморозкового і заморозкового періодів різної інтенсивності і ймовірності. За номограмами можна виконувати йзворотню задачу – за величинами ймовірності визначають припинення весняних і наступу осінніх заморозків. Наприклад, в Україні (Полісся) заморозки в повітрі інтенсивністю -2°C і нижче один раз в 10 років закінчуються до 1 квітня, в пяти роках - до 16 квітня і повністю в усі роки вони припиняються до 15 травня. Восени заморозки вказаної інтенсивності в 10 % років починаються в цьому регіоні раніше 4 жовтня і в 9 роках із 10 – раніше 8 листопаду. Вони ніколи не спостерігаються раніше 20 вересня.

Таблиця 5.9 – Сумарна ймовірність дат припинення заморозків весною у відхиленнях від середньої або вказаних дат

Показник	Забезпеченість (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K_z	-2,25	-1,28	-0,87	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,87	1,28	2,25
$n = \sigma \cdot K_z$	-32	-18	-12	-7	-4	0	4	7	12	18	32
D_{63} в Москві	10.IY	24.IY	30.IY	5.Y	8.Y	12.Y	16.Y	19.Y	24.Y	30.Y	13.YI
D_{63} в Одесі	4.III	18.III	24.III	29.III	1.IY	5.IY	9.IY	21.IY	17.IY	23.IY	7.Y

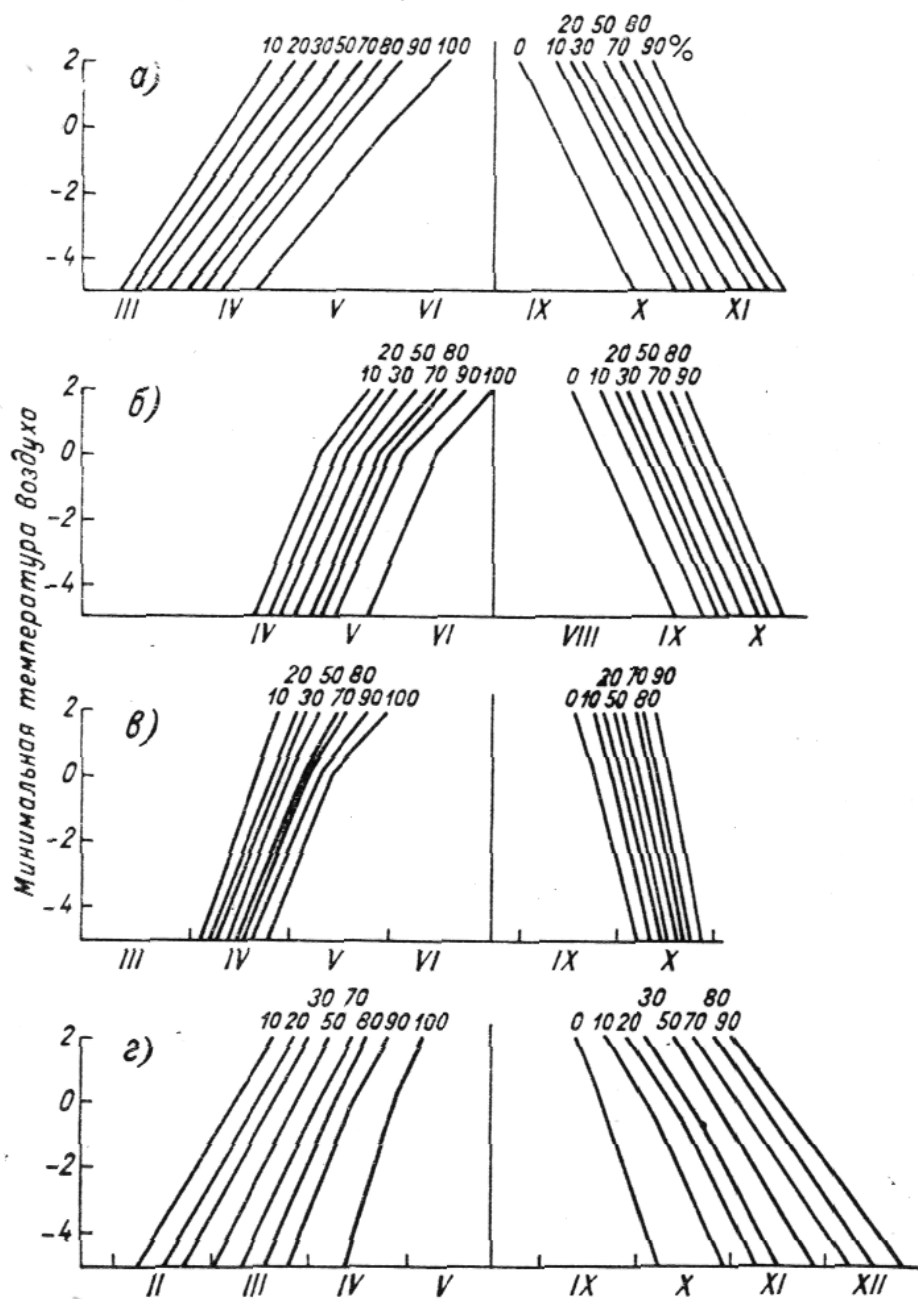


Рисунок 5.7 – Ймовірність заморозків різної інтенсивності в різних регіонах: а) Полісся, б) Західний Сибір, в) Далекий Схід, г) Середня Азія

5.3.6 Заморозконебезпечність територій

Визначення заморозконебезпечності територій виконується стосовно до сільськогосподарських культур, видовий і сортовий склад яких відрізняється в різних регіонах. Тому оцінка заморозконебезпечності території повинна виконуватися за комплексною ймовірнісною характеристикою режиму заморозків і асортименту культур з врахуванням їх стійкості до заморозків.

Гольцберг І. А. вперше виконала таку оцінку за датами припинення весняних заморозків і тривалістю вегетаційного періоду. Територію СРСР було поділено на три зони: холодну, помірну і теплу. Для холодної зони характерна відсутність чітко виділеного у часі беззаморозкового періоду, який поділяє весняні й осінні заморозки. В межах цієї зони, південна частина якої співпадає з південною межею вічної мерзлоти, виділено два крупних райони, які відрізняються за тривалістю беззаморозкового періоду. Цей район охоплює крайню північ Азіатської частини СРСР, гірські райони території Східного Сибіру і Якутії (рис. 5.8). Цей район дуже холодний, не землеробський: тривалість беззаморозкового періоду $N_{б/н}$ в повітрі складає в північній частині 25-40 діб, а на південній межі – не більше 60 діб. Заморозки можливі в будь-яку добу літа інтенсивністю -2,-3 °С. Тут переважають адвективні заморозки. В другому холодному районі землеробство можливе окремими осередками. До нього входять території з середньою тривалістю беззаморозкового періоду від 60 до 90 діб. Заморозки тут можливі в усі місяці вегетаційного періоду. Весняні заморозки в червні малої інтенсивності для сходів сільськогосподарських культур безпечні. Заморозки влітку і восени дуже небезпечні для картоплі і зернових в період цвітіння і наливу зерна.

В помірній зоні також виділено два райони за ступінню небезпечності весняних заморозків для малостійких до заморозків сільськогосподарських культур. Критична температура пошкодження цих культур знаходиться в межах 0-3 °С на рівні рослин. Найбільш часто (до 5-6 разів за 10 років) небезпечні весняні заморозки в регіоні з континентальним кліматом, територіально розділеним на окремі частини. Тут небезпечні весняні заморозки для сходів теплолюбних культур, крім городини, картоплі і кукурудзи. Дещо рідше спостерігається пошкодження заморозками сходів ярих зернових культур. На території південної частини Західного Сибіру, Північного Казахстану і Поволжжя повторюваність небезпечних заморозків для теплолюбних культур також велика – 5-6 разів із 10 років. Весняні заморозки тут можуть пошкоджувати теплолюбні овочеві культури і полбові культури (наприклад, гречку) в 5-6 роках із 10. В 2-3 роках із 10 в західній частині району пошкоджуються квітки і зав'язі плодових (вишні, яблуні) і винограду. На схід пошкодження цих культур заморозками збільшується. З такою ж частотою пошкоджуються ранні сходи бульби, кукурудзи, проса. Можливі пошкодження сходів ярих зернових (вівса і ячменю).

Оцінка заморозконебезпечності території виконується шляхом визначення ймовірності заморозків різної інтенсивності на певну середню дату фаз різних культур. Орієнтація на середні дати фаз несе в собі помилку через недостатню детальність їх часової мінливості. Більш

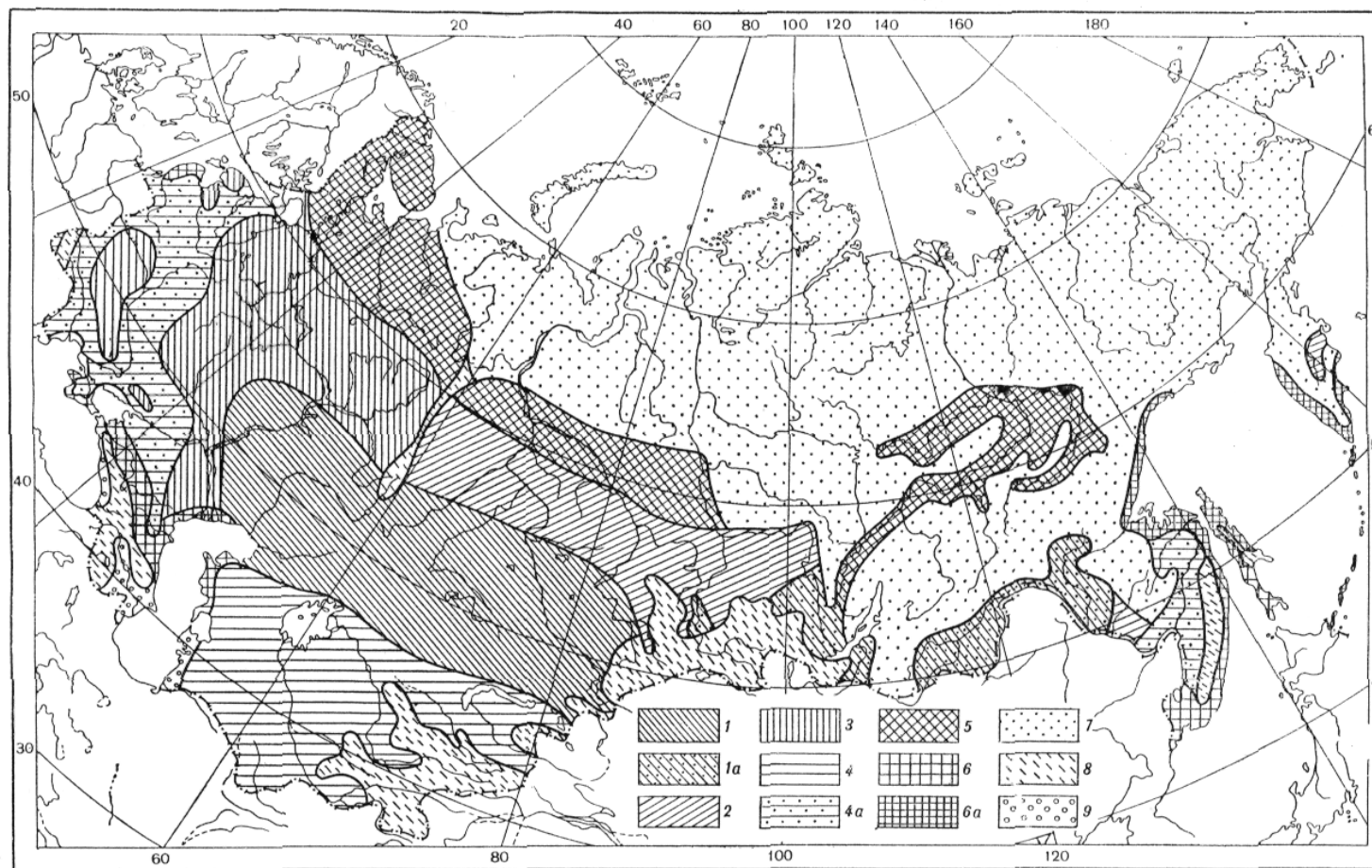


Рисунок 5.8а – Ймовірність небезпечних весняних заморозків.

Райони: 1 і 1а – 50-60%; 2 – 40-50%; 3 – 30-40%; 4 і 4а – 20-30%; 5 – 10-20%; 6 і 6а – 0-10%; 7 – безпечні (коротка ніч, пізні сходи; 8 – гірські район из дуже складним розподілом заморозків; 9– небезпечні умови для субтропічних культур.

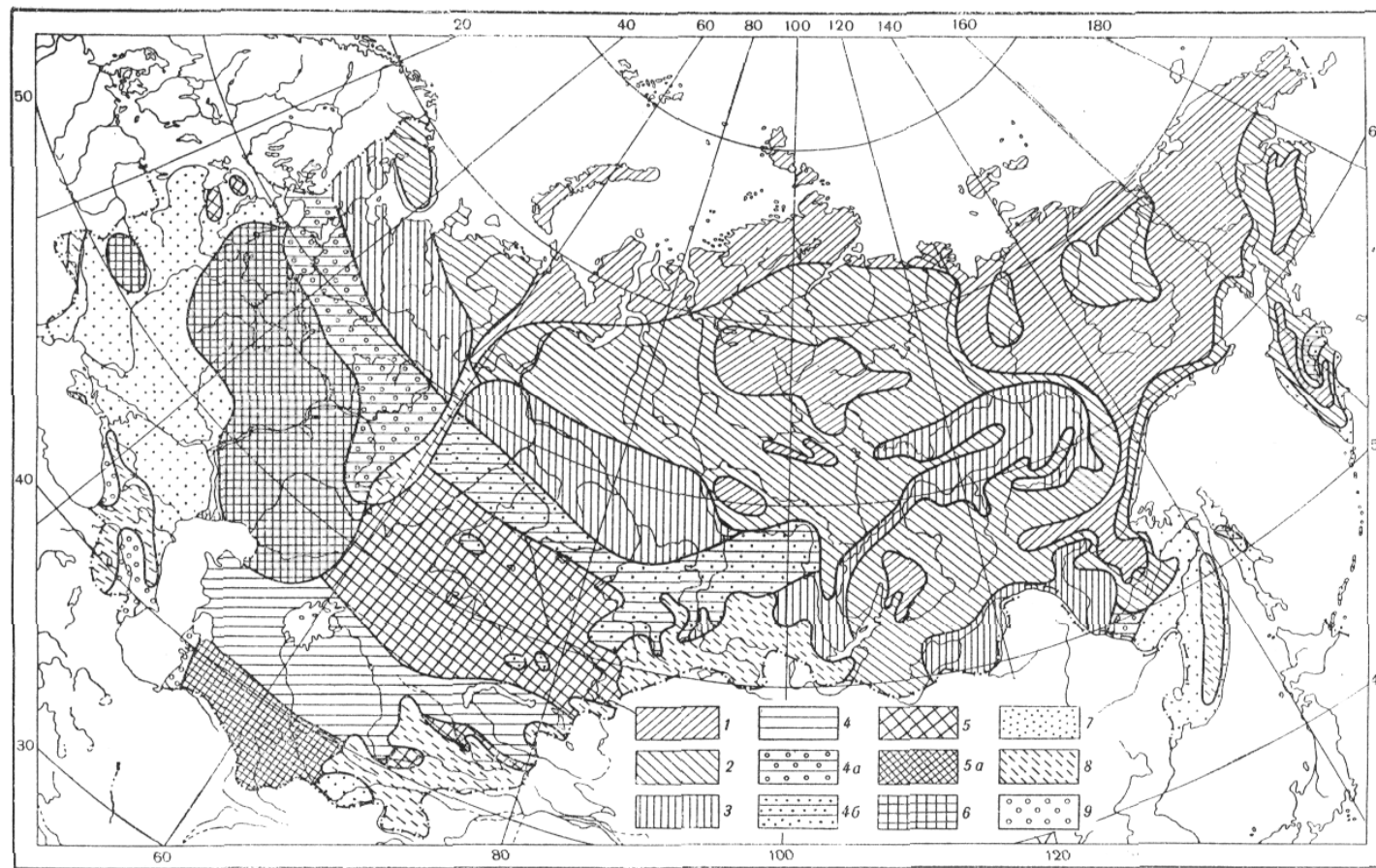


Рисунок 5.8б – Ймовірність небезпечних осінніх заморозків.

Райони: 1 – щорічно (посіви відсутні); 2 – більше 5 (небезпечні влітку); 3 – 30-40%; 4, 4а и 4б – 20-30%; 5 і 5а – 10-20%; 6 – 0-10%; 7 – безпечні (позні заморозки); 8 – гірські райони з дуже складним розподілом заморозків (небезпечність не характеризується); 9 – небезпечні для південних субтропічних культур.

коректно було б орієнтуватися на ймовірнісну характеристику й дат фаз. Для вирішення такого роду задач (стосовно визначення пошкодження заморозками винограду в різні фази) Ляшенко Г.В. запропоновано метод визначення умовних ймовірностей, який застосовують для визначення комплексних характеристик в кліматології. Вирішення задачі виконується шляхом складання матриці двохвимірною розподілу дат наступу фаз розвитку сільськогосподарської культури і дат заморозків різної інтенсивності та визначення умовних ймовірностей $P\left(\frac{X_i}{Y_j}\right)$ і $P\left(\frac{Y_j}{X_i}\right)$ за рівняннями:

$$P\left(\frac{X_i}{Y_j}\right) = \frac{P(X_i, Y_j)}{P(Y_j)} \quad (5.27)$$

$$P\left(\frac{Y_j}{X_i}\right) = \frac{P(X_i, Y_j)}{P(X_i)} \quad (5.28)$$

де X_i - ймовірність дати певної фази конкретної культури, представленої через критичну температуру, яка характеризує заморозкостійкість рослини; Y_j - ймовірність заморозку певної інтенсивності.

Фактично отримані величини являють собою ймовірності співпадання певних градацій значень двох елементів. Між датами наступу фаз сільськогосподарських культур і датами заморозків функціональної залежності немає. Але якщо представити фази культур через критичні температури пошкодження $T_{кр}$ і визначити ймовірності наступу фаз та ймовірності заморозків різної інтенсивності, отримані дані умовних ймовірностей будуть точніше характеризувати ступінь заморозконебезпечності даної території стосовно до конкретної культури.

В графічному вигляді представлені результати розрахунку умовних ймовірностей являють собою систему кривих забезпеченостей або комплексну номограму забезпеченості строків припинення заморозків різної інтенсивності весною і їх наступу восени та дат наступу фаз впродовж вегетаційного періоду (рис.5.9). На графіку на осі абсцис відкладаються дати, а на осі ординат – відсотки забезпеченості. У полі графіку (а і б) будуються криві забезпеченості дат заморозків інтенсивністю -0, -1, -2, -3 і -5 °С весною і восени (криві 1-5) і дати наступу фаз, представлені кривими забезпеченості 6-10 весною і 11-14 – восени. До виконання розрахунків забезпеченості величин необхідно вірно виконувати ранжування членів сукупності показників.

При виконанні конкретної задачі виконувалося ранжування дат заморозків від ранніх дат до пізніх – весною і від пізніх до ранніх – восени. Таким чином, криві забезпеченості дат заморозків різної інтенсивності, які можливі пізніше заданої дати, а восени – раніше.

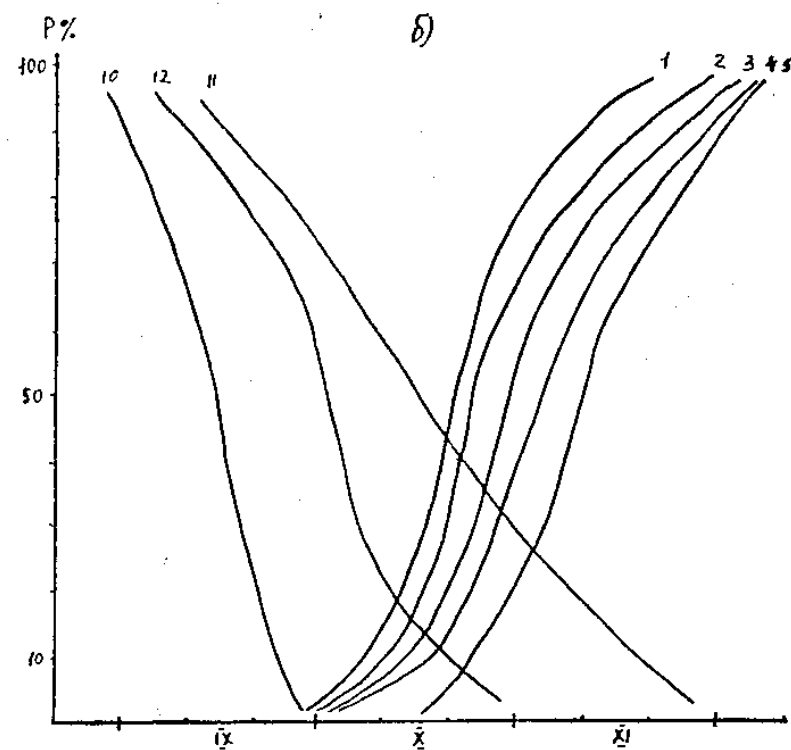
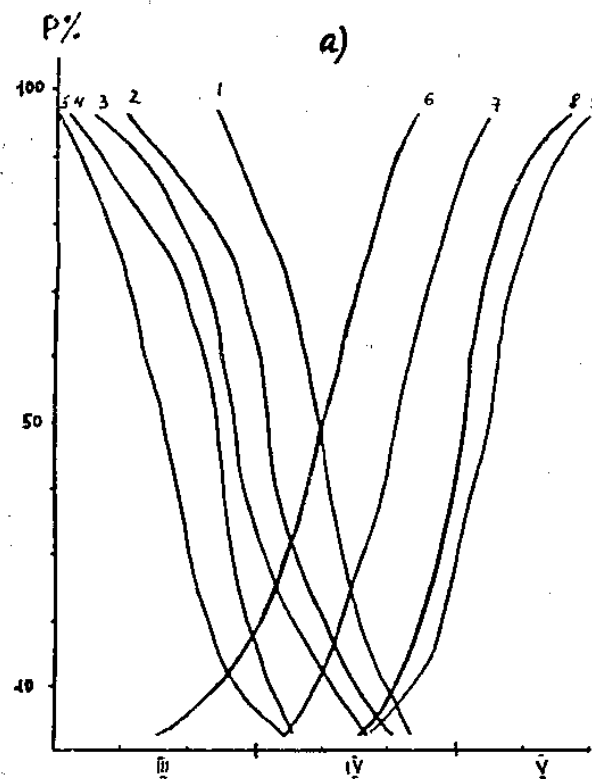


Рис. 5.9 – Номограми для розрахунку ймовірності пошкодження винограду весняними (а) й осінніми (б) заморозками на півдні Молдови: 1-5 – криві сумарної ймовірності заморозків інтенсивністю 0, -1, -2, -3, -4 °С; 6-12 – криві ймовірності фаз розвитку винограду (відповідно набубнявіння бруньок, розпускання бруньок, утворення 1-го і 3-го листів, кінець дозрівання, визрівання лози і збір врожаю).

Ранжування рядів фаз виконується у протилежному напрямку – риві будуються за таким правилом: дати фаз, можливі раніше заданої дати весною і пізніше – восени. З точки перетину кривих забезпеченості кожної і фаз культури, представленої величиною критичної температури, і дати заморозку відповідної критичній температурі інтенсивності проводиться горизонталь до вісі ординат і знімається величина умовної ймовірності пошкодження культури заморозком у відсотках.

Практична робота 5

Тема: **Агрокліматична оцінка умов морозонебезпечності.**

Мета: Надати оцінку умов морозонебезпечності території.

Порядок виконання роботи.

1. Виписати із агрокліматичного довідника для однієї метеостанції величини річні мінімуми температури повітря (T_{\min}) і занести в таблиці.
2. Скласти графік динаміки величин середнього із абсолютних мінімумів температури повітря взимку та визначити тренд (рис.5.1п).

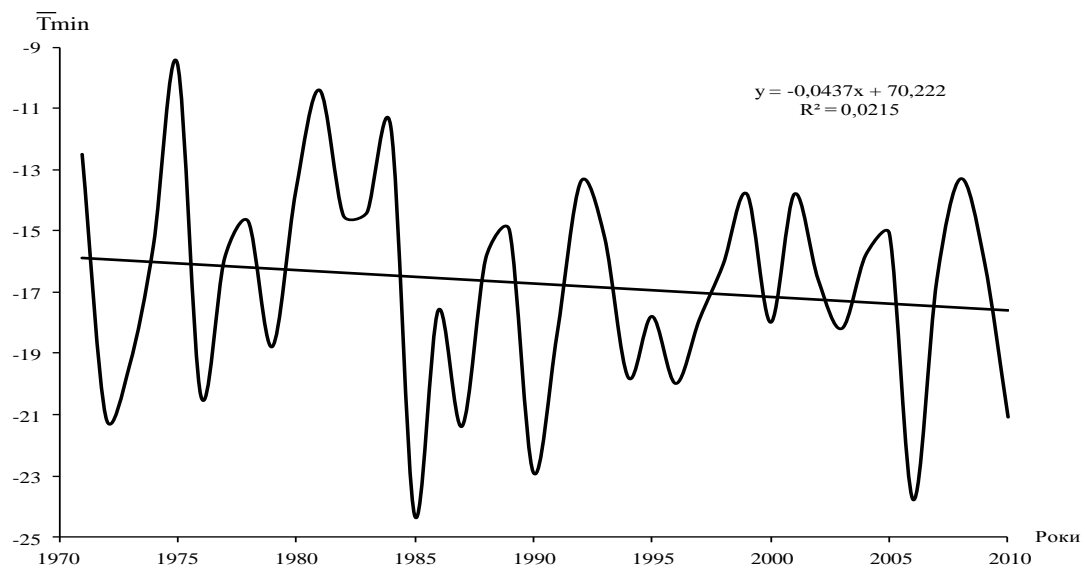


Рисунок 5.1п – Динаміка і тренд величин середнього із абсолютних мінімумів температури повітря взимку.

2. Виконати розрахунки статистичних характеристик показника – середню, максимальну і мінімальну величину,
3. Визначити відхилення величин від середньої ΔXi і квадрат відхилень ΔXi^2 , за якими визначити середнє квадратичне відхилення σ і коефіцієнт варіації C_v .
4. Проранжувати величини (від найнижчої до найвищої) Xi' і внести до таблиці.

5. Виконати розрахунок сумарної імовірності (забезпеченості) середнього із абсолютних річних мінімумів температури повітря взимку із застосуванням графоаналітичного методу Алексєєва.

6. За даними середньої величини і величини середньоквадратичного квадратичного відхилення σ виконати розрахунок сумарної імовірності середнього із абсолютних річних мінімумів температури повітря із застосуванням методу Гольберг І. А. за формулою

$$T_{\min(\%)} = T_{\min} + K(\%) \cdot \sigma$$

де $T_{\min(\%)}$ - величина середнього із абсолютних мінімумів температури повітря взимку певної імовірності; T_{\min} - величина середнього із абсолютних мінімумів температури повітря взимку імовірністю 50%; σ – середнє квадратичне відхилення; K – коефіцієнт для визначення величини показника певної імовірності.

Результати розрахунків занести до таблиці.

8. Побудувати графіки імовірності (криві імовірності) середнього з абсолютних мінімумів температури повітря T_{\min} за методами Алексєєва і Гольцберг (рис.5.2п). По осі абсцис 1 см – 10%, по осі ординат 1 см – 2°C. Крива 1 побудована по даним, отриманим за універсальним методом Алексєєва, крива 2 – за спрощеним методом І. А. Гольцберг.

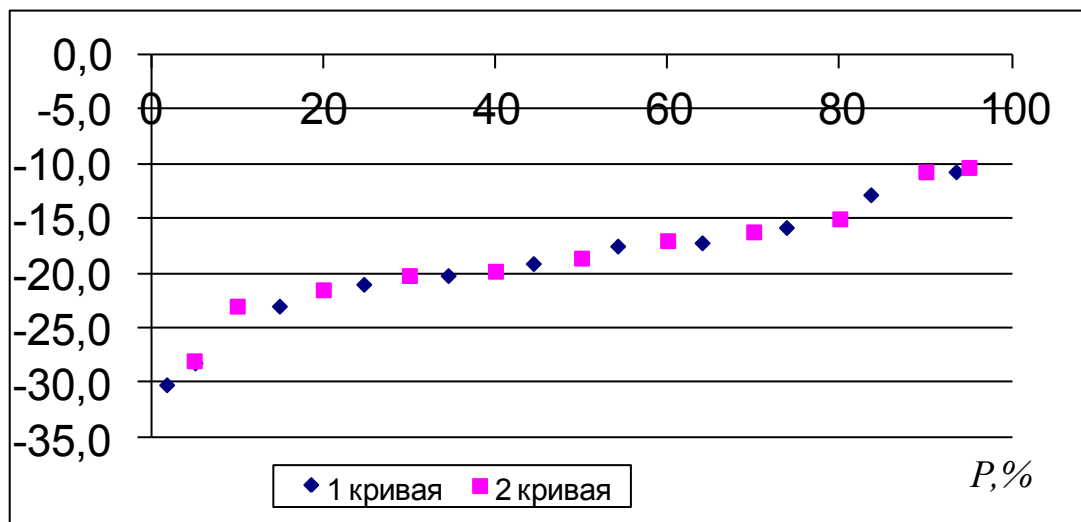


Рисунок 5.2п – Графік кривих імовірностей. Крива 1 - за універсальним методом Алексєєва, крива 2 – за спрощеним методом І. А. Гольцберг.

9. Розрахувати значення мінімальної температури на глибині вузла кушіння (3 см) за даними середнього із абсолютних мінімальних за методом В.О.Мойсейчик:

$$T_{M3} = 0,25T_M - 0,06H + 0,48,$$

де T_{M3} – мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кушіння, T_M – мінімальна температура повітря, H – глибина промерзання ґрунту.

10. Виконати аналіз умов морозонебезпечності дослідженої території.

Практична робота 6

Тема: Агрокліматична оцінка умов заморозконебезпечності.

Мета: надати оцінку умов заморозконебезпечності території.

Порядок виконання роботи

1. Аналогічно попередній практичній роботі виписати із агрокліматичного довідника значення показників заморозконебезпечності: дат весняних і осінніх заморозків у повітрі і на поверхні ґрунту, інтенсивності заморозків (-0, -1, -2, -3 і -5 °С), тривалості беззаморозкового періоду і сум температур за беззаморозковий період - $D_{\text{в}}$, $D_{\text{о}}$, $I_{\text{в}}$, $I_{\text{о}}$, $N_{\text{б/п}}$, $\Sigma T_{\text{б/п}} > 10^{\circ}\text{C}$ по одному пункту за 20-25 років.
2. Побудувати графіки динаміки і тренду показників умов заморозконебезпечності (рис.6.1п).

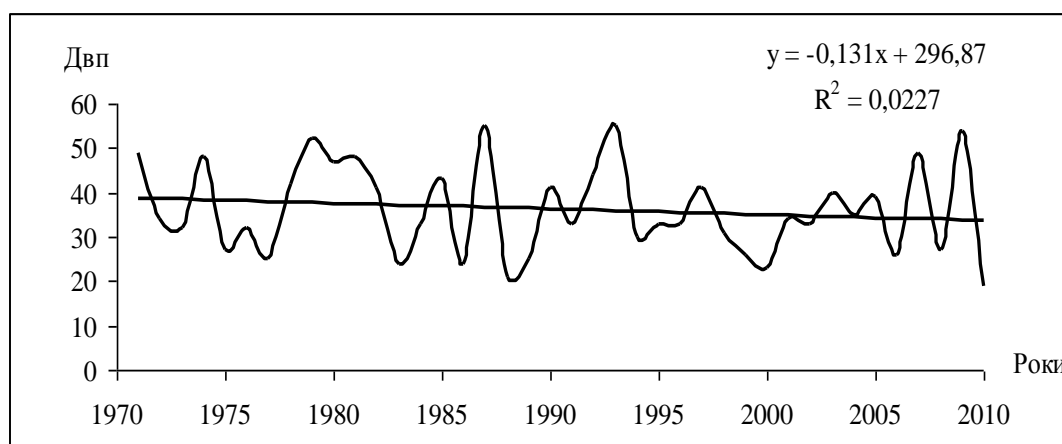


Рисунок 6.1п - Динаміка і тренд показників заморозконебезпечності.

3. Виконати розрахунок статистичних характеристик показників заморозконебезпечності (середні, максимальна і мінімальна величини, середньоквадратичне відхилення (σ), максимальне і мінімальне значення, амплітуда або діапазон мінливості величин та внести до табл.6.1п.
4. Виконати розрахунки сумарної імовірності (забезпеченості) показників умов заморозконебезпечності та занести до табл.6.1п.
5. Побудувати графіки імовірності показників заморозконебезпечності (рис.6.2п)
6. Виконати аналіз умов заморозконебезпечності території.

Питання до розділу 5

1. Назвати лімітуючі агрокліматичні умови.
2. Дати загальну характеристику умовам перезимівлі.
3. Які показники використовуються для оцінки морозостійкості культур?
4. Назвати авторів класифікацій морозостійкості культур.

5. Основні методи визначення показників морозонебезпечності.
6. Назвати авторів та надати характеристику комплексним методам оцінки умов перезимівлі.
7. Що являє собою показник суворості зими?
8. Охарактеризувати снігово-температурний показник.
9. Закономірності географічного розподілу умов морозонебезпечності територій.
10. Описати закономірності й особливості географічного розподілу ступеню морозонебезпечності для зимуючих культур.
11. Дати характеристику режиму заморозків.
12. Назвати типи і показники режиму заморозків.
13. Описати класифікацію рослин за стійкістю до заморозків й назвати автора класифікації.
14. Описати методи розрахунку ймовірності заморозків.
15. Надати характеристику закономірностям географічної мінливості умов заморозконебезпечності.

Список літератури до розділу 5

1. Мищенко З.А. Агроклиматология. Учебник. – Киев: КНТ. – 2009. – 512 с.
2. Синицина Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология. Учебное пособие. / Под ред. Гольцберг И.А. – М.: Гидрометеиздат. – 1973. – 344 с.
3. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 287 с.
4. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи. – Л.: Гидрометеиздат. – 1976. – 214 с.
5. Гольцберг И.А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. – Л.: Гидрометеиздат. – 1961. – 198 с.
6. Дроздов О.Д. Засухи и динамика увлажнения. – Л.: Гидрометеиздат. – 1977. – 247 с.
7. Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. / Под ред. А.И. Руденко. – Л.: Гидрометеиздат. – 1958. – 206 с.
8. Копанев И.Д. Климатические аспекты изучения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат. – 1982. – 240 с.
9. Личикаки В.М. Перезимовка озимых культур – М.: Колос. – 1974. – 208 с.
10. Мойсейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометеиздат. – 1975. – 295 с.
11. Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. – Вып. 156. – С. 19-38.

Зміст

ПЕРЕДМОВА.....	3
ВСТУП.....	4
1. ПРЕДМЕТ, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ В АГРОКЛІМАТОЛОГІЇ.....	5
2. ПРИНЦИПИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ОЦІНКИ КЛІМАТУ.....	7
2.1. Закони землеробства і фактори життя рослин.....	7
2.2. Класифікація сільськогосподарських культур за їх відношенням до факторів клімату.....	13
2.3. Методи визначення агрокліматичних показників.....	19
2.4. Принципи сільськогосподарської оцінки клімату.....	20
Питання до розділу 1 і 2.....	22
Список літератури до розділу 1 і 2.....	23
3. МЕТОДИ АГРОКЛІМАТИЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ БАГАТОРІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.....	24
3.1. Характеристики кліматичних і агрокліматичних показників.....	24
3.2. Просторова структурна і кореляційна функції (ПСФ, ПКФ).....	27
3.3. Методи агрокліматичної обробки матеріалів метеорологічних і агрометеорологічних спостережень.....	30
3.4. Специфіка контролю матеріалів агрометеорологічних спостережень.....	35
3.4.1 Специфіка обробки фенологічних спостережень.....	35
3.4.1.1 Обробка і контроль фенологічних спостережень за озимими культурами.....	36
3.4.1.2 Обробка і контроль фенологічних спостережень за деревинною рослинністю.....	39
3.4.2 Розрахунок імовірності настання фенологічних фаз в окремі роки.....	40
3.4.3 Специфіка обробки і контролю спостережень за вологістю ґрунту і промерзанням ґрунту.....	43
Практична робота 1.....	49
Питання до розділу 3.....	52
Список літератури до розділу 3.....	52
4. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТЕРИТОРІЙ.....	53
4.1. Радіаційно-світлові ресурси.....	53
4.1.1 Загальна характеристика ресурсів світла.....	53
4.1.2 Методи розрахунків сумарної сонячної радіації і ФАР для горизонтальної поверхні.....	56
4.1.3 Оцінка географічного розподілу сумарної сонячної радіації і ФАР для горизонтальної поверхні.....	62
4.2. Теплові ресурси територій.....	64
4.2.1 Методи розрахунку теплових ресурсів за традиційними показниками.....	64
4.2.2 Імовірнісна характеристика показників теплових ресурсів і оцінка теплозабезпеченості рослин.....	74
4.2.3 Теплові ресурси територій за показниками, що враховують добову ритміку температур.....	78
4.3 Методи оцінки ресурсів вологи.....	90
4.3.1 Оцінка вологозабезпеченості рослин за кількістю опадів.....	91

4.3.2 Оцінка вологозабезпеченості рослин за емпіричними методами.....	94
4.3.3 Оцінка вологозабезпеченості рослин за теоретичними методами.....	96
4.3.4 Оцінка вологозабезпеченості за умовними показниками зволоження.....	101
4.3.5 Оцінка вологозабезпеченості рослин за волого запасами у ґрунті.....	106
Практична робота 2.....	108
Практична робота 3.....	109
Практична робота 4.....	111
5. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ АГРОКЛІМАТИЧНИХ ЛІМІТУЮЧИХ	
 ФАКТОРІВ.....	112
5.1. Агрокліматичні лімітуючі фактори.....	112
5.2. Агрокліматична оцінка умов морозонебезпечності територій.....	112
5.2.1 Методи визначення і розрахунку показників умов перезимівлі.....	113
5.2.2 Часова мінливість умов морозонебезпечності.....	118
5.2.3 Сніговий покрив як показник морозонебезпечності території.....	120
5.2.4 Комплексні показники умов перезимівлі сільськогосподарських культур.....	123
5.3.Заморозки як лімітуючий агрокліматичний фактор.....	128
5.3.1 Загальна характеристика умов заморозконебезпечності	128
5.3.2 Заморозкостійкість сільськогосподарських культур.....	130
5.3.3 Агрокліматичні показники заморозконебезпечності території	132
5.3.4 Географічний розподіл режиму заморозків.....	134
5.3.5 Імовірнісна оцінка показників режиму заморозків.....	135
5.3.6 Заморозконебезпечність територій.....	139
Практична робота 5.....	145
Практична робота 6.....	147
Питання до розділу 5.....	147
Список літератури до розділу 5.....	148
Зміст.....	149