

#### 4.4. Наземний та аерокосмічний моніторинг температури повітря, необхідний для аналізу сучасної зміни клімату в Україні

Наслідки прогнозованого потепління можуть мати загрозливий екологічний вплив на екосистеми, зокрема на втрати біорізноманіття. Саме це стимулює в Україні дослідження з розвитку космічних і комп'ютерних технологій для отримання та обробки матеріалів ДЗЗ з метою виявлення як самих кліматичних змін, так і змін в природному середовищі.

При вирішенні завдань дистанційного моніторингу різних природних об'єктів, зокрема клімату, у багатьох випадках поряд з даними, одержаними на основі дистанційних систем спостережень, необхідно отримання різної додаткової інформації. Така інформація потрібна не тільки для прив'язки і калібрування даних дистанційних вимірів, проведення корекції даних, але й для побудови комплексних моделей, зокрема кліматичних, які описують різні явища і процеси, та для можливості їх фізичного обґрунтування і перевірки, впровадження у практику. Одним із видів такої додаткової інформації є різноманітна метеорологічна інформація, яка використовується на різних етапах дослідження стану у кліматичній системі. Потрібно виявити можливість застосування супутникової інформації разом з наземними метеорологічними даними для дослідження сучасних змін клімату в Україні та попередження і зменшення негативних наслідків.

Особливості ДЗЗ для дослідження глобальних і регіональних змін клімату з метою виявлення в атмосфері вмісту ПГ висвітлено в працях В. І. Лялька, О. І. Сахачького, Ю. В. Костюченка [64, 78, 79, 81].

В наш час в Україні для вивчення зміни клімату під керівництвом академіка НАН України В. І. Лялька, започатковуються дослідження з поєднання спільного наземного та аерокосмічного моніторингу [80], деякі аспекти з цієї проблеми будуть подані в даному розділі. Такий моніторинг необхідний для практичного використання інформації про зміни клімату в Україні, при веденні і розвитку господарства за нових кліматичних умов, а також для вивчення клімату та його змін для цілей оптимізації взаємодії людини з природою.

Було досліджено територію Тарханкутського півострова та східну частину України (рис. 4.10).

Використано дані 60 знімків з Landsat 4, 5 і 7 (табл. 4.16, 4.17) та 162 продукти MOD11C3, з них 18 денних та 144 місячних. Для порівняння даних супутника Landsat задіяно 10 наземних метеорологічних станцій. Порівняння даних продукту MOD11C3 проведено з даними середньомісячних температур 40 наземних метеорологічних станцій.

В даному дослідженні для порівняння з супутниковими даними використовувалися дані опорних метеорологічних станцій. Температура повітря вимірюється на рівні 2 м від землі, закрита будка, не

потрапляє світло, не забудована станція, в чітко визначених термінах через кожні 3 години. Для виявлення змін у температурному режимі за наземними даними застосовувався статистичний метод дослідження [63].

Для проведення зіставлення значень вимірів температури за даними наземних метеостанцій та даних теплового поля за космічними знімками були обрані такі космічні супутники: Landsat 4, 5, 7 та TERRA/MODIS. Вибір цих супутників обумовлений: 1) наявністю в знімальній апаратурі супутників так званого теплового каналу, діапазон електромагнітних хвиль 10.4–12.5 мкм; 2) дані з цих супутників можна отримати за тривалий період часу. Дані з супутників серії Landsat є в наявності з 1982 р., а дані з супутника TERRA/MODIS — з 2001 р.

Характеристики знімальної апаратури з супутників Landsat наведено в табл. 4.18. Супутник Landsat 4 виведено на орбіту 16 липня 1982 р., і роботу закінчено в червні 2001 р.; супутник Landsat 5 було виведено на орбіту 1 березня 1984 р., роботу закінчено в 2012 р., встановлено рекорд для супутників за часом роботи на орбіті в 28 років. Супутник Landsat 7 було виведено на орбіту 15 квітня 1999 р., в 2003 р. зазнав поломки прибор ETM+. В 2013 р. було виведено на орбіту супутник Landsat 8 з удосконаленою апаратурою, який почав передавати дані тільки з червня 2013 р. Тому супутник Landsat 8 нами в дослідженнях не використовувався.

Як видно з табл. 4.18, супутник Landsat 7 має деякі переваги над своїми попередниками. По-перше, це два теплових канали: 61 та 62, замість одного, як у супутників Landsat 4, 5. Незважаючи на однаковий діапазон електромагнітних хвиль для каналів 61 та 62, значення в них відрізняються завдяки методу обробки даних. По-друге, просторове розрізнення для теплових каналів на супутнику Landsat 7 за лінійними розмірами менше в 2 рази, а для площинного — менше в 4 рази. Тобто, там, де космічний знімок з супутників Landsat 4, 5 для теплового каналу має лише одну точку спостереження (піксел), супутник Landsat 7 має чотири точки спостереження (пікселя). По-третє, додається ще один канал під номером 8 — це панхромний канал, який має велике просторове розрізнення — 15 м і котрий був відсутній на супутниках Landsat 4, 5.

Перерахунок даних теплового каналу супутника Landsat в значення температури

З супутників Landsat 4, 5 в каналі 6 або в каналах 61 та 62 для супутника Landsat 7 отримуємо цифрові значення (DN — digital number), які не мають фізичної розмірності. Для отримання значень температури за космічними даними необхідно перерахувати дані теплових каналів у значення температури.



Рис. 4.10. Схема розподілу метеостанцій на території досліджень, використаних у роботі

Таблиця 4.16.

Номери дати зйомок космічних знімків з супутників Landsat на Турханкутський півострів

Landsat 4/5				Landsat 7							
1	18.09.1984	7	25.07.1987	13	13.07.2006	19	09.08.2010	23	09.12.1999	29	24.06.2002
2	01.06.1985	8	11.09.1987	14	29.07.2006	20	25.08.2010	24	04.07.2000	30	18.01.2003
3	22.07.1986	9	03.07.1988	15	14.06.2007	21	26.09.2010	25	21.08.2000	31	10.05.2003
4	08.09.1986	10	31.07.2001	16	16.07.2007	22	28.08.2011	26	17.03.2001		
5	24.09.1986	11	05.07.2003	17	01.08.2007			27	11.10.2001		
6	09.07.1987	12	06.08.2003	18	23.09.2009			28	16.02.2002		

Таблиця 4.17.

Номери дати зйомок космічних знімків з супутників Landsat Східної частини України.

Landsat 4/5				Landsat 7					
1	18.07.1984	7	27.07.1987	13	17.09.2006	19	06.09.1999	25	18.02.2002
2	02.05.1985	8	28.08.1987	14	31.05.2007	20	09.11.1999	26	09.05.2002
3	03.04.1986	9	10.12.1987	15	21.06.2009	21	04.06.2000	27	29.08.2002
4	22.06.1986	10	22.08.1988	16	07.07.2009	22	26.10.2000	28	30.09.2002
5	25.08.1986	11	25.09.2003	17	08.06.2010	23	04.04.2001	29	28.05.2003
6	10.09.1986	12	11.10.2003	18	30.08.2011	24	25.07.2001		

Таблиця 4.18.

Характеристики знімальної апаратури TM та ETM+ з супутників Landsat 4, 5 та Landsat 7

Landsat 4, 5 / TM				Landsat 7 / ETM+			
Номер каналу	Просторове розривнення	Початок, <i>нм</i>	Кінець, <i>нм</i>	Номер каналу	Просторове розривнення, <i>м</i>	Початок, <i>нм</i>	Кінець, <i>нм</i>
1	30	450	520	1	30	450	520
2	30	450	605	2	30	530	610
3	30	630	690	3	30	630	690
4	30	760	900	4	30	780	900
5	30	1550	1750	5	30	1550	1750
6	120	10400	12500	61	60	10400	12500
				62	60	1040	12500
7	30	2080	2350	7	30	2090	2350
				8	15	520	900

Для супутників серії Landsat такий перерахунок виконується так [111]:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{Q_{cal\max} - Q_{cal\min}} \times (Q_{cal} - Q_{cal\min}) + L_{\min\lambda} \quad (4.4)$$

$$T = \frac{K_2}{\ln(1 + (K_1/L_{\lambda}))} \quad (4.5)$$

де  $L_{\lambda}$  — кількісне значення випромінювання, що надійшло на сенсор;  $L_{\min\lambda}, L_{\max\lambda}$  — мінімальне та максимальне значення випромінювання для теплового каналу Landsat (табличні значення);  $Q_{cal\min}, Q_{cal\max}$  — мінімальне та максимальне калібрувальне значення DN (табличні значення);  $Q_{cal}$  — калібрувальне значення (DN), значення в тепловому каналі Landsat;  $K_1, K_2$  — калібрувальні константи (табличні

значення);  $T$  — абсолютна температура, в градусах Кельвіна.

Формули (4.4) та (4.5) були реалізовані в програмному продукті по обробці космічних знімків Erdas Imagine за допомогою модуля Spatial Modeler. Використання для розрахунку теплового поля модуля Spatial Modeler програми Erdas Imagine дозволяє: 1) реалізувати алгоритми перерахунків для кожного з супутників серії Landsat (4, 5, 7, 8); 2) отримати після розрахунку теплові карти, де зберігається просторова прив'язка та географічна проекція; 3) швидко проводити розрахунки завдяки тому, що програма Erdas Imagine призначена саме для обробки космічних даних.

Зіставлення даних теплового поля розрахованих за даними космічних супутників серії Landsat, з наземними даними, відбувається за такою схемою:

1. На території дослідження обираються метеостанції та встановлюються їх географічні координати.
2. В програмі по обробці космічних знімків Erdas Imagine запускається Viewer, в якому і відкриваємо наше перераховане теплове поле за даними космічного супутника Landsat.
3. Ставимо курсор на космічному знімку саме в ту точку, яка має координати метеостанції.
4. В таблицю програми Excel вводимо дані зняті за різні дати з кожного супутника на кожну метеостанцію.
5. Проводимо зіставлення та аналіз наземних та супутникових даних.

Такий самий алгоритм використовується для зіставлення даних продукту MOD11C3 з супутника TERRA/MODIS з даними наземних вимірів. Одна відмінність полягає в тому, що розробники цього продукту вже дають значення температури в градусах Кельвіна, тобто для роботи не треба виконувати розрахунок за формулами (4.4) та (4.5). Формування продукту MOD11 LST за даними з супутника TERRA/MODIS наведено на рис. 4.11.

Максимально достовірне прогнозування кліматичних змін, а також можливі негативні наслідки від їх аномальних проявів потрібно проводити з використанням як точних наземних даних метеорологічних станцій, так і з урахуванням супутникової

інформації, що дозволить технічними засобами перевірити результати досліджень зі змін клімату.

Саме поєднання метеорологічних величин та даних ДЗЗ дуже важливі для розуміння коливань і змін клімату, особливо на нашій території де дуже густа сітка метеорологічних станцій. Якщо доповнити їх площинними характеристиками, то можна отримати точну і реальну характеристику того, що відбувається з кліматом.

Пряме використання даних без наукового аналізу може дати на перший погляд результати, які не можна порівняти. Тому дослідницька робота полягає в пошуку закономірностей даних по супутнику і по станціях, а також у визначенні в них наявності тенденції. Можливо, що і наземні дані, і супутникові дані можуть показувати одну і ту ж закономірність, але величини будуть різні.

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що розходження між наземними та супутниковими даними різне для різних супутників серії Landsat. Номери дати зйомок для рисунків 4.12 та 4.13 наведені в таблицях 4.16 та 4.17, для Тарханкутського півострову для однієї дати два виміри, оскільки було використано дві метеостанції, для Східної частини України для однієї дати шість вимірів (шість метеостанцій). Перелік метеостанцій наведено на рисунку 4.10.

На рис. 4.12 наведено графік зіставлення наземних значень температури за даними метеостанцій з температурою, розрахованою за даними з супутників Landsat 4, 5.

При порівнянні усереднених розходжень між наземними даними та даними з супутників Landsat 4, 5 за період 1984–1990 рр. та з 2000 до 2011 р. було виявлено значне покращення при зіставленні для даних з супутників Landsat 4, 5, отриманих після 2000 р. Так, для Тарханкутського півострова за перший період усереднене розходження становить 8.27°C, за другий період 3.65°C. Для південно-східної частини України за перший період усереднене розходження сягає 5.69°C, за другий період 2.05°C.

Для супутника Landsat 7 (рис. 4.13) усереднене розходження таке: для Тарханкутського півострова — 1.90°C, для східної частини України — 2.06°C.

Зроблено висновок, що для наукових цілей найкраще використовувати інформацію супутника

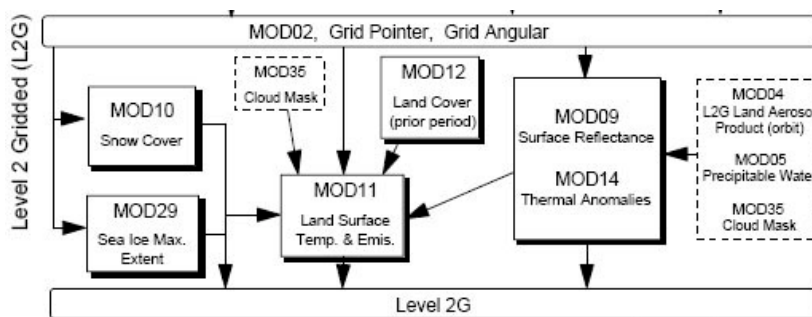


Рис. 4.11. Формування температури наземної поверхні (LST) за даними з супутника TERRA/MODIS

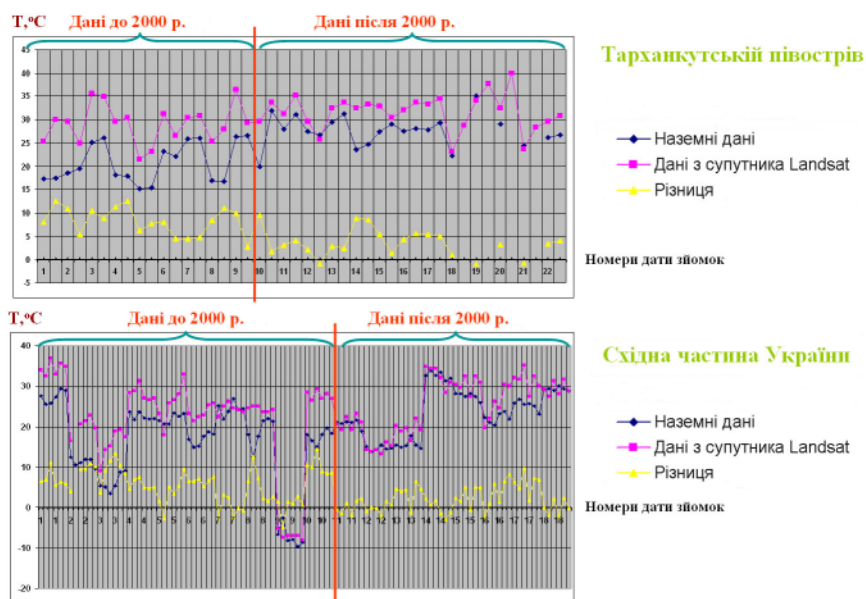


Рис. 4.12. Хід температури за наземними та супутниковими даними Landsat 4, 5

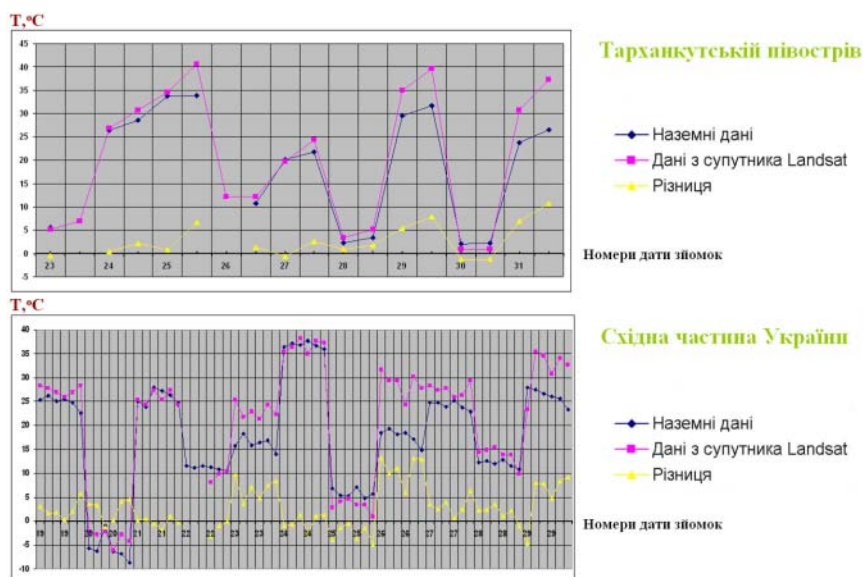


Рис. 4.13. Хід температури за наземними та супутниковими Landsat 7 даними

Landsat 7. При застосуванні космічних знімків з супутників Landsat 4, 5 до 2000 р. потрібно враховувати велике розходження з наземними даними за цей період.

Як видно з графіків (рис. 4.12, 4.13), супутникові дані дають більші значення. Хід температури за супутниковими даними повторює хід наземних даних з температури. В Landsat 7 криві йдуть майже однаково. Тобто можна говорити про можливість використання супутникової інформації для вирішення кліматологічних завдань.

Було проаналізовано можливість застосування середньомісячного продукту MOD11C3 з супутника TERRA/MODIS при дослідженні змін клімату та їх наслідків.

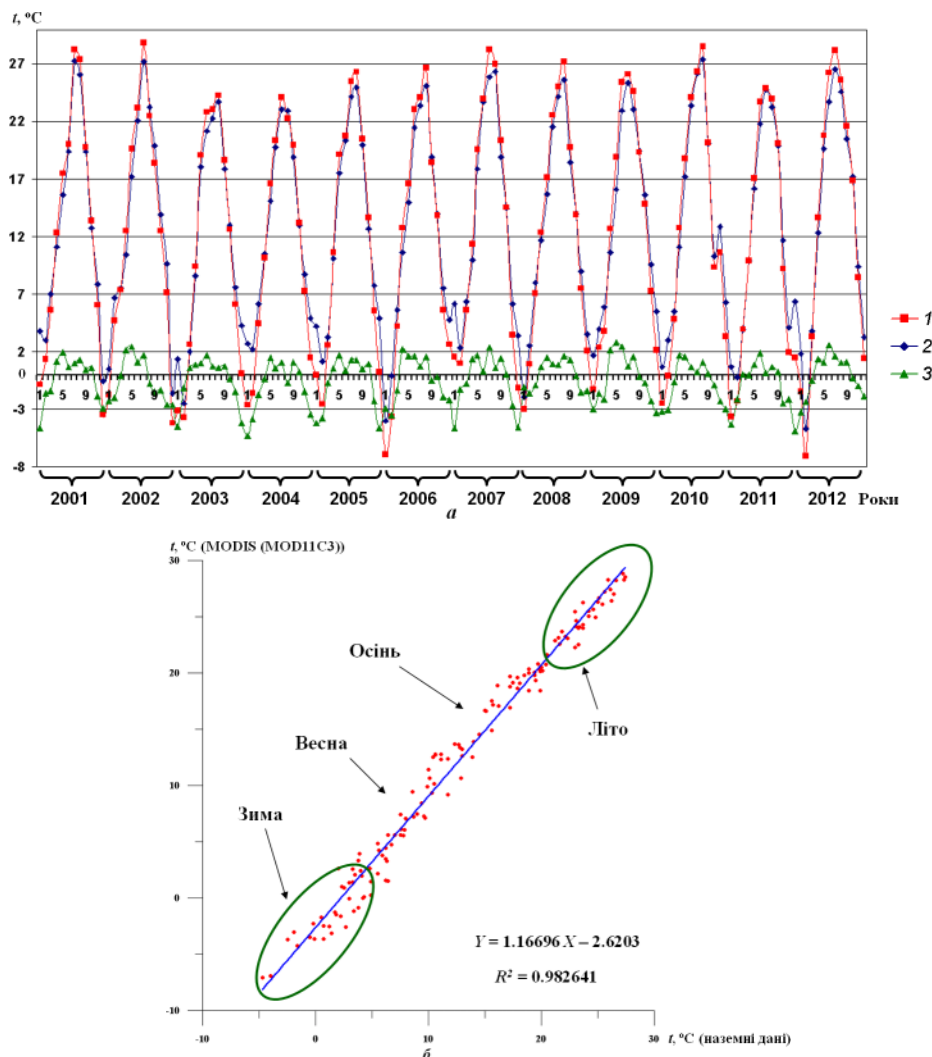
Використано дані 30 наземних станцій, рівномі-

рно розташованих по всій території України. Обрано 2009 р. як один з посушливих. Проаналізовано середні місяці сезонів.

Отримано середнє розходження для літа  $0.75^{\circ}\text{C}$ , для осені мінус  $0.2^{\circ}\text{C}$ , та для весни —  $2.4^{\circ}\text{C}$ .

Оскільки ці розходження менші за розходження із супутника Landsat, були підстави зіставити наземні середньомісячні дані температури з метеостанцій та дані температури місячного продукту MOD11C3. Дані були взяті за всі місяці, з 2001 по 2012 р. Такий аналіз проводився по чотирьох станціях, по дві на кожну досліджену територію. Результати зіставлення даних з метеостанції “Євпаторія” та продукту MOD11C3 наведено на рис. 4.14, як приклад.

Супутникові дані дають більші значення, порівняно з наземними. Зимові місяці дають дещо макси-



**Рис. 4.14.** Зіставлення наземних місячних значень температури за даними метеостанції «Євпаторія» та температури земної поверхні за даними продукту MOD11C3: а) графік наземних та супутникових даних температури та їх розходження; б) рівняння регресії та коефіцієнт кореляції.

мальне розходження, це пов'язано з природними кліматичними умовами (сніг, хмарність). Коефіцієнт кореляції становить для Тарханкутського півострова 0.98, для південно-східної частини України — 0.97. Отже, в обох випадках збігається площинно-часовий характер розподілу температур за супутниковими та наземними даними.

Що стосується аерокосмічних даних, то вони становлять особливий інтерес при дослідженні змін клімату та їх можливих наслідків. Так як метеорологічні станції розташовані на великій відстані одна від одної, то потрібно знати площинні характеристики метеорологічних величин, визначити межі аномалій одного знаку. Все це можна визначати за допомогою супутникових даних.

Дані супутникові та наземних спостережень доповнюють одні одних. Супутникові дані знижують локальні впливи, які пов'язані з погодними умовами в локальній точці.

В цілому, застосування аерокосмічних даних може дозволити зменшити невизначеність в розумінні сучасної тенденції регіонального клімату.

Для ілюстрації сумісного використання супутникової та наземної інформації наведено порівняльні дослідження посух за період 2007–2013 рр. на території України за метеорологічними даними і даними MODIS а також приклади можливих змін в екосистемах в типових ландшафтно-кліматичних зонах України.

### Висновки

Виконаний аналіз температурного режиму земної поверхні і приземного шару повітря засвідчив, що наземні і супутникові дані показують одну і ту ж закономірність. Тому супутникові дані можна вважати правомірними для використання в кліматичних прогнозах, вони повинні розглядатися в комплексі з даними наземних спостережень для вивчення негативних наслідків для природного середовища і людини, прояву глобальних і регіональних змін клімату.

Наземні та супутникові дані доповнюють одні одних та дають більш об'єктивну інформацію про прогноз змін клімату та наслідки цих змін.

#### 4.5. Виявлення змін екосистем у типових фізико-географічних зонах України з використанням сумісного аналізу наземних та супутникових даних

Загальновідомо, що географічне розповсюдження різних видів рослин і тварин, характер та інтенсивність біологічних процесів багато в чому визначаються кліматичними умовами, які на сьогодні не є стабільними. Вчені уже помітили зміни, які викликані змінами клімату не менше ніж в 420 фізичних процесах і біологічних видах та популяціях. Ці зміни стосуються мігруючих видів птахів, які стали прилітати раніше весною і відлітати пізніше восени; більш раннього настання весняного періоду розмноження багатьох птахів і земноводних; здвигу ареалу проживання в бік півночі більш чутливих до холоду метеликів, жуків та ін. Негативно впливають зміни клімату на функціонування і стан лісів, які відіграють важливу роль в кліматичній системі, оскільки вони є основним накопичувачем вуглецю. Видовий склад нинішніх лісів буде змінюватися. В той же час можливе виникнення нових сполучень видів, а отже, і нових екосистем. Інші стреси, викликані потеплінням, будуть включати підвищення кількості шкідників, патогенів і пожеж [45]. Природні процеси не встигають пристосовуватися до тих змін, які вносить господарська діяльність людства, особливо коли така діяльність односпрямована. Це повсюдна вирубка лісів, інтенсивна розробка корисних копалин — видобування нафти, газу, з подальшим їх спалюванням, багатократове використання ґрунтів у сільськогосподарській діяльності, інтенсивне проведення меліоративних заходів та ін. Дії людини призводять до небезпечного впливу на кліматоутворюючі фактори: підстильна поверхню, зміна складу атмосферного повітря, циркуляції. Сумарний вплив цих складових може призвести до швидких змін у природному середовищі і непередбачуваних наслідків, до яких не можна буде швидко адаптуватися. Один із можливих механізмів, який може спричинити і такі несприятливі тенденції в Україні, це розповсюдження посушливості. Тому актуальним є комплексне вивчення екологічних наслідків зміни клімату на трансформацію ландшафтно-кліматичних зон та біорізноманіття в Україні, оскільки ці зміни не можуть не вплинути на ведення господарської діяльності.

Прогнози змін екосистем в умовах глобальних змін клімату висвітлені в [45] та ін. Для території України прогноз було виконано в аспекті можливої трансформації природних зон [24], який опирався на напівемпіричні моделі. В основі цих моделей лежить багато невизначеностей, такий прогноз дещо відірваний від дійсності, оскільки він не цілком базується на даних регулярної сітки метеоспостережень. Врахування інформації про зміни ландшафтно-ї структури цих зон і самих ландшафтів наведено в роботі [49]. Але прогнозування змін природного

середовища в умовах змін клімату потребує використання більш точної емпірико-статистичної метеорологічної інформації. З проблеми аналізу кліматичної інформації, що стосується даного питання, поки що немає систематизованих даних. Суто кліматичні аспекти висвітлені [23]. Виникла необхідність в аналізі отриманих на сьогоднішній час результатів дослідження зміни екосистем у типових ландшафтно-кліматичних зонах України при стрімкому процесі потепління з використанням новітніх технологій отримання даних, до яких відносяться дані ДЗЗ, опрацьовані сучасними математичними методами. Характерною особливістю потепління в Україні починаючи з 2000 р. і до теперішнього часу є посушливість клімату. Для характеристики зв'язку кліматичних факторів і розподілу рослинності від зміни погодних умов вегетації нами застосовувався супутниковий індекс засухи — ID (Index of Drought).

У дослідженні використано карту фізико-географічного районування території України (автори О. М. Маринич, П. Г. Шищенко [106]), на якій розподілені 54 опорні метеостанції. За допомогою ГІС MapInfo Professional було винесено станції за координатами на карту фізико-географічного районування, яка, в свою чергу, була приведена до географічної системи координат за допомогою програми Erdas Imagine.

Для визначення посушливості території України нами застосовано індекс посухи ID, (Index of Drought), про який докладно йде мова у розділі 4.6. Для досліджень було обрано 2007 р., в якому спостерігалася посуха. За квітень–жовтень з супутника TERRA/MODIS було отримано продукти MOD11C3 та MOD13C2. Продукт MOD11C3 має денну та нічну місячну температуру, з просторовим розрізненням 0.05°, продукт MOD13C2 — має місячні дані двох вегетаційних індексів NDVI та EVI, а також місячні спектральні дані в каналах blue, red, NIR та MIR, з просторовим розрізненням 0.05 градуси.

Відомо, що довгоперіодні коливання кліматичних умов на планеті дуже впливають на стан екосистем і призводять до суттєвого зміщення природних зон. Цей процес тривалий, і він не може спостерігатися одним-двома поколіннями людей. Але уже зараз при існуючій тенденції потепління клімату в Україні почнуться повільні зміни не тільки меж самих зон, а й розпочнуться зміни та переміщення набору рослин та тварин, а з часом це може також призвести до змін зональності її території. При визначенні меж переходу рослинних угруповань потрібно враховувати як характеристику температурного режиму, режиму зволоження території, так і вводити для аналізу параметр, який характеризує стан рослин. Таким параметром є індекс посухи ID.

Для місяців квітень–жовтень 2007 р. було розраховано індекс ID формулою (4.6). Після цього була обчислено усереднений індекс ID за 2007 р. Вибір саме цих місяців обумовлений періодом вегетації рослинного покриву. Результат розрахунків представлено на рис. 4.15, де градації значень індексу посухи ID показано різними кольорами.

На це зображення винесено межі існуючого на сьогодні фізико-географічного районування [107]. Ми побачили зміни супутникового індексу ID на рівні підзон, фізико-географічних країв, областей, районів. Розпочнемо аналіз зі Степової зони, де спостерігалися найбільші значення ID, — це на територіях середньостепової, та південностепової (сухостепової) підзон. Саме тут можуть зазнати значних змін агроландшафти. Як видно на рис. 4.15, в межах Степової зони відчувається гострий дефіцит вологи. Фактично в межах цих районів домінують червоний, темно-червоний, жовто-гарячий та жовтий кольори, діапазон значень ID від 45 до 70 та більше. За нашими даними значення індексу посухи ID понад 60 вказують на гострий дефіцит вологи, де не тільки фіксується сильна посуха, але й рослини, зокрема сільськогосподарські, можуть знаходитися під загрозою загибелі. У роботі [23], де розглянуті сценарії змін клімату в Степовій зоні України і відповідно прогнозуються зміни екосистем, йде мова про неістотні зміни температури та суттєві зміни зволоженості. Зазначимо, що розрахована з допомогою індексу ID супутникова інформація на прикладі 2007 р. вказує на зворотне — недостатню зволоженість. Крім того, нами за наземними метеорологічними даними виявлено, що до 2000 р. інтенсивність потепління в Степовій зоні була дещо менша, ніж в інших природних зонах. Починаючи з 2001 по 2013 р. вона вирівнюється з

ними. Тобто, потепління в XXI ст. досить різко охопило південні широти. Крім того, у Степовій зоні можуть відбуватися процеси не тільки як кліматичного опустелювання, про це йдеться в роботі [10], але і через зростання фізіологічної сухості ґрунту внаслідок його прогресивного засолення і все більшого поширення у Степовій зоні видів ландшафтів, які мають засолені та солонцюваті ґрунти [49]. Що стосується північної частини Степової зони, то діапазон значень індексу ID становить від 32...45 — так звані перехідні значення (рис. 4.15, позначення А), які характеризують слабку засушливість, але територіально займають майже всю підзону. Нагадаємо, що для аналізу взятий 2007 р., який охопила тривала засуха, зокрема в активний період вегетації рослин. Тому при подальшому прогнозуванні потепління на території України такі кліматичні умови 2007 р. можуть бути постійними. Саме перехідні значення індексу ID, які більш характерні для Степової зони можуть, територіально переміститися в Лісостепову зону. Як видно на рис. 4.15, позначення С), майже вся територія південноподільської, 70–80 % південнопридніпровської, 60–70 % центральнопридніпровської, 20–30 % придністровсько-східноподільської височинних областей та дещо менше за площею (рис. 4.15), позначення В) вся південнопридніпровська схолово височинна область, 40% північно-придніпровської терасової низовини та 5–10 % північнополтавської височинної області при подальшому розвитку потепління зазнає характерних кліматичних умов Степової зони. Відповідно будуть трансформуватися в ці райони степові рослинні угруповання. На решті території Лісостепу спостерігається індекс ID в діапазоні значень 24...28 — як нормальна зволоженість та 20...24 — як помірна

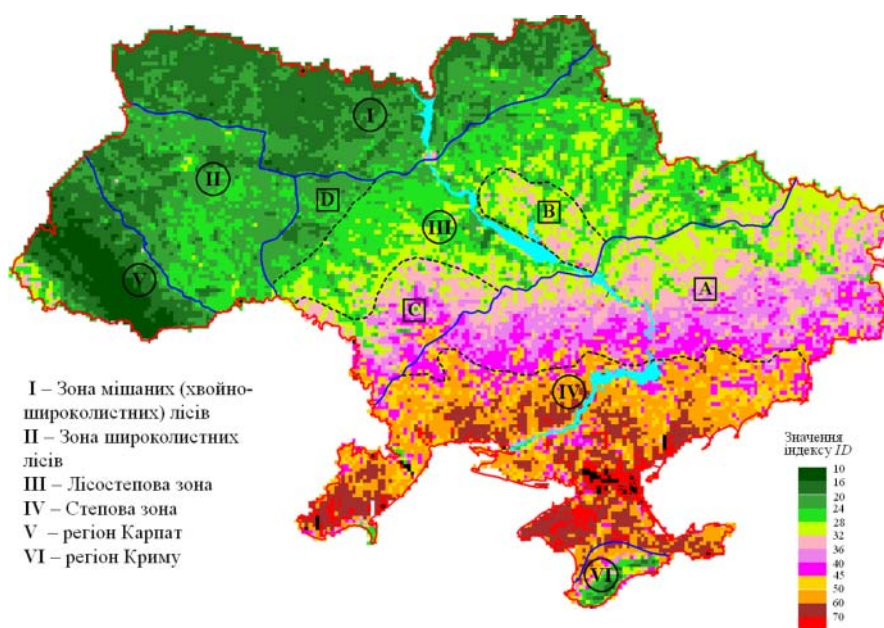


Рис. 4.15. Моніторинг земного покриття на основі використання індексу посухи ID на території України за 2007 р.

зволоженість. На даних територіях зміна одних видів рослинних угруповань на інші зараз не спостерігається і в подальшому таке відбуватиметься впродовж тривалого часу. Діапазони значень ID 16...20 — добре зволожені та 10...16 — надмірно зволожені відповідають територіям Зони мішаних (хвойно-широколистих) лісів та Зони широколистих лісів. Наші розрахунки ID за 2007 р. у цих діапазонах показали переміщення територій Зони широколистих лісів на територію Лісостепу (рис. 4.15, позначення D). Слід зазначити, що в цих зонах провідну роль відіграють не зональні кліматичні чинники, а азональні, тому суттєвих змін в екосистемах не буде. Можна лише відмітити зміну соснового лісу на багатші за видовим складом мішані ліси [49]. Що стосується регіону Карпат та Криму то вони потребують окремого дослідження: зокрема, як ведуть себе зміни клімату з висотою та як змінюється перехід рівнинних ландшафтів в передгірські та степових в приморські.

Індекс посухи ID за супутниковими даними TERRA/MODIS можна використовувати для виявлення оперативних (протягом одного року) змін в екосистемах; обраний 2007 р. як рік сильної посухи може прогнозувати зміну ландшафтно-кліматичних зон при подальшому розвитку потепління клімату в Україні.

Зміни клімату, які відбувалися в XX і XXI ст. і про-

гнозуються в подальшому [94], можуть суттєво проявитися на характері видового біорізноманіття в природних зонах. Слід відмітити, що процес реакції біоти на нові кліматичні умови може відбуватися не тільки природними, але й антропогенними чинниками, в тому числі використання нових сортів рослин. Уже зараз та зміна регіонального клімату, яка спостерігається в XXI ст., зокрема його посушливості, проявляється не в раптовій заміні одного виду угруповання на інше, а в поступовому наростанні рис одного виду ландшафту в рисах ландшафту іншого.

### Висновки

На підставі наведеного можна стверджувати таке. Що стосується природних зон, то вони з часом також почнуть змінюватися. Відбудеться поступове зміщення Напівпустель в Степову зону, Степової зони в Лісостеп. Це може призвести до катастрофічних наслідків, так як екосистеми не встигнуть адаптуватися до різких і швидких змін клімату. Крім того, це суттєво ускладнить сільськогосподарську діяльність в південних і південно-східних регіонах України (Степова зона). Також цей процес може супроводжуватися вичерпуванням водних ресурсів прісної води в зазначених регіонах. Цей ефект є досить несприятливим з екологічної точки зору, оскільки призведе до катастрофічного стану природних екосистем.

### 4.6. Дослідження проблем посушливості на території України з використанням наземної та супутникової інформації

Посуха є одним із негативних природних явищ, що в екстремальних своїх проявах внаслідок широкомасштабного і довготривалого характеру призводить до загибелі людей і до значних матеріальних збитків. В ряду надзвичайних ситуацій за кількістю загиблих посухи посідають третє місце в світі після землетрусів і циклонів. Для пом'якшення наслідків посух необхідне її сучасне виявлення, моніторинг розвитку та оцінка збитків. В десятиліття 2001–2010 рр. посухи відбувалися у всіх частинах світу. Прикладом можуть бути посухи, які вразили Австралію (2002 р. та ін.), Східну Африку (2004 та 2005 рр.) стали причиною загибелі великої кількості людей і нестачі продовольства [46].

Найчастіше позитивні аномалії температури повітря в Україні супроводжуються недостатньою кількістю опадів. Моніторинг посух за метеорологічними даними в Україні проводився до 2007 р. У зв'язку з позитивними аномаліями температури повітря за 2009, 2010, 2011, 2012 та 2013 рр. є необхідність в його продовженні.

З другої половини 1980-х років у світовій практиці моніторингу посух стали впроваджуватися індекси, обчислені за допомогою супутникової

інформації. Інтерес до аналізу посух за супутниковими даними посилюється в Україні у зв'язку з досить значним охопленням площ сильними посухами в 2007, 2009 та 2010 рр. Але визначення характеристик досить значних та сильних (за площею, інтенсивністю, тривалістю) посух на основі сумісного аналізу метеорологічних і супутникових даних в Україні ще не проводилось. Тому актуальність даного дослідження не викликає сумніву.

В Україні вивченню посух за наземними метеорологічними даними присвячені роботи, І. Є. Бучинського [38, 41], К. Т. Логвінова [71], М. І. Кульбіди [59, 65, 68], М. Б. Барабаш [62]. Систематичний дистанційний моніторинг посух проводиться в ЦАКДЗ ІГН НАН України В. І. Ляльком, О. І. Сахацьким та ін. [78]. Ними розроблено спеціальні методичні підходи використання сучасної багатоспектральної космічної зйомки для оцінки параметрів зволоження земного покриття. Застосування цих розробок дозволяє значно підвищувати ефективність заходів боротьби з посухами. Сумісні наземні та супутникові дослідження посух більш об'єктивні і їх ніяк не можна замінити одні на інші.

Територія дослідження охоплює всю рівнинну



частину України, що включає основні зерно-посівні райони і прилеглі до них пасовища.

### **Встановлення межі між надмірно зволеними та посушливими територіями за наземними спостереженнями**

У дослідженні порівнюється розповсюдження та інтенсивність посухи за метеорологічним показником — гідротермічним коефіцієнтом Селянинова. Гідротермічний коефіцієнт зволоження Селянинова (ГТК) адекватний співвідношенню суми опадів до  $0.1$  суми температур за період часу з температурою вище за  $10^{\circ}\text{C}$ . Цей показник має перевагу над іншими — характеризує не тільки прибуткову частину водного балансу (опадів), а й непродуктивну витрату вологи (випаровуваність ( $E_0 = 0.1 \sum T$ ) з поверхні ґрунту, рослинності). ГТК є достовірним показником зволоження в тих районах, для яких характерний однорідний тип річного ходу опадів. Окрім того, він об'єктивний і працює в достатньо широкому діапазоні сполучень температури та опадів. Зволоження вегетаційного періоду істотно надмірне з ГТК  $2.0$ . Встановлено такі критерії, які характеризують інтенсивність посух за ГТК:  $< 0.5$  — різка нестача опадів, сильна посуха;  $0.6-0.7$  — недостатнє зволоження (дуже сухо);  $0.8-0.9$  — сухо (посуха не інтенсивна);  $1.0-1.2$  — недостатня вологість;  $1.3-1.6$  — помірна вологість;  $> 1.7$  — надмірна вологість [62].

Значення ГТК вираховувались за середньомісячними температурами повітря та сумами опадів за даними 54 метеостанцій України за період 2007–2012 рр. Вдослідженні для порівняння посух за попередні роки до 2007 року використовувалися дані з ГТК отримані в УкрНДГМІ та Гідрометцентрі України.

### **Виявлення територій, які зазнали посух, з допомогою ДЗЗ**

Інформацію про посухи на основі використання технологій ДЗЗ можна вважати винятково цінною. По-перше, сучасні засоби моніторингу довкілля за допомогою супутникових технологій дозволяють оперативно оцінити стан зволоженості земного покриття, вміст вологи в рослинному та ґрунтовому покривах на значних територіях, а отже, завчасно попередити про необхідність зрошення або застосування інших заходів проти посухи. По-друге, для постраждалих від посухи районів на основі супутникових даних можна оперативно провести картування площі загибелі посівів і максимально достовірно оцінити збитки від посухи, а також визначити розмір необхідної допомоги сільгоспвиробникам.

Параметри, що свідчать про настання посухи, які можна виявити за космічною інформацією є: підвищення температури підстильної поверхні; по-

гіршення стану рослинності в процесі вегетації, аж до цілковитої загибелі.

Завдання моніторингу посух можна поділити на такі етапи. Перший етап полягає у виявленні території, на яких наступила посуха, другий етап — моніторинг стану сільськогосподарських культур під час посухи.

Виявлення ознак посухи за космічними зображеннями базується на порівнянні двох років: 2007 р., відомого як сильно посушливий, та 2013 р. як більш сприятливий для росту рослин.

Основним методом, який дозволяє в кількісному вимірі оцінити динаміку стану рослин протягом вегетаційного періоду, є метод вегетаційних індексів. Цей метод традиційно застосовується для визначення стану рослинності, її розвитку і загибелі. Використання протягом вегетаційного сезону ходу NDVI, який базується тільки на видимому і ближньому ІЧ-діапазонах спектра, не дає повного уявлення про настання посухи з таких причин. По-перше, рослина може погіршити свій стан, що, не пов'язано з посухою (вимокання, хвороби і т. д.). По-друге, в даний поточний рік територія може бути використана не характерним для неї чином, наприклад, зовсім не засаджена сільськогосподарськими культурами, в результаті чого вегетація представлена бур'янами і т. д. Оскільки посуха характеризується підвищеними температурами підстильної поверхні, то одним із важливих параметрів при виявленні цього явища є хід температурних кривих протягом вегетаційного сезону. Але висувати припущення про настання сільськогосподарської посухи тільки на підставі підвищеного температурного фону не можна, оскільки не кожна метеорологічна посуха переростає в сільськогосподарську. Тому для більш надійного виявлення територій, що зазнають впливу посухи, поряд з вегетаційним індексом, краще використовувати значення температур підстильної поверхні. Температурні показники, як і вегетаційні індекси широко застосовуються в практиці моніторингу посух [109]. Для характеристики температурних змін взяті значення температур, отриманих за даними з супутника TERRA/MODIS продукту MOD11C3. Аналіз ряду нічних та денних зображень в сезон посухи і в вологий рік показав, що сільськогосподарська посуха характеризується не тільки підвищенням денних температур, але й зростанням нічних температур. Вірогідно, зниження температур вночі призводить до утворення роси і туманів, тобто конденсації парів води на рослинах, що дозволяє уникнути зневоднення. В такому випадку настання атмосферної і ґрунтової посух не спричинить сільськогосподарську посуху. Оскільки при настанні посух вегетаційний індекс падає, а температури підстильної поверхні зростають, то для більш точного визначення моменту настання посухи і території її розповсюдження запропоновано використовувати індекс посухи ID, який прямо про-

порційний значенню нормалізованого вегетаційного індексу.

Індекс посухи вираховується за формулою:

$$ID = (T_d + T_n) / NDVI \quad (4.6)$$

де  $T_d$  — денна температура;  $T_n$  — нічна температура;  $NDVI$  — нормалізований вегетаційний індекс. Зрозуміло, що чим вище значення індексу ID, тим більше ймовірність того, що на досліджуваній території спостерігається посуха.

Для оцінки ситуації, яка відбувається на досліджуваній території, після виявлення перших ознак посухи необхідно проводити контроль за станом рослинності. Продовження стану засушливих умов може призвести до погіршення стану рослин, а може не вплинути на врожай. Наприклад, травнево-червнева посуха більш всього призведе до пригнічення рослин, а в екстремальних випадках — до їх загибелі. Червнева посуха менш суворя, так як рослини до цього часу уже встигають пройти етап росту, а на етапі дозрівання вони не настільки чутливі до наявності вологи. Своєчасний дощ чи полив можуть зняти загрозу загибелі сільськогосподарських культур, і посуха може припинитися сама собою. Але щоб своєчасно відреагувати на можливу втрату врожаю, необхідно раз в декаду до зникнення посухи, або взагалі до завершення вегетаційного сезону робити аналіз стану сільськогосподарських культур.

Запропонований індекс посухи ID дозволяє оцінити ступінь розвитку посухи для території України в цілому.

### Визначення терміна “посуха”

Найбільш об’єктивно визначення посухи дав кліматолог К. Т. Логвінов (1973 р.). Посуха — складне явище, яке зумовлене тривалою і значною нестачею опадів з підвищеною температурою повітря у вегетаційний період, коли в результаті випаровування з поверхні ґрунту і транспірації вичерпуються запаси вологи у ґрунті. Утворюються несприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур. Ушкодження і загибель рослин відбуваються внаслідок значної невідповідності потреб у волозі і надходженні її з ґрунту через несприятливий термічний режим. Посушливі явища — це закономірність континентального клімату [71].

В регіонах зі стабільним і спекотним кліматом втрачають звичайні погодні умови і вирощують культури, стабільні до посушливих явищ, або проводять комплекс зрошувальних заходів, що не призводить до втрати врожаю. В регіонах, де звичайні погодні умови дозволяють вирощувати різні культури, в тому числі і більш вимогливі до вологи без додаткових меліоративних заходів, в посушливі роки можлива втрата значної частини врожаю. Такі райони з нестабільними з року в рік погодними умовами, назива-

ють районами критичного землеробства. Саме ці райони становлять інтерес в нашому дослідженні.

Україна є регіоном, де існують сприятливі умови для вирощування багатьох сільськогосподарських культур. Це забезпечується сприятливим балансом тепла і вологи на більшій частині території держави. Разом з тим значна частина території України (Степова зона) характеризується недостатньою кількістю опадів. Це зумовлює існування територій ризикованого землеробства у межах України. Тому навіть незначна зміна клімату може призвести до погіршення агрокліматичних умов.

Однією із причин виникнення посухи прийнято вважати встановлення над порівняно великій території суші стаціонарного антициклону, який характеризується малою хмарністю, надлишком сонячного сйва, відсутністю опадів і сухістю повітря [109]. Так виникає атмосферна посуха, яка посилює транспірацію рослин і висихання ґрунтів, що призводить до ґрунтової посухи. Цим поняттям характеризується рівень зволоження ґрунтів, який значно менший, ніж того потребують рослини, і це обумовлює їх депресивний стан. Недостатня кількість ґрунтової вологи спричиняє сільськогосподарську посуху, яка знижує врожай сільськогосподарських культур і трав, призводить до економічного і соціального впливу на суспільство і навколишнє середовище. Не завжди атмосферні посухи викликають сільськогосподарські посухи. В тому випадку, якщо запаси ґрунтової вологи великі після снігового покриву або сильних дощів, сільськогосподарська посуха може і не наступити. Схему розвитку посухи в часі представлено на рис. 4.16.

За часом настання розрізняють весняну, літню та осінню посухи. Весняна посуха характеризується, як правило, невисокими температурами повітря за низької відносної вологості повітря, незначними запасами продуктивної вологи в ґрунті й сухими вітрами. Тривала посуха навесні істотно знижує врожай культур навіть в умовах сприятливого літа за ступенем зволоження. Літня посуха відрізняється високими температурами повітря, гарячими сухими вітрами, які зумовлюють підвищену випаровуваність. Наслідки літньої посухи проявляються в різкому зниженні врожаю культур і т. д. Осіння посуха характеризується невисокими температурами повітря; вона найнебезпечніша для посівів озимих культур, які не встигають укоренитися, пройти фазу кущення і дуже часто гинуть у зимовий період [109].

Для клімату України були характерні посухи у ХХ ст. Суттєвий недобір урожаю з різних причин спостерігали понад 20 разів: у 1901, 1906, 1907, 1918, 1921, 1922, 1923, 1924, 1934, 1939, 1946, 1947, 1950, 1957, 1965, 1968, 1972, 1975, 1979, 1981, 1996 рр. [62].

У ХХІ ст. зниження врожаю через несприятливі метеорологічні умови спостерігали у 2003 і 2007 рр. Посуха 2007 р. була сильною й тривалою, яку не спостерігали за останні 60 років. Приблиз-



Рис. 4.16. Схема розвитку посух [109]

но стільки ж років не було такої низької врожайності зерна з 1 га [62].

У зв'язку з глобальним потеплінням, інтенсивність якого не зменшується, а, навпаки, зростає, головним питанням світового суспільства є збереження продовольчого балансу в цілому на Землі та в окремих її регіонах. Тому будь-які зміни клімату в бік потепління чи похолодання потребують вирішення питання адаптації сільського господарства до сучасних і майбутніх змін клімату.

### Просторово-часовий розподіл посух на території України за період 2007–2012 рр.

В Україні дані про посухи за останні роки систематизовано і проаналізовано в наукових звітах та монографії [62] до 2007 р. Проведено розрахунок ГТК з 2007 по 2012 р. Отримані результати картографувалися для прикладу на 2009 р. (рис. 4.17). Аналіз показав, що в усі останні роки ХХІ ст. за період з травня по вересень спостерігались сильно посушливі умови ( $< 0.5$ ) на півдні та південному сході України. В кожному році, у кожному періоді відбулися локальні посухи на півдні і південному сході, в центральній та східній частинах Лісостепової зони та по всій території Степової зони. Сильна посуха, яка спостерігалася у відбулася 2007 та 2009 рр., з різким дефіцитом опадів охопила значну територію України і тривала близько трьох місяців, особливо посушливим був травень–червень 2007 р. та липень–серпень 2009 р.

Вважають, що у ХХІ ст. основною причиною утворення посух в Україні є арктичні вторгнення з подальшою трансформацією повітряних мас, у результаті якої повітряна маса віддаляється від стану насичення і встановлюється безхмарна жарка погода. Посуха переважно пов'язана з рухом потужного антициклонів за холодним арктичним фронтом. Вона стає тривалішою, коли за одним антицикло-

ном прямує інший. Між ними може бути декілька днів прохолодної погоди, іноді навіть падають невеликі дощі, але волога швидко випаровується. Безпосереднім осередком зародження антициклонів, який спричиняє посуху в Україні, є два головних центри дії — Арктичний і Азорський [82–87]. За типізацією Б. Л. Дзердзівського [52], зміни річної температури повітря та опадів в останні три десятиріччя ХХ ст. та перше десятиріччя ХХІ ст. супроводжувались збільшенням повторюваності меридіональної південної групи циркуляційних процесів. Також встановлено [82–87], що зміни характеру циркуляції, починаючись у Східній і Центральній Європі (Україні), призвели до зростання кількості південних циклонів. Для них характерні екстремальні високі температури (понад 25–30°C) і збільшення кількості зливових опадів, які випаровуються. У період глобального потепління кінця ХХ ст. та початку ХХІ ст. циркуляційні процеси, які обумовлюють посухи мають свої особливості. Вони детально описані в роботах В. Ф. Мартазінової [82–87]. Іноді у теплий період у Європейському секторі циркуляції відбувається вихід теплого сухого повітря з півдня в меридіональному напрямку. Тривалість дії цієї південної складової меридіональної циркуляції збільшилася. Цей процес нетривалий, і через деякий час його підсилює вторгнення сухого повітря з півночі. Такий складний, процес, як правило, зумовлює сильну посуху в повітрі і ґрунті (2007 р.) [62]. Така посуха задає значного збитку економіці країни і потребує своєчасних заходів щодо забезпечення населення продуктами харчування.

Отже, у ХХІ ст. не спостерігається тенденція до зменшення ГТК, можуть розширюватися райони, де частота посух може збільшуватись. Подальша можлива зміна клімату і, як наслідок, виникнення посух в Україні може значною мірою вплинути на сільське господарство України. При цьому існують побоювання щодо низького ступеня готовності до цих

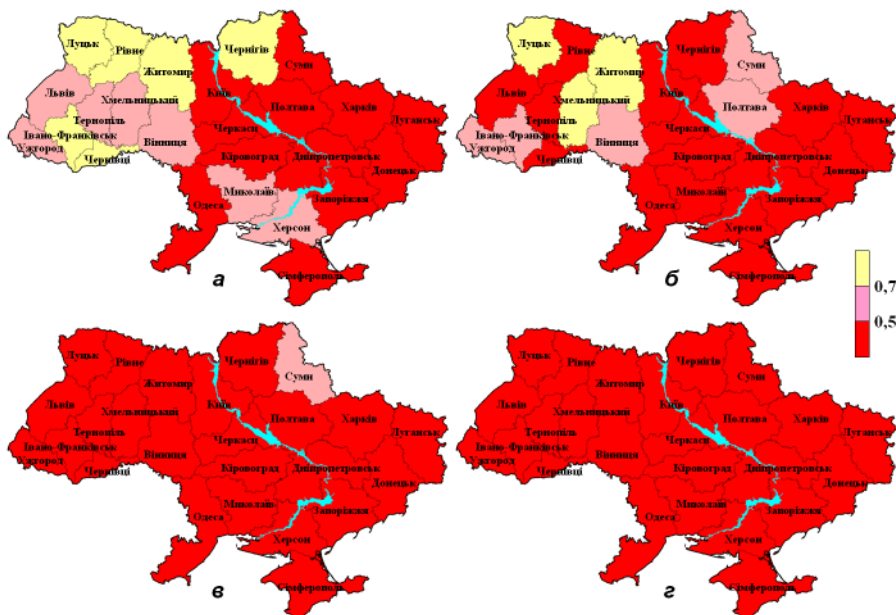


Рис. 4.17. Показники ГТК за 2009 р. (ГТК): а) травень–червень; б) червень–липень; в) липень–серпень; г) травень–вересень

змін. Не враховуються існуючі негативні екологічні і соціальні тенденції на селі, накладання яких на тенденцію змін клімату може погіршити ведення сільського господарства в Україні у найближчому майбутньому. Потрібно уже зараз розробляти стратегії з адаптації землеробства до негативних кліматичних змін. В цій ситуації надзвичайно важливим є завчасне повідомлення про виникнення посух та уявлення про справжні масштаби посух.

**Використання індексу посухи ID при аналізі ситуації посух у 2007 та 2013 рр.**

Як уже зазначалось, тривала посуха 2007 р. особливо стала загрозливим явищем для врожайності зернових культур. Отримані результати розрахунків ID представлені на рис. 4.19–4.22. Градації значень індексу посухи ID набрано різними кольорами. Аналіз показав, що у 2007 р. затяжний посушливий період розпочався з травня, включаючи активний період вегетації сільськогосподарських культур, і тривав до вересня. Найбільш посушливими були

липень, серпень. Територіально найбільше розповсюдилася посуха у липні. Домінують червоний, темно-червоний, жовто-гарячий та жовтий кольори, діапазон значень ID від 45 до 70 та більше. За нашими даними значення індексу посухи ID понад 60 вказують на гострий дефіцит вологи. Такий тривалий період посухи у 2007 р. призвів до загибелі посівів у 2007 р. Діапазон значень індексу ID становить від 32...45 — так звані перехідні значення, які характеризують слабку посушливість, але територіально займають досить значну частину Лісостепової зони та особливо Степову зону. Для порівняння аналогічно був обрахований ID за 2013 р. Значення ID 2013 р. у порівнянні з 2007 р. значно менші за винятком липня. Це візуально добре видно з графіка на рис. 4.18 для обраного об'єкта.

Слід також зазначити, що 2013 р., взятий як нормальний за більшістю місяців (травень, червень, липень, серпень, вересень), також характеризується посушливістю. Що стосується усереднених значень ID за 2007 та 2013 рр., то територіальне їх розповсюдження (включаючи як сильну, так і слабку посуш-

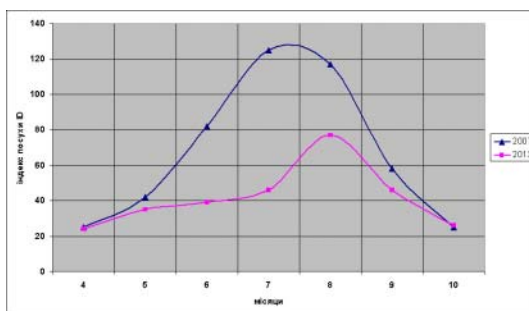
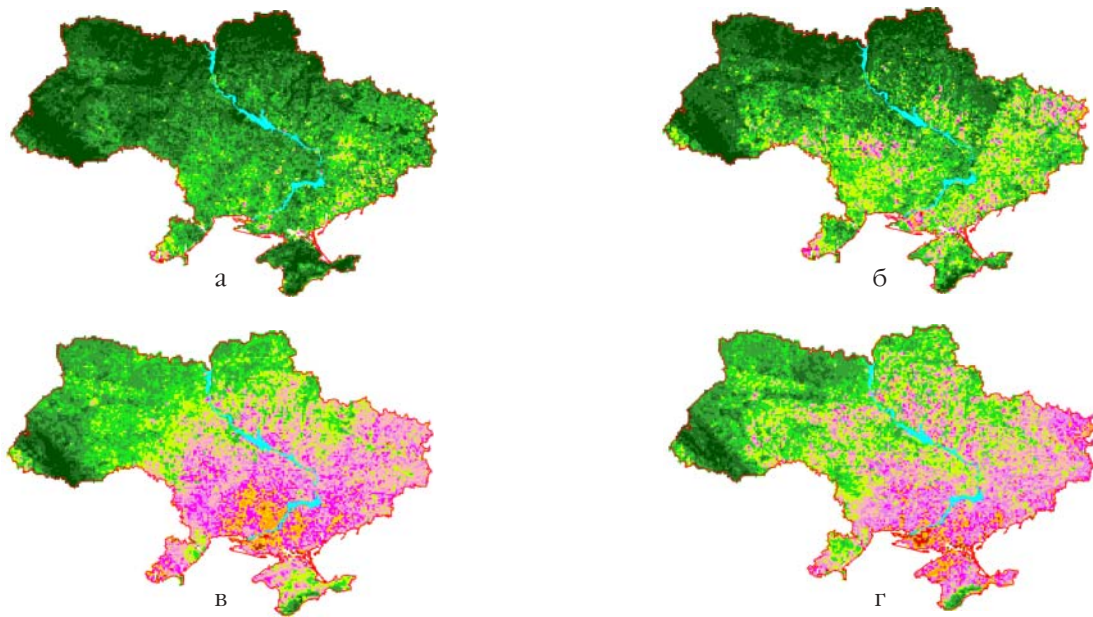
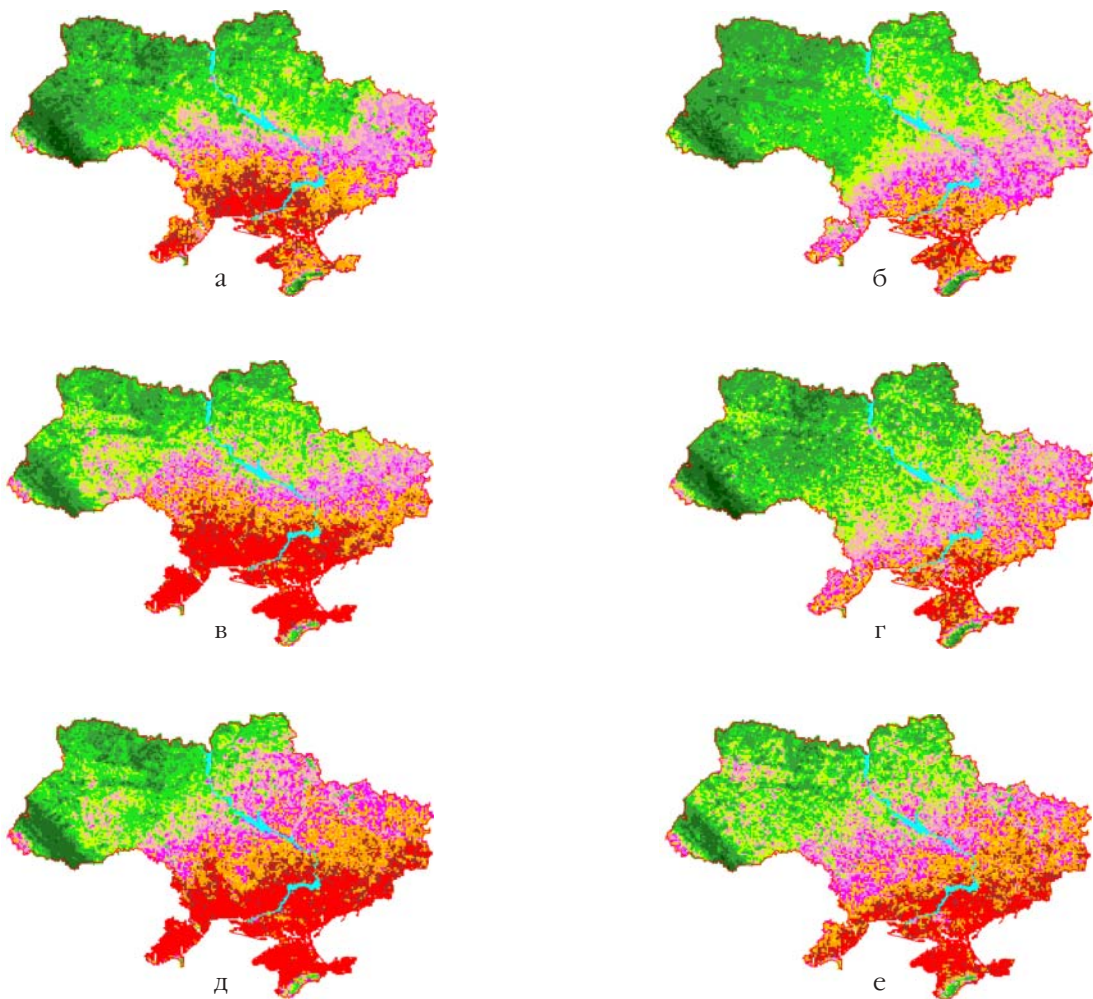


Рис. 4.18. Графік розподілу індексу посухи ID (Index of Drought) для обраного об'єкта за 2007 та 2013 рр. (О. І Сахаський, О. А. Апостолов [102])



**Рис. 4.19.** Порівняння значень індексу посухи ID за весняними місяцями: а — квітень 2007 р., б — квітень 2013 р., в — травень 2007 р., г — травень 2013 р.



**Рис. 4.20.** Порівняння значень індексу посухи ID за літніми місяцями: а — червень 2007 р., б — червень 2013 р., в — липень 2007 р., г — липень 2013 р., д — серпень 2007 р., е — серпень 2013 р.

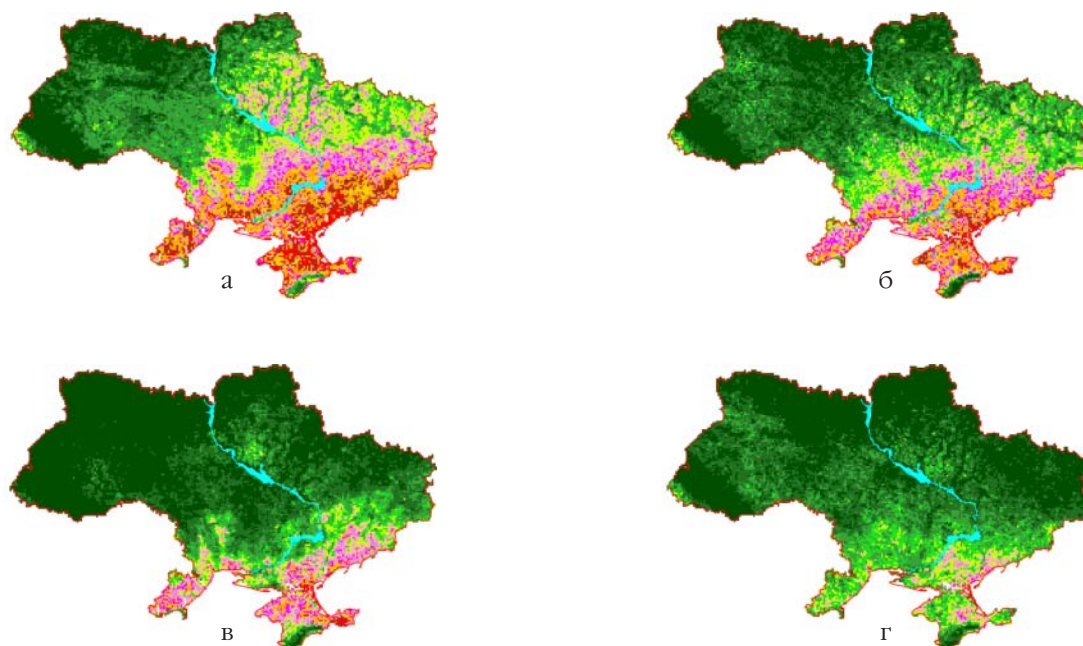


Рис. 4.21. Порівняння значень індексу посухи ID за осінніми місяцями: а — вересень 2007 р., б — вересень 2013 р., в — жовтень 2007 р., г — жовтень 2013 р.

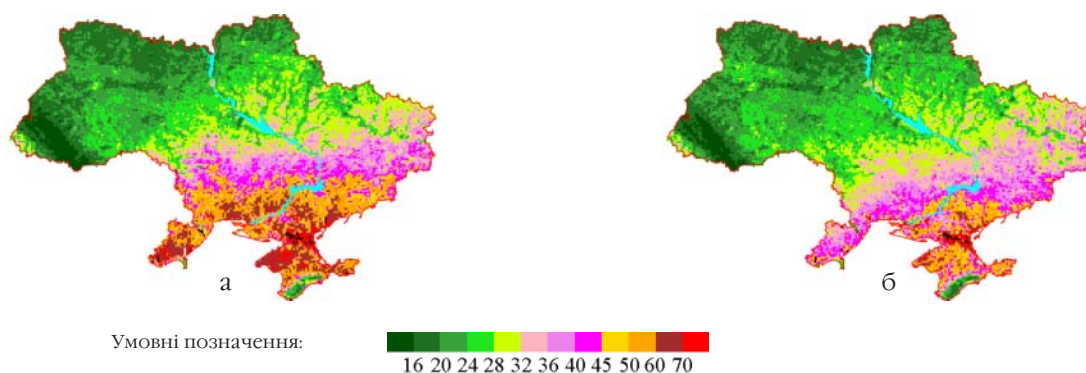


Рис. 4.22. Порівняння усереднених значень індексу посухи ID за період з квітня по жовтень 2007 та 2013 р.: а — за 2007 р., б — за 2013 р.

ливість) майже однакове і займає південний та південно-східний регіони України, які є зерновими.

Для гарантування продовольчої та екологічної безпеки в посушливих і напівпосушливих районах України потрібно передбачати низку заходів щодо подальшого розвитку зрошувального землеробства, відновлення й модернізації зрошувальних систем на основі сучасних технологій. Крім того, організаційно-господарські заходи повинні передбачати грошову компенсацію агровиробникам, які зазнали істотних збитків від посухи, звільнення від сільськогосподарського податку через неврожай, підвищення закупівельних цін на сільгосппродукцію, страхування ризиків, виплату страхових збитків, створення державних агентств зі страхування сільськогосподарських ризиків, активізацію дорадчих служб, лізингових компаній та інвестиційних проєктів, складання прогнозів урожайності й валового збору зернових, моніторинг посух, розроблення та ухвалення державної програ-

ми захисту сільськогосподарських рослин від посухи, наукове забезпечення та супровід її реалізації тощо, на що потрібно витратити сотні мільйонів гривень. Так, у 2007 р. для надання підтримки сільському господарству з метою подолання наслідків посухи з Держбюджету передбачалося виділення 350 млн грн. [101]. Тому контроль за зволоженістю земного покриття є надзвичайно важливим для оцінки стану посівів сільськогосподарських культур. Бажано, щоб керівництво держави, а також особи, які приймають рішення в сферах логістики, звернули увагу на негативні впливи змін клімату та на умови забезпечення продовольством населення України.

Отже, сумісний аналіз метеорологічних і супутникових індексів посухи відкриває нові можливості в розумінні причин виникнення посухи, виявлення особливості розповсюдження, а за супутниковими даними — особливо деталізацію її інтенсивності на території.

## Висновки

Таким чином сумісний аналіз метеорологічних і супутникових індексів посухи відкриває нові можливості в розумінні причин виникнення посухи, виявлення особливостей розповсюдження, а за супутниковими даними — особливо деталізацію її інтенсивності на території.

Розгляд динаміки просторово-часового розподілу посух в перше десятиліття XXI ст. дає мож-

ливість зробити умовний висновок, що поки що екстремальної ситуації в зерновому господарстві України немає. Але ймовірно, якщо умови тепловологозабезпеченості вийдуть за межі тих, що спостерігали у другій половині XX ст., то для збереження балансу продовольства в державі необхідна особлива увага до проблем сільськогосподарського виробництва, які виникають у зв'язку з потеплінням глобального і регіонального клімату.

## 4.7 Вплив клімату на врожайність сільськогосподарських культур

### 4.7.1. Погодні ризики в сільському господарстві при потеплінні за наземними даними

За оцінками світових експертів, 65–70 % втрат, пов'язаних з несприятливими погодними і кліматичними умовами, припадає на сільське господарство [98]. Приблизно половині цих втрат можна запобігти за умови ретельного врахування всіх метеорологічних факторів та достатньо надійного прогнозу погоди. Однак є всі підстави вважати, що залежність сільського господарства від кліматичних умов збережеться, а, можливо, і посилиться. Основні ризики, які завдають найбільших збитків сільському господарству України, — це засухи, зливи, град, шквали, сильні дощі.

На території України втрати урожайності від несприятливих погодних умов в окремі роки можуть досягати 45–50%, а при поєднанні декількох несприятливих явищ (2003 р. – вимерзання, загибель від льодової кірки, засуха) — 70 % і більше [65].

В Гідрометцентрі України було виконано розрахунки щорічних втрат зерна через несприятливі погодні умови за останні декілька років, серед яких є дуже несприятливі та катастрофічні. За цими підрахунками, верхня межа середньорічного рівня втрат від несприятливих погодних умов становить 7174 млн грн. [1, 2].

Така ж ситуація і в інших країнах. Це викликає необхідність розробки стратегічних дій на національному і міждержавних рівнях щодо упередженості цих процесів.

Особливу тривогу викликає важкопередбачувана антропогенна складова зміни клімату, яка суттєво впливає на стан біосфери, нормальне функціонування різних популяцій рослин і, як результат, на господарську (насамперед сільськогосподарську) діяльність людства, його здоров'я і благополуччя.

Як зазначалось у попередніх розділах, сьогодні клімат змінюється досить швидко, ніж це було протягом XX ст. Негативні впливи кліматичної зміни можуть відкинути назад соціально-економічний розвиток і є загрозою для продовольчої безпеки держави.

Зими стали набагато теплішими і малосніжними, дестабілізувався сніговий покрив, який захищав озимі від пошкодження.

Змінився характер зим за багатьма агрометеорологічними показниками. Зміна тривалості холодного періоду на 1 місяць призвела в календарний зимовий період виникнення січевих та лютевих дощів. Тільки окремі зими, наприклад 1984–1985, 1986–1987, 1996–1997 рр., були надзвичайно холодними і безсніжними, відбулося вимерзання озимих культур на значних площах. Окремо слід виділити зиму 2002–2003 р., катастрофічні наслідки якої для озимих культур можна віднести також до потепління [65].

Багаторічне підвищення температури повітря в зимовий період призвело до того, що січень останніми роками XX ст. був зовсім не найхолоднішим місяцем, часто спостерігалася позитивна температура. На фоні загального потепління зими опадів за холодний період все частіше випадає менше норми. Потепління зимового періоду спричинило те, що в найхолодніший місяць січень не спостерігається таких низьких температур, як це було в XX ст., які призводили до загибелі озимих культур на значних площах, а, навпаки, посилюються процеси вимокання та грибкових захворювань.

Відновлення весняних процесів в останні роки відбувається в середньому на 2–3 тижні раніше. Теплозабезпечення вегетаційного періоду зросло на 70–100°, вже зафіксовано збільшення тривалості періоду активної вегетації на 7–10 днів [61].

Зміни літніх температур за 100-літній період менш значущі, проте їх зростання, що намітилося в роки XXI ст., коли суттєве потепління почало проявлятися і в літній сезон, небезпечно загрозою збільшення частоти посух (див. розд. 4.5).

В останні десятиліття по всій території України спостерігається зменшення кількості зимових опадів, що є негативним чинником для формування достатнього зволоження на весну. Тривогу викликає відчутне скорочення кількості опадів у Степовій зоні в липні на тлі зростання температури повітря цього місяця.

Що стосується річної кількості опадів, то вона переважно коливається в межах норми — 80–120%, однак у 2007 р. ця кількість виявилася дуже низькою — в південно-східному регіоні і центральних областях недобір опадів порівняно з нормою досягав 25–40%, а місцями і 50%.

Як уже зазначалось, поки не виявлено явної тенденції до зменшення річної кількості опадів. Крім того, сума опадів — це не так важливо, як їх розподіл, у характері якого спостерігається тенденція до збільшення кількості малоефективних тривалих дощів, злив. Якщо місячна норма опадів випадає за 1–2 дні, то сільськогосподарське виробництво такі опади не врятує.

Відбувається зменшення зони достатнього зволоження ґрунту, її межа піднімається все вище на північ. Якщо раніше вона пролягала по півдню Зони мішаних (хвойно-широколистних) лісів, то тепер ці регіони вже можна вважати зоною нестійкого зволоження. Тобто відбувається розповсюдження засух на північні регіони України.

На фоні глобального потепління в Україні існує тенденція до зростання загального збитку від несприятливих умов (в основному від посухи).

Для України, як визнаного у світі сільськогосподарського виробника, найбільш небезпечним є збільшення числа посух у зонах з недостатнім зволоженням. У поєднанні з іншими антропогенними факторами це може призвести до розширення зони ризикового землеробства і навіть до опустелювання деяких районів південних областей України. Адже повторюваність посух по сільськогосподарських районах становить 20–40% (тобто 1–2 рази на 5 років) останніми роками у південних областях посухи різної інтенсивності спостерігаються щороку, а окремі регіони постійно, роками знаходяться в цих умовах. Історичний дефіцит вологи спостерігався протягом 100 років в Степовій зоні України.

За останні два десятиріччя відмічається збільшення кліматичної мінливості урожайності різних культур по всіх зонах України [62].

Урожайність кожної культури формується не тільки кліматичними умовами, а під впливом багатьох інших чинників — насіння, добрива, строки сівби та ін. Однак у періоди, коли спостерігається значна кількість погодних аномалій, саме погодним умовам належить вирішальна роль у формуванні врожаю, а погодну складову врожаю неможливо мінімізувати технологіями.

Синоптичні процеси, які впливають на погоду України в період нинішньої зміни клімату, є дуже активними.

Згубним для посівів ранніх зернових культур виявилися не тільки недостатня кількість опадів, а ще й тривалий тепловий стрес. Майже безперервний підвищений рівень теплозабезпечення вегетаційного періоду. Суми температур (активних та ефективних) — це зв'язок рослини із середовищем їх зрос-

тання. Для культур помірного поясу, до якого належить Україна, швидкість розвитку рослини зростає пропорційно підвищенню температури середовища, але в межах біологічного мінімуму (+18–22°). При подальшому зростанні температури розвиток рослин не прискорюється, він може уповільнитись або й припинитись, температури стають баластними. Надмірне теплозабезпечення спричиняє передчасне дозрівання практично всіх зернових культур. В свою чергу, скорочення вегетаційного періоду зумовлює меншу врожайність зернових.

В Україні останніми роками ускладнилися умови для сівби озимих культур через збільшення частоти осінніх посух. У середньому через кожні 2 роки спостерігаються осінні посухи різної інтенсивності. За аналізом багаторічних спостережень, у Лісостеповій зоні України (де зосереджено найбільше північних площ озимої пшениці) зволоження ґрунту у вересні лише у 5 роках із 10 буває достатнім та оптимальним [62].

Площі із слабкими посівами і тими, що не зійшли, майже щорічно відмічаються у багатьох регіонах, їх сумарна частка у середньому становить 25%. У деяких, особливо в посушливі роки, площа посівів, що не зійшли, в адміністративних областях Лісостепової зони досягала 40–50% (1975 р.). У степових областях площа таких посівів сягала 50–70% у 1975, 1982, 2005 рр. Рекорд не отриманих сходів (понад 80% від засіяної площі) належить Дніпропетровській області, і відбувся він минулої осені (2011 р.) [1, 2].

Накопичення вологи в ґрунті для сівби озимих культур під урожай наступного року відбувається за рахунок опадів другої половини липня та серпня. За кліматичними умовами на території України липень-серпень є єдиним періодом, упродовж якого кількість опадів (у середньому 128 мм) відповідає потребі рослин (130 мм) у наступних посівах озимої пшениці. Тільки в ці місяці може бути накопичена і збережена волога в ґрунті при відповідній технології під посіви озимої пшениці [61].

У вересні-жовтні кількість опадів у середньому в Україні не перевищує 82 мм, що майже вдвічі менше потреби посівів (170 мм). Ймовірність випадання оптимальної кількості опадів у цей період у різних зонах України становить не більше 1–12%. Тому сіяти озиму пшеницю пізніше оптимальних термінів економічно недоцільно. Середні значення кількості опадів за липень-серпень у Зоні мішаних (хвойно-широколистних) і Лісостеповій зоні перевищують потребу озимої пшениці. Але нижня межа найбільш ймовірних опадів тут на 40 мм менша, ніж потреба. У Степовій зоні середнє значення кількості опадів на 35 мм менше потреби озимої пшениці [61].

Існує тенденція зменшення кількості опадів у вересні (в середньому на 20%) та підвищення температури повітря (в середньому на 1°) за десятиріччя [62]. Такі зміни температури повітря призводять до зміщення термінів сівби озимих культур на більш



пізні. За аналізом саме в ті роки, коли кількість опадів та температура повітря у вересні була близькою до норми, Україна отримувала найвищі врожаї озимих культур.

Справджуються висновки світових експертів зі зміни клімату в тому, що людська діяльність порушила звичайний розподіл тепла між різними зонами Землі, і тепер температура скрізь росте тільки в одному додатному напрямку. Надалі ризики погоди, які спостерігались нинішнього вегетаційного періоду, будуть зростати. Уникнути небезпечних природних явищ неможливо, але комплексна оцінка і завчасність попередження можуть сприяти мінімізації негативних наслідків для виробників.

#### 4.7.2. Наслідки кліматичних змін і адаптаційні заходи для аграрного сектору

Проведені дослідження показали, що зміни клімату в Україні поки що не виходять за рамки можливостей адаптації природних і антропогенних систем. Слід зазначити, що загальні розрахунки збитків від небезпечних стихійних явищ, впливів на різні процеси в природному середовищі, на умови життєдіяльності населення в динаміці відстежити важко, оскільки відсутня повна статистика.

За існуючим у теперішній час комплексом природних умов (родючістю ґрунту, кількістю тепла, тривалістю вегетаційного періоду, зволоженістю) Україна, як і завжди, є територією, яка придатна для ведення сільського господарства, зокрема вирощування традиційних для наших широт культур: озимої пшениці, кукурудзи та інших зернових. Незважаючи на прогнозоване в майбутньому потепління клімату, це може зберегтися і в майбутньому, в будь-якому разі до 2030 р.

Але і зараз, і в майбутньому потрібно приділити особливу увагу впливу змін клімату у сільському господарстві як галузі, найбільш залежної від клімату. Для сільського господарства наслідки потепління клімату будуть пов'язані зі змінами родючості ґрунтів, змінами умов виробничої діяльності, створенням передумов для зміни господарської спеціалізації.

Наведемо приклади реалізації умов ведення сільського господарства та рекомендації для роботи аграрного сектору.

Прогнозовані зміни клімату можуть мати вплив на потенційну зміну в глобальному виробництві продукції в сільському господарстві через:

1) фізіологічний (прямий) вплив підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері на сільськогосподарські культури і бур'яни;

2) вплив змін кліматичних параметрів на рослини і тварини;

3) вплив кліматично зумовленого підвищення рівня моря на землекористування.

В праці [76] показано, що сприятливий вплив  $\text{CO}_2$  на продуктивність (при всіх інших рівних умовах) призведе до 10–50 % набирання в накопиченні сухої речовини більшості видів рослин при подвоєнні концентрації  $\text{CO}_2$ . Збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  призведе до росту інтенсивності фотосинтезу в рослинах [76]. Підвищення концентрації  $\text{CO}_2$ , за оцінками багатьох вчених [76], вплине на якість врожаю. Високий рівень  $\text{CO}_2$  зазвичай знижує вміст азоту в листках, стеблах і плодах. При підвищеному вмісту  $\text{CO}_2$  можна отримати такий же рівень врожаю, але при меншій кількості азотних добрив. Покращаться умови і стануть коротшими терміни збору врожаю. Але цей позитивний ефект, пов'язаний зі збільшенням вуглекислого газу в атмосфері в результаті антропогенної діяльності, може бути перекритий несприятливими кліматичними змінами, обумовленими ростом ПП в атмосфері [110].

Несприятливі кліматичні зміни відобразяться на родючості ґрунтів: активізується розкладання гумусу в ґрунтах; погіршаться умови зволоження ґрунтів, особливо на півдні України. Зміняться умови ведення сільського господарства: терміни сівби будуть ранніми, але збережеться загроза загибелі рослин від весняних заморозків. Більш сприятливими стануть умови перезимівлі шкідників, збудників хвороб рослин, бур'янів, що негативно вплине на розвиток культурної рослинності.

Відбудуться зміни в спеціалізації сільського господарства. Потрібно посилити: заходи боротьби з посухою; боротьбу з ерозією ґрунтів; впроваджувати вологозберігаючі технології; оптимальні сівозміни; селекцію нових посухостійких сортів і гібридів сільськогосподарських культур; проводити спеціальні навчальні та освітні програми для працівників сільського господарства. Необхідно на державному рівні розробити програму розвитку сільськогосподарських регіонів України з урахуванням змін кліматичних умов.

Заходи щодо адаптації господарства до потепління повинні проводитися в різних напрямках, першочерговими з них мають бути такі:

- розробка наукових і освітніх програм зі змін клімату та створення спеціальної науково-дослідницької структури для вивчення наступних питань:
- інвентаризація ПП;
- розробка оцінок і прогнозів впливу господарської діяльності на клімат і, навпаки, клімату на господарську діяльність;
- розробка СНІП і методів раціонального використання кліматичних ресурсів.

В цілому, потрібно буде проводити широкомасштабні заходи щодо адаптації сільськогосподарського сектору до змін клімату.

## Висновки

Отже, можливі зміни клімату можуть значною мірою вплинути на сільське господарство України. Екстремальні ситуації в зерновому господарстві України до 2030 р., ймовірно, не вийдуть за межі тих, що спостерігали у другій половині ХХ і з початку ХХІ ст. Але для збереження балансу продовольства в державі необхідна особлива увага до проблем сільськогосподарського виробництва, які виникають у зв'язку з потеплінням глобального і регіонального клімату.

## Загальний висновок

Клімат є одним із головних природних ресурсів, від якого залежать умови життєдіяльності людини, напрям, структура і значною мірою рівень господарювання. Навіть невеликі кліматичні зміни на тлі несприятливих екологічних умов можуть супроводжуватися значними соціально-економічними збитками, якщо їх своєчасно не спрогнозувати і не вжити відповідних заходів.

Україна, ратифікувавши рамкову Конвенцію ООН з питань зміни клімату, взяла на себе зобов'язання не тільки обмежити викиди ПГ (головного фактора підсилення природного парникового ефекту і, як результат, глобального потепління клімату), але й продовжувати досліджувати регіональний клімат і вдосконалювати розроблені сценарії можливих його змін з допомогою даних інструментальних метеорологічних спостережень та наукових результатів отриманих з допомогою даних ДЗЗ.

## Література до розділу 4

1. Агрометеорологічний огляд по території України за 2011–2012 сільськогосподарський рік / За ред. М. І. Кульбіді, Т. І. Адаменко. — К., 2012. — 39 с.
2. Агрометеорологічний огляд по території України за 2012–2013 сільськогосподарський рік / За ред. М. І. Кульбіді, Т. І. Адаменко. — К., 2013. — 39 с.
3. Анисимов О. А. Современное потепление как аналог климата будущего / О. А. Анисимов, М. А. Белолуцкая // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2003. — № 2. — С. 211–221.
4. Анисимов О. А. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть ХХІ в. / О. А. Анисимов, В. А. Лобанов, С. А. Ранева // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 10. — С. 20–30.
5. Бабиченко В. М. Температура воздуха на Украине / В. М. Бабиченко [и др.] / Л.: Гидрометиздат, 1987. — 396 с.
6. Бабиченко В. Н. Стихийные метеорологические явления на Украине и в Молдавии / В. Н. Бабиченко / Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 224 с.
7. Балабух В. О. Регіональні особливості розподілу небезпечних і стихійних конвективних явищ погоди при переміщенні на Україну циклонів і фронтів з північною складовою наприкінці ХХ ст. // Матеріали Міжнар. конф. "Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища-2002". Ч. 1. — Одеса, 2003. — С. 31–36.
8. Балабух В. О. Зміна розподілу небезпечних і стихійних конвективних явищ погоди наприкінці ХХ ст. при переміщенні в Україну циклонів і фронтів з південною складовою / В. О. Балабух, О. М. Лавриненко / Наук. праці Укр. наук.-дослід. гідрометеоролог. ін-ту. — 2006. — Вип. 255. — С. 28–34.
9. Барабаш М. Небезпечні та стихійні явища в Україні в період глобального потепління / М. Барабаш, Н. Гребенюк, О. Татарчук, Т. Корж // Наук. зап. Тернопіл. держ. пед. ун-ту. Сер. Географія. — 2004. — № 3. — С. 43–47.
10. Барабаш М. Зміна глобального клімату і проблема опустелювання в Україні / М. Барабаш, М. Кульбίδα, Т. Корж // Наук. зап. Тернопіл. держ. пед. ун-ту. Сер. Географія. — 2004. — № 2. — ч. 1 — С. 82–88.
11. Барабаш М. Сценарії режиму температури повітря в перші десятиріччя ХХІ ст. за фізико-географічними зонами України / М. Барабаш, Л. Ткач // Водне господарство. — 2005. — № 3. — С. 47–54.
12. Барабаш М. Б. Зміни клімату України при глобальному потеплінні / М. Б. Барабаш, Н. П. Гребенюк, О. Г. Татарчук // Водне господарство України. — 1998. — № 3. — С. 9–12.
13. Барабаш М. Б. Изменение частоты стихийных явлений в Украине на фоне глобального и регионального изменения климата к началу ХХІ ст. / М. Б. Барабаш, Н. П. Гребенюк, О. Г. Татарчук // Материалы Международ. науч. конф. — Санкт-Петербург. — 2002. — С. 564–565.
14. Барабаш М. Б. Изменения и колебания климата / М. Б. Барабаш, Е. И. Тарасова // Климат Полтавы / под ред. В. Н. Бабиченко. — Л.: Гидрометеоиздат, 1983. — С. 184–189.
15. Барабаш М. Б. Изменения и колебания климата / М. Б. Барабаш, Е. И. Тарасова // Климат Кишинева / под ред. В. Н. Бабиченко. — Л.: Гидрометеоиздат, 1983. — С. 184–189.
16. Барабаш М. Б. Связь циркуляционных процессов с температурой воздуха зимой / М. Б. Барабаш, Е. И. Тарасова // Тр. УкрНИГМИ. — 1983. — Вып. 196. — С. 52–60.
17. Барабаш М. Б. К характеристике атмосферных процессов зимой на Украине / М. Б. Барабаш, О. Г. Татарчук // Тр. УкрНИГМИ. — 1986. — Вып. 216. — С. 88–95.
18. Барабаш М. Б. О тенденции изменения температуры воздуха и осадков по периодам вегетационного цикла озимой пшеницы на территории Украинской ССР / М. Б. Барабаш, О. Г. Татарчук // Тр. УкрНИГМИ — 1988. — Вып. 227. — С. 89–97.
19. Барабаш М. Б. Нове про зміни клімату в західному регіоні України під впливом глобального потепління / М. Б. Барабаш, О. Г. Татарчук, Т. В. Корж // Матеріали Міжнародної конференції, присвяченої міжнародному року гір (м. Рахів, 14–18 жовтня 2002 р.) "Гори і

- люди” (у контексті сталого розвитку). — Рахів, 2002. — С. 10–14.
20. Барабаш М. Б. Конструктивний підхід до регіоналізації глобальної зміни клімату на території України / М. Б. Барабаш, Л. О. Ткач // Наук. зап. Вінницького держ. пед. ун-ту. Сер. Географія. — 2005. — Вип. 9. — С. 23–41.
  21. Барабаш М. Б. Изменения и колебания климата / М. Б. Барабаш, И. В. Трофимова // Климат Ужгорода / под. ред. В. Н. Бабиченко. — Л.: Гидрометеоздат, 1991. — С. 156–162.
  22. Бедрицкий А. И. Опасные гидрометеорологические явления и их влияние на экономику России / А. И. Бедрицкий, А. А. Коршунов, М. З. Шаймарданов. — Обнинск: Б. и., 2001. — 34 с.
  23. Бойченко С. Г. Сценарії можливої трансформації природних зон на території України при глобальному потеплінні // Фіз. географія та геоморфологія. — 2003. — Вип. 45. — С. 56–63.
  24. Бойченко С. Г. Про можливість зміщення поясу субтропічних антициклонів на південні регіони України при подальшому глобальному потеплінні / С. Г. Бойченко, В. М. Волощук, Н. М. Сердюченко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2004. — № 5. — С. 53–58.
  25. Бойченко С. Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату / С. Г. Бойченко / К.: Наук. думка, — 2008. — 308 с.
  26. Бudyко М. И. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата / М. И. Бudyко // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 4. — С. 39–50.
  27. Бudyко М. И. Климат в прошлом и будущем / М. И. Бudyко. — Л.: Гидрометеоздат, 1980. — 351 с.
  28. Бudyко М. И. Климат и жизнь / М. И. Бudyко. — Л.: Гидрометеоздат, 1971. — 472 с.
  29. Бudyко М. И. О происхождении ледниковых эпох / М. И. Бudyко // Метеорология и гидрология. — 1968. — № 11. — С. 3–12.
  30. Бudyко М. И. О термической зональности Земли / М. И. Бudyко // Метеорология и гидрология. — 1961. — № 11. — С. 7–14.
  31. Бudyко М. И. Полярные льды и климат / М. И. Бudyко // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1962. — № 6. — С. 3–10.
  32. Бudyко М. И. Современное изменение климата / М. И. Бudyко. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 47 с.
  33. Бudyко М. И. Эволюция биосферы / М. И. Бudyко. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 484 с.
  34. Бudyко М. И. Глобальное потепление / М. И. Бudyко, К. Я. Винников // Метеорология и гидрология. — 1976. — № 7. — С. 16–26.
  35. Бudyко М. И. Закономерности влагооборота в атмосфере / М. И. Бudyко, О. А. Дроздов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1953. — № 4. — С. 167–170.
  36. Бudyко М. И. О причинах изменений влагооборота / М. И. Бudyко, О. А. Дроздов // Вод. ресурсы. — 1976. — № 6. — С. 35–44.
  37. Бульгина О. Н. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России / О. Н. Бульгина [и др.]. // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. — 2000. — Вып. 167. — С. 16–32.
  38. Бучинский И. Е. Засухи, суховеи, пыльные бури на Украине и борьба с ними / И. Е. Бучинский. — Киев: Урожай, 1970. — 229 с.
  39. Бучинский И. Е. Климат Украины / И. Е. Бучинский. — Л.: Гидрометеоздат, 1960. — 130 с.
  40. Бучинский И. Е. О колебаниях климата на Украине: Лекции / И. Е. Бучинский. — Киев, 1968. — 28 с.
  41. Бучинский И. Е. Суховеи / И. Е. Бучинский, Г. Н. Деменкова, М. Ю. Кулаковская // Опасные явления погоды на Украине. — Л.: Гидрометеоздат, 1972. — С. 28–35.
  42. Винников К. Я. Изменения средней температуры воздуха северного полушария за 1881–1985 гг. / К. Я. Винников, П. Я. Гройсман, К. М. Лугина, А. А. Голубеев // Метеорология и гидрология. — 1987. — № 1. — С. 13–18.
  43. Винников К. Я. Эмпирическая модель современных изменений климата / К. Я. Винников, П. Я. Гройсман // Метеорология и гидрология. — 1979. — № 3. — С. 25–36.
  44. Волощук В. М., Бойченко С. Г. Сценарії можливих змін клімату України в 21 ст. (під впливом глобального антропогенного потепління) / В. М. Волощук, С. Г. Бойченко // Клімат України. — К.: Вид-во Раєвського, 2003. — С. 319–330.
  45. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор: Монографія / [А. Швиденко, П. Лакида, Д. Щепашенко, Р. Васишин, Ю. Марчук]. — Корсунь-Шевченківський: ФOP Гаврищенко В. М., 2014. — 283 с.
  46. Глобальный климат 2001–2010 гг. Десятилетие экстремальных климатических явлений. Краткий доклад, 15 с.
  47. Гребенюк Н. П. Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації / Н. П. Гребенюк, М. Б. Барабаш // Наук. праці УкрНДГМІ. — 2004. — Вип. 253. — С. 148–154.
  48. Гребенюк Н. П. Динаміка частоти небезпечних та стихійних явищ в Україні в період глобального потепління / Н. П. Гребенюк, О. Г. Татарчук, Т. В. Корж // Географічна освіта і наука в Україні. — К.: Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, 2003. — С. 116–117.
  49. Гродзинський М. Д. Ніші ландшафтів України у просторі кліматичних факторів / М. Д. Гродзинський, Д. В. Свідзінська. — К.: ВГЛ “Обрії”, 2008. — 259 с.
  50. Гройсман П. Я., Иванов С. В., Паламарчук Ю. О. Региональные климатические изменения в Восточной Европе: документальное подтверждение и их связь с глобальными изменениями / П. Я. Гройсман, С. В. Иванов, Ю. О. Паламарчук. Глобальные и региональные изменения климата. — Киев: Ника-Центр, 2011. — С. 38–56.
  51. Груза Г. В. О неопределенности некоторых сценарных климатических прогнозов температуры воздуха и осадков на территории России / Г. В. Груза [и др.]. // Метеорология и гидрология. — 2006. — № 10. — С. 5–23.
  52. Дзердзиевский Б. Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX ст. // Матери-

- алы метеорологических исследований. — М.: Ин-т географии АН СССР, 1970. — 176 с.
53. Зведений річний огляд стихійних метеорологічних явищ, які спостерігалися в Україні в 1992–1998 рр. — К.: Держкомгідромет, 1993–1999. — 86 с.
  54. Зведений річний огляд стихійних метеорологічних явищ, які спостерігалися на території України в 1966–2000 рр. — К.: Держкомгідромет, 2001. — 86 с.
  55. Израель Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израель. — М.: Гидрометеиздат, 1984. — 559 с.
  56. Израель Ю. А. Роль стратосферних аерозолей в сохрании современного климата / Ю. А. Израель, И. И. Борзенкова, Д. А. Северов // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 1. — С. 5–14.
  57. Израель Ю. А. Проблема антропогенных выбросов криптона-85 в атмосферу / Ю. А. Израель, И. М. Назаров, А. Г. Рябошапка // Метеорология и гидрология — 1982. — № 6. — С. 5–15.
  58. Кінаш Р. І. Стихійні метеорологічні явища в Україні / Р. І. Кінаш, О. М. Бурнаєв, І. З. Федик. — К.: Держкомгідромет, 2000. — 119 с.
  59. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма / под ред. К. Т. Логвинова и М. Б. Барабаш. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 318 с.
  60. Климат России в XXI в. Ч 2. Оценка пригодности моделей циркуляции атмосферы и океана СМIP 3 для расчетов будущих изменений климата России // Метеорология и гидрология. — 2008. — № 8. — С. 5–18.
  61. Клімат України / за ред. В. М. Липінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. — К.: В-во Раєвського, 2003. — 343 с.
  62. Клімат України: у минулому...і майбутньому? / М. І. Кульбіда, М. Б. Барабаш, Л. О. Єлістратова, Т. І. Адаменко, Н. П. Гребенюк, О. Г. Татарчук, Т. В. Корж; за ред. М. І. Кульбіди, М. Б. Барабаш. — К.: Сталь, 2009. — 234 с.
  63. Кобышева Н. В. Климатическая обработка метеорологической информации / Н. В. Кобышева, Г. Я. Наровлянский. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 245 с.
  64. Костюченко Ю. В. Застосування методів нелінійної просторово-часової регуляризації для аналізу даних метеорологічних спостережень / Ю. В. Костюченко [та ін.]. // Космічна наука і технологія. — 2013. — Т. 19. — № 5. — С. 52–59.
  65. Кульбіда М. І. Агриметеорологічні умови і продуктивність озимої пшениці при зміні клімату в Україні: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.09 / Одеський держ. екол. ін-т. — Одеса, 2003. — 19 с.
  66. Кульбіда М. І. Глобальне потепління клімату та частота стихійних явищ в Україні / М. І. Кульбіда [та ін.]. // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. — К.: Обрії, 2004. — Т. 3. — С. 138–140.
  67. Кульбіда М. І. Прогноз змін клімату України на початку XXI ст. / М. І. Кульбіда, М. Б. Барабаш, Л. О. Єлістратова // Наук. зап. Вінницького держ. пед. ун-ту ім. Михайла Коцюбинського. Сер. Географія. — 2011. — Вип. 23. — С. 10–18.
  68. Кульбіда М. І., Барабаш М. Б., Єлістратова Л. О. Сучасний стан клімату України // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. / М. І. Кульбіда, М. Б. Барабаш, Л. О. Єлістратова // УкрНДІЕП. — Х.: Райдер, 2013. — Вип. 35. — С. 118–131.
  69. Логвинов К. Т. Метеорологические параметры стратосферы / К. Т. Логвинов. — Л.: Гидромет, 1970. — 219 с.
  70. Логвинов К. Т. Основные итоги гидрометеорологических исследований на Украине / К. Т. Логвинов // Метеорология и гидрология. Информ. бюл. — 1969. — № 13. — 336 с.
  71. Логвинов К. Т. Особенности засухи 1972 г. на Украине / К. Т. Логвинов. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 97 с.
  72. Логвинов К. Т. Опасные явления погоды на Украине / К. Т. Логвинов, В. Н. Бабиченко, М. Ю. Кулаковская. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 236 с.
  73. Логвинов К. Т. Исследование периодических изменений температуры воздуха и осадков на Украине / К. Т. Логвинов, М. Б. Барабаш // Тр. УкрНИГМИ. — 1987. — Вип. 224. — С. 71–76.
  74. Логинов В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. — Минск: Беларус. навука, 2012. — 266 с.
  75. Логинов В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. И. Волчек, И. Н. Шпока. — Минск: Беларус. навука, 2010. — 130 с.
  76. Логинов В. Ф. Изменения климата Беларуси и их последствие / В. Ф. Логинов [и др.]. — Мн.: ОДО “Тонпик”, 2003. — 330 с.
  77. Лосев К. С. Климат: вчера, сегодня... и завтра? / К. С. Лосев. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 174 с.
  78. Лялько В. І. Дослідження впливу CO<sub>2</sub> та CH<sub>4</sub> в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / В. І. Лялько [та ін.]. // Геол. журн. — 2007. — № 4. — С. 7–16.
  79. Лялько В. І. Оцінка впливу астрономічних та геоботанічних факторів на формування кліматичних особливостей регіонів (на прикладі України) / В. І. Лялько, Д. М. Мовчан, С. В. Сябряй // Геоінформатика. — 2009. — № 3. — С. 74–82.
  80. Лялько В. І. Використання даних наземного та космічного моніторингу для аналізу сучасних змін клімату в Україні / В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов // Доп. НАН України. — 2014. — № 7. — С. 109–115.
  81. Лялько В. І. Особенности дистанционного зондирования Земли при исследовании глобальных и региональных изменений климата / В. І. Лялько [и др.]. / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. науч. ст. Т. 2. — М.: GRANP polygraf, 2005. — С. 23–27.
  82. Мартазинова В. Ф. Влияние глобального потепления на изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции и формирования аномальных погодных условий в Украине / В. Ф. Мартазинова, В. Г. Бахмутов, Д. Ю. Чайка / Доп. НАН України. — 2006. — № 2. — С. 105–110.
  83. Мартазинова В. Ф. Изменение крупномасштабной

- циркуляції атмосфери на протязенні ХХ в. і її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію повітря в Україні / В. Ф. Мартазінова, Е. К. Іванова, Д. Ю. Чайка // Геофіз. журнал. — 2006. — Т. 28, № 1. — С. 51–60.
84. Мартазінова В. Ф. Особенности тропосферных и стратосферных атмосферных процессов при резких потеплениях и похолоданиях на территории Украины в теплый период года / В. Ф. Мартазінова, В. В. Остапчук // *Наук. пр. УкрНДГМІ.* — 2001. — Вип. 249. — С. 24–34.
85. Мартазінова В. Ф. Крупномасштабная атмосферная циркуляция ХХ ст., ее изменения и современное состояние / В. Ф. Мартазінова, Т. А. Свердлик // *Наук. праці УкрНДГМІ.* — 1998. — Вип. 246. — С. 21–27.
86. Мартазінова В. Ф. Зміни регіональної циркуляції повітря і погодні умови в Україні у період глобального потепління // *Екологічна енциклопедія України.* — К. 2006. — Т. 1.
87. Мартазінова В. Ф. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом ХХ ст. та її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію повітря в Україні / В. Ф. Мартазінова, Т. А. Свердлик // *Укр. географічний журн.* — 2001. — № 2. — С. 24–34.
88. Мелешко В. П. Изменения и изменчивость климата Северной Евразии в XXI в.: оценки, основанные на ансамбле МОЦАО / В. П. Мелешко [и др.] // *Прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям. Материалы Междунар. конф. по проблемам гидрометеорологической безопасности.* — М., 2007. — С. 97.
89. Мелешко В. П. Насколько наблюдаемое потепление климата России согласуется с расчетами по объединенным моделям общей циркуляции атмосферы и океана? / В. П. Мелешко, В. М. Мирвис, В. А. Говорков // *Метеорология и гидрология.* — 2007. — № 10. — С. 5–19.
90. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. — К.: Держ. гідрометеорол. служба, 2003. — 30 с.
91. Огляд погоди та стихійних метеорологічних явищ за 1999–2004 рр. — К.: Укр. гідрометеорол. Центр; Центр геофіз. обсерваторія, 2000–2005 рр. — 50 с.
92. Осадчий В. І. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень / В. І. Осадчий [та ін.]. — К.: Ніка-Центр, 2013. — 308 с.
93. Осадчий В. І. Динаміка метеорологічних стихійних явищ в Україні / В. І. Осадчий, В. М. Бабіченко // *Укр. географічний журн.* — 2012. — № 4. — С. 8–14.
94. Оцінка вразливості до змін клімату: Україна, 2014. — 74 с.
95. Педь Д. А. Об особенностях погоды при атмосферной засухе и избыточном увлажнении / Д. А. Педь // *Тр. ГМЦ.* — 1978. — Вып. 195. — С. 18–26.
96. Пишкало Н. И. Прогноз максимума 24-го цикла солнечной активности / Н. И. Пишкало // *Космічна наука і технологія.* — 2010. — Т. 16, № 3. — С. 32–38.
97. Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різких змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища. — К.: Держкомгідромет, 1994. — 16 с.
98. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: Минсктиппроект, 2005. — 180 с.
99. Рубинштейн Е. С. Современное изменение климата / Е. С. Рубинштейн, Л. Г. Полозова. — Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1966. — 268 с.
100. Сазонов Б. И. Солнечно-тропосферные связи / Б. И. Сазонов, В. Ф. Логинов. — Л., 1969.
101. Сахацький О. І. Досвід використання водних індексів супутникових зйомок TERRA/MODIS для моніторингу засухи південних районів України на прикладі вегетаційного періоду 2007 р. / О. І. Сахацький // *Доп. НАН України.* — 2008 — № 5. — С. 127–130.
102. Стихийные метеорологические явления на территории Беларуси: Справочник / под ред. М. А. Гольберг. — Минск: Беларус. науч.-исслед. центр экологии, 2002. — 131 с.
103. Стихийные метеорологические явления на Украине и в Молдавии / под ред. В. Н. Бабиченко. — Л.: Гидрометеоздат, 1970. — 187 с.
104. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. — К.: Ніка-Центр, 2006. — 312 с.
105. Ткач Л. О. Комплексна оцінка сучасних кліматичних умов життєдіяльності людини на території України: автореф. ...канд. геогр. наук / ЧНУ ім. Ю. Федьковича. — К., 2007. — 20 с.
106. Шищенко П. Г. Фізична географія України / П. Г. Шищенко, О. М. Маринич. Підручник. — К.: Т-во “Знання”; КОО, 2003. — 479 с.
107. Школьник Е. П. Возможные изменения климата на европейской части России и сопредельных территориях к концу XXI в.: расчет с региональной моделью ГГО / Е. П. Школьник, В. П. Мелешко, В. М. Катцов // *Метеорология и гидрология.* — 2006. — № 3. — С. 5–16.
108. Щербенко Е. В. Мониторинг засухи по данным космических съемок. — Режим доступа до матеріалів: [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/vol12/395-407.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/vol12/395-407.pdf)
109. Climate Change 2007. The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment // Report of the IPCC WMO, UNEP. — 2007. — 142 p.
110. <http://gis-lab.info/qa/dn2temperature.html>