



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

6' 2015



Починаючи з третього номеру нашого журналу, в ньому публікується електронна версія монографії “Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки”, створеної колективом авторів Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Українського гідрометеорологічного центру та Національного університету “Кієво-Могилянська академія” під редакцією академіка НАН України В. І. Лялька (Київ, видавництво “Наукова думка”, 2015 р.).

В цій роботі представлено результати теоретико-методичних обґрунтувань та польових інструментальних вимірів спектро- та газометричних характеристик довкілля, співставлених з матеріалами тематичної інтерпретації багатоспектральних космознімків.

Також викладено результати співставлення визначення балансу парникових газів, зокрема CO_2 , в Україні традиційними та дистанційними методами і запропоновано рекомендації по більш широкому застосуванню космічних технологій для вирішення проблем впливу змін клімату на стан довкілля та соціо-економічні процеси в Україні.

Книга може слугувати довідником для широкого кола фахівців та адміністраторів, що займаються вирішенням подібних проблем не лише в Україні, але й за її межами.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут геологічних наук
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

№ 6 • 2015

Засновник:	Електронний
Національна Академія наук України	науковий фаховий журнал.
Науковий центр аерокосмічних	Заснований у березні 2014 року.
досліджень Землі	Виходить щоквартально.
Інституту геологічних наук	Домашня сторінка: www.ujrs.org.ua
НАН України	E-mail: o.kudriashov@ujrs.org.ua

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



Рекомендовано до видання
Вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України та рішенням Відділення наук про Землю
Національної Академії наук України

Мінімальні системні вимоги: Pentium III 600 Mhz, 128 Mb RAM
Windows-98, Internet Explorer 5.0
Acrobat Reader 5.0

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

В. І. ЛЯЛЬКО	головний редактор доктор геолого-мінералогічних наук, академік НАН України
М. О. ПОПОВ	заступник головного редактора доктор технічних наук
О. Т. АЗІМОВ	доктор геологічних наук
С. О. БАРТАЛЬОВ	доктор технічних наук (Росія, Москва)
В. Г. ВЕРХОВЦЕВ	доктор геологічних наук
Л. Д. ГРЕКОВ	доктор технічних наук
М. Д. ГРОДЗИНСЬКИЙ	доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України
С. М. ЄСИПОВИЧ	доктор геологічних наук
Л. В. КАТКОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)
С. С. КОХАН	доктор технічних наук
Н. М. КУССУЛЬ	доктор технічних наук
СТ. ЛЕВІНСЬКИЙ	доктор технічних наук (Польща, Варшава)
В. В. ЛУКІН	доктор технічних наук
М. М. ПОНОМАРЕНКО	доктор технічних наук
О. І. САХАЦЬКИЙ	доктор геологічних наук
С. А. СТАНКЕВИЧ	доктор технічних наук
А. А. ТРОНІН	доктор геолого-мінералогічних наук (Росія, Санкт-Петербург)
О. Д. ФЕДОРОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України
В. Г. ЯКИМЧУК	доктор технічних наук

Секретар редакції О. В. Седлєрова / тел. + 380 44 484 04 85 / sedlerovaolga@gmail.com

Дизайн, верстка О. І. Кудряшов / тел. + 380 44 482 03 72 / o.kudriashov@ujrs.org.ua

Редактор сайту А. Ю. Порущкевич / a.porushkevych@ujrs.org.ua

Матеріали друкуються в авторській редакції.
Редакція залишає за собою право виправлення статей. Зроблені зміни узгоджуються з автором..
Якість ілюстрацій відповідає якості наданих авторами вихідних матеріалів.

ЗМІСТ

Використання інформації дистанційного дослідження Землі

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ТЕРИТОРІЙ НЕЗАКОННОГО ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ В. Є. Філіпович	4
НЕОТЕКТОНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ПРИ ПОШУКУ СТРУКТУР ПЕРСПЕКТИВНИХ НА НАФТУ ТА ГАЗ НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ З. М. Товстюк, Т. А. Єфіменко	8
АНАЛІЗ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ ЗА 2001–2012 рр. НА ОСНОВІ КЛАСИФІКОВАНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ EOS/MODIS О. В. Краснопір	14
ESTIMATION OF FORESTS PRODUCTIVITY RESPONSE ON LOCAL CLIMATIC VARIATIONS WITHIN TERRITORY OF UKRAINE WITH SATELLITE DATA USING D. M. Movchan	24

Анонс. Розділи монографії

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ (РОЗДІЛ 4, ПІДРОЗДІЛИ 4.1–4.3) В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда, О. А. Апостолов, М. Б. Барабаш	33
ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ (РОЗДІЛ 4, ПІДРОЗДІЛИ 4.4–4.7) В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда, О. А. Апостолов, М. Б. Барабаш	64

Правила та рекомендації для авторів

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ (UA)	85
ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ (RU)	88

УДК (504.064.3:528.8):553.99](477)

Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину

В. Є. Філіпович *

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна

Матеріали космічних зйомок у моніторинговому режимі дозволяють, з великою достовірністю, як на регіональному так і на локальному рівнях, виявити та окреслити місця незаконного видобутку бурштину та визначити масштаби екологічних наслідків.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, незаконний видобуток, бурштин, екологічні наслідки

© В. Є. Філіпович. 2015

Україна посідає друге місце у світі за запасами бурштину (рис.1), при цьому вирізняється найвищим у світі відсотком бурштину ювелірної якості. За рівнем конкурентоспроможності родовищ і перспективних площ бурштин однозначно переважає всі інші види українських самоцвітів [1].

Заплутане правове регулювання користування надрами, складність процедури отримання спеціального дозволу на користування надрами, необхідність отримання цілої низки дозволів, рішень для початку видобування корисних копалин тривалий час відлякувало потенційних інвесторів від вкладення грошей у розробку бурштинових родовищ. Зростання цін на бурштин на світовому ринку дорогоцінного каміння, низький рівень зайнятості на Поліссі та корупція у правоохорон-

них органах, незначна відповідальність за незаконне видобування корисних копалин, відносна дешевизна та простота технології кустарного видобування бурштину через його приповерхнєве залягання спричинили значні масштаби нелегального старательського видобування бурштину на Поліссі. Найбільша активність спостерігається в межах Олевського і Овруцького районів Житомирської області, Рокитнівського, Дубровицького, Володимирецького, Зарічненського і Сарненського районів Рівненської області та Ратнівського і Любешівського районів Волинської області. Тобто, бурштиною лихоманкою охоплена практично уся північно-західна частина України площею понад 14.6 тис. км² [4].

Негативні наслідки від нелегального видобуван-

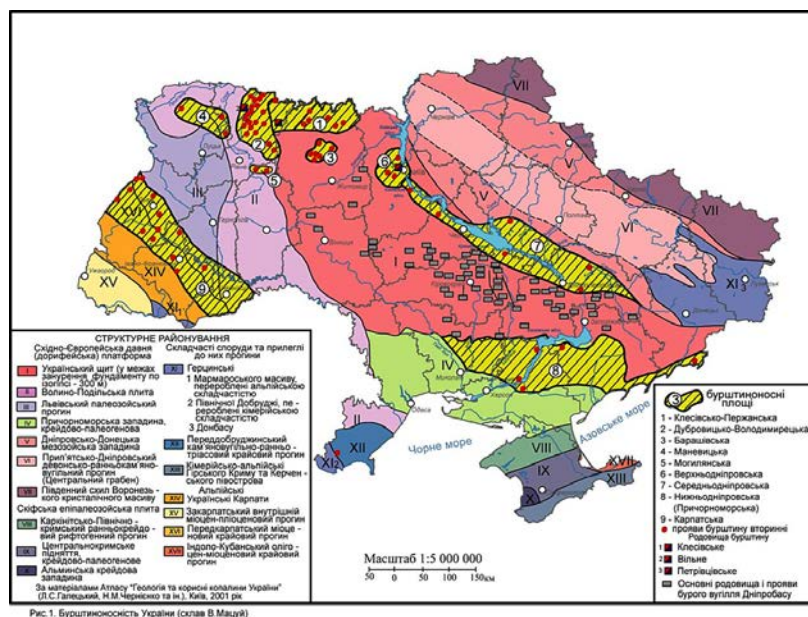


Рис. 1. Бурштиноносність України (за В. М. Мацуєм, 2010)

* filin@casre.kiev.ua

ня бурштину несуть загрозу екологічним і соціально-економічним складовим безпеки північно-західних регіонів України, впливають на розвиток окремих галузей господарства (сільського, лісового, гірничодобувного та ін). Головними проблемами, пов'язаними з незаконним видобутком бурштину, є:

в екологічній сфері — порушення цілісності геологічних пластів, збіднення бурштиноносних товщ, порушення гідрогеологічних умов на прилеглих територіях, знищення трав'яного покриву і родючого шару ґрунту, вирубування дерев і порушення їхньої кореневої системи, зміна болотних біоценозів, провокування активізації водної та вітрової ерозії;

в економічній сфері — збитки у лісовому та водному господарстві, деградація ґрунтів, втрата для держави значних обсягів бурштину-сирцю, що набагато перевищують обсяг законного видобування, недоотримання митних зборів, загальнодержавних та місцевих податків і зборів, зумовлює зростання “тіньового” сектору економіки;

в соціальній сфері — підвищення рівню криміногенної обстановки в регіоні, високий рівень травматизму та смертності серед старателів через недотримання правил безпеки, зростання соціальної напруги через конфлікти між старателями та простими громадянами.

Незаконний видобуток бурштину здійснюється переважно помповим методом, який полягає в розмиванні водою під великим тиском шару ґрунту на 6–10 метрів в глибину [2, 5]. Оскільки бурштин легший за воду він спливає на поверхню та виловлюється сітками. Коли вимивають до глини, яка залягає під покладами бурштину, розробку залишають. При видобутку таким способом повністю знищується родючий шар ґрунту, оскільки під час “розмивання” ґрунту тонкий гумусовий шар перемішується з основною масою піщаних і супіщаних ґрунтів. Відновлення родючого шару займає десятки років. Під час видобутку помповим методом повністю руйнується коренева система дерев, що призводить до винищення сотень гектарів лісу.

Таким чином, на місцях видобутку повністю порушується ґрунтовий профіль, разом із материнською породою. Земельна ділянка засмічується нетоксичними відходами виробництва, такими як, намитий з нижче лежачих горизонтів пісок. Під час видобутку, повітря забруднюється продуктами горіння паливно-мастильних матеріалів. Внаслідок самовільного і не раціонального використання поверхневих і підземних вод порушується гідрологічний режим території, знижується рівень ґрунтових вод, активізуються ерозійні та еолові процеси. Варварські методи добування бурштину призводять до порушення геологічної будови території, завдяки чому, стає надалі неможливе використання родовищ, або істотно обмежується їх подальша експлуатація [2]. Через це, окрім жакливого впливу на

екологічну ситуацію на Українському Поліссі, держава ще зазнає значних фінансових втрат. По оцінкам начальника Житомирського обласного управління лісового та мисливського господарства Андрія Курінського тільки на Житомирщині незаконним видобуванням бурштину пошкоджено майже 200 га земель лісгосподарського призначення, розмір шкоди, заподіяної лісу, становить фактично мільйон гривень, а для відновлення екосистеми на пошкоджених нелегальним видобутком бурштину лісових землях потрібно близько 400 тисяч гривень на кожен гектар [3].

Для оцінки масштабів нелегального видобутку бурштину, визначення площ, що потребують заходів рекультивациі і відтворення екологічного стану необхідно провести детальну інвентаризацію пошкоджених територій. Незаконний видобуток бурштину здійснюється, переважно, у закритій та напівзакритій місцевості. Це чагарники, ліси та лісосмуги віддалені від населених пунктів та проїзних частин. При цьому доступ до ділянок видобутку блокується озброєною приватною охороною. Через таку локалізацію бурштинних розробок, їх дуже важко вчасно і точно визначити на місцевості наземними методами. Для вирішення цієї проблеми пропонується застосування матеріалів космічних зйомок у моніторинговому режимі, що дозволяє, з великою достовірністю, визначити і локалізувати місця незаконного видобутку та реально оцінити масштаби екологічного лиха.

Застосування супутникового моніторингу пропонується на двох рівнях: регіональному та локальному (детальному). Для першого рівня (область, район) застосовуються дані супутників серії LANDSAT з просторовою розрізненістю до 15 м на місцевості (рис. 2). Первинні дані цих супутників можна отримувати безкоштовно безпосередньо із сайту Геологічної служби США (USGS). Вартість обробки одного зображення розміром $\sim 180 \times 180$ км спеціалістами ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” складає приблизно \$180–210, тобто \$1–1.2 за км². Українське Полісся покривається двома повними знімками. Періодичність зйомки 1 раз на 16 днів. Таким чином, ціна обробки космічних даних не іде в ніяке порівняння з втратами, які зазнає держава від нелегального видобутку бурштину.

На локальному рівні (сільська громада, лісгосподарства та ін) використовуються космічні дані з комерційних супутників серії WorldView (США), або Pleiades (Франція, Європейський Союз) з розрізненням на місцевості від 0.5 до 2 м. Ці супутники передають на Землю дані 1 раз на добу і можуть використовуватися для детального аналізу екологічного стану порушених територій. Нажаль, дана інформація представляється не безкоштовно. Вартість архівних даних (більше 1 місяця) в Україні складає від \$20 до \$40 за км² при мінімальному замовленні

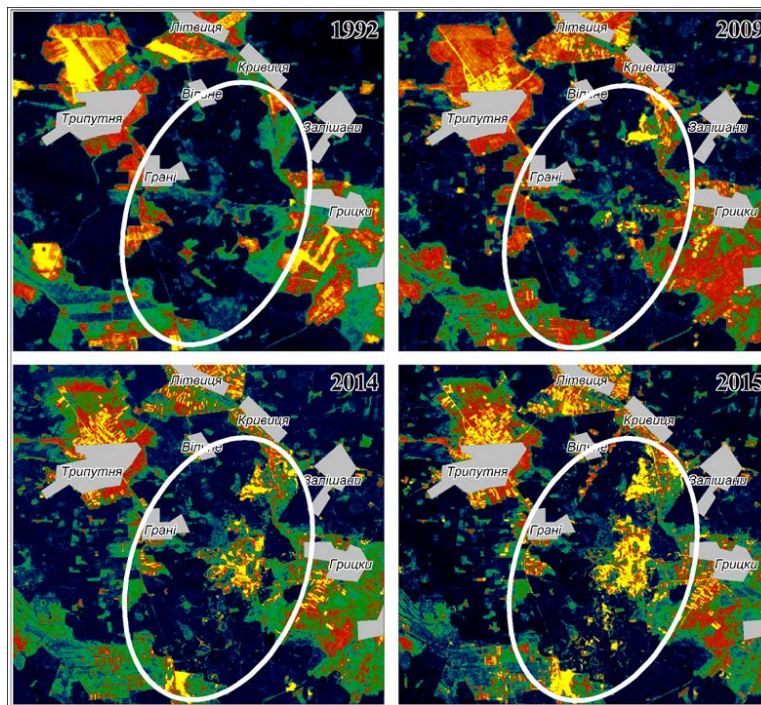


Рис. 2. Моніторинг територій нелегального видобутку бурштину на регіональному рівні. Рівненська область. Білим кольором окреслена ділянка приросту площ незаконного видобутку на протязі 1992–2015 рр.

100 км² (WorldView-3), та від €12 до €20 за км², при мінімальному замовленні 25 км² (Pleiades) [6].

Приклад виявлення ділянок нелегального видобутку бурштину на закритих територіях на локальному рівні наведено на рис. 3 та 4.

Таким чином основні можливості застосування космічних даних при моніторингу територій незаконного видобутку бурштину полягають у наступному:

На регіональному рівні:

Виявлення ділянок видобутку та періодичний контроль за станом навколишнього середовища.

На локальному рівні:

- деталізація порушених площ, оцінка екологічних та економічних збитків;

- контроль за станом ґрунтово-рослинного покриву;
- контроль за станом поверхневих вод;
- дотримання умов гірничого відводу і рекультивації порушених земель;
- дотримання екологічного законодавства, особливо на територіях природоохоронних зон, як національного, так і місцевого рівня.

Для вирішення цих завдань необхідно в першу чергу, створювати на основі космічних даних високого розрізнення базові ГІС-моделі ділянок видобутку бурштину, а на державному рівні передбачити моніторингові дослідження порушених територій з обов'язковим залученням даних ДЗЗ.

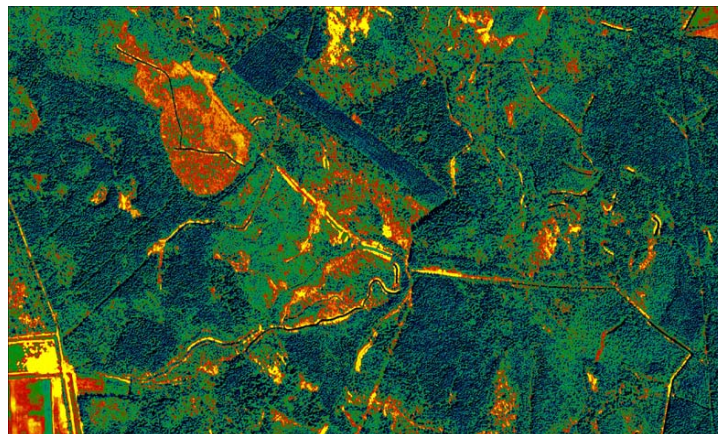


Рис. 3. Виявлення місць незаконного видобутку бурштину на локальному рівні в районі населених пунктів Володимирець — Дубівка (Рівненська область, Володимирецький район). Масштаб оригіналу 1:10 000

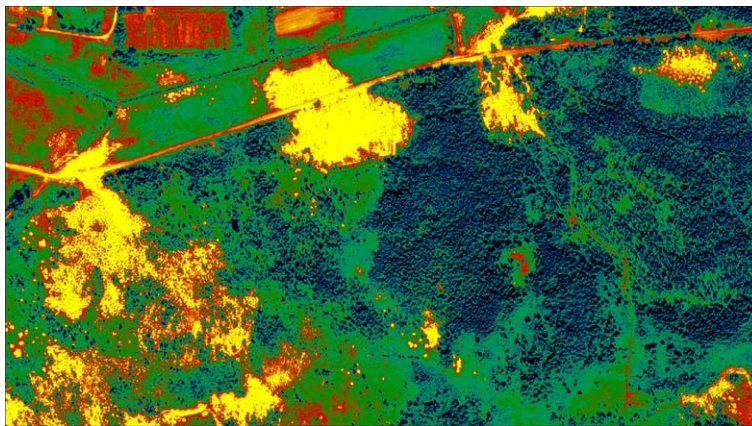


Рис. 4. Виявлення місць незаконного видобутку бурштину на локальному рівні в районі селищ Жовкинці — Дубівка (Рівненська область, Володимирецький район). Масштаб оригіналу 1:5 000

Література

1. Лебідь М. Про можливу участь буровугільного бітуму у формуванні корінних першоджерел розсіпів бурштину. М. Лебідь, В. М. Мацуй // Інститут Тутковського, статті, 2010 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://training.tutkovsky.com/stati/print:page,1,42-promozhlivu-uchast-burovugilnogo-bitumu-u-formuvannikorinnix-pershodzherel-rozsipiv-burshtinu.html>.
2. Надточій П. П. Екологічні наслідки незаконного видобування бурштину в Житомирській області / П. П. Надточій, Т. М. Мислива // Інформаційні матеріали до засідання круглого столу “Рекультивация територій, порушених в наслідок видобування бурштину” 4 вересня 2015 року м. Рівне. Всеукраїнська екологічна ліга, м. Рівне — 2015, С. 6–10.
3. Незаконний видобуток бурштину на Житомирщині пошкодив 200 га земель. Газета “День” 11 липня, 2015, [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.day.kiev.ua/uk/news/110715-nezakonnuyvydobutok-burshtynu-na-zhytomyrshchyni-poshkodyv-200-ga-zeme> (06.09.15) — Заг. з екрану.
4. Слободян О. Дещо про незаконний видобуток бурштину / О. Слободян // [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://ua.112.ua/mnenie/deshcho-pro-nezakonnuyvydobutok-burshtynu-250536.html> (06.09.15) — Заг. з екрану.
5. Тимочко Т. В. Екологічні наслідки видобування бурштину та шляхи їхнього подолання / Т. В. Тимочко // Інформаційні матеріали до засідання круглого столу “Рекультивация територій, порушених в наслідок видобування бурштину” 4 вересня 2015 року м. Рівне. Всеукраїнська екологічна ліга, м. Рівне — 2015, С. 4–5.
6. TVIS супермаркет супутникових знімків. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.tvvis.com.ua/> (06.09.15) — Заг. з екрану.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИЙ НЕЗАКОННОЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ

В. Е. Филиппович

Материалы космической съемки в мониторинговом режиме позволяют на региональном и локальном уровне обнаружить и картографировать ареалы несанкционированной добычи янтаря и определить масштабы экологических последствий.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, незаконная добыча, янтарь, экологические последствия

SATELLITE MONITORING FOR THE AREAS OF ILLEGAL EXTRACTION OF AMBER

V. E. Filipovich

Satellite imagery in the monitoring mode allows indicating and mapping of the illegal extraction of amber, as well as detecting the scales of negative impacts on the environment at the local and regional levels.

Keywords: satellite monitoring, amber, illegal extraction, impacts on the environment.

УДК 528.8.04:(551.248.2:553.98.041(477))

Неотектонічні дослідження за матеріалами дистанційного зондування Землі при пошуку структур перспективних на нафту та газ на прикладі Дніпровсько-Донецької западини

З. М. Товстюк, Т. А. Єфіменко*

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», м. Київ, Україна

Представлено результати неотектонічних досліджень території Дніпровсько-Донецької западини на базі вивчення даних дистанційного зондування Землі. Виявлені закономірності розташування родовищ нафти та газу в зв'язку з відносною неотектонічною активністю регіону. Сформовано основні методи досліджень.

Ключові слова: неотектонічні дослідження, дані дистанційного зондування Землі, структурне дешифрування, вертикальне розчленування, морфотектоізогіпси

© З. М. Товстюк, Т. А. Єфіменко. 2015

Вступ

Новітній (неоген-четвертинний) етап розвитку земної кори відіграв важливу роль у розміщенні родовищ нафти та газу і міграції вуглеводнів. Під час неоген-четвертинного етапу оновлювались древні розломи та закладалися нові розривні порушення, відбувалася активізація блокових рухів фундаменту. В осадовому чохлі проходить зростання та перебудова локальних структурних форм. Неотектонічна активність глибинних структур Дніпровсько-Донецької западини сприяла формуванню рельєфу та особливостей його будови і знайшла своє відображення на матеріалах дистанційних зйомок [8].

Неотектонічні дослідження для вирішення нафтогазоперспективних задач в Дніпровсько-Донецькій западині розвивалися, починаючи з 60-х років минулого століття. Це були дрібномасштабні карти В. Г. Бондарчука, П. К. Заморія, І. Л. Соколовського, М. Г. Волкова, В. А. Мелехова. В 1988р була видана «Карта неотектоники юго-запада СССР» (В. П. Палієнко). Для Дніпровсько-Донецької западини побудовані неотектонічні карти м-ба 1:500 000, де за класифікацією В. П. Палієнко, значна площа ДДЗ характеризується амплітудами неотектонічних рухів в 150–200 м.

При вирішенні завдань пошуку нафтогазоносних структур на різних стадіях проведення робіт (від регіональних до детальних) для різноманітні територій застосовуються різні прийоми структурно-геоморфологічного аналізу. Для Дніпровсько-Донецької западини найбільш прийнятні виявилися наступні:

- Гіпсометричний аналіз рельєфу (візуальне вивчення гіпсометрії, побудова карт морфотектоізогіпс);

- Аналіз розчленування рельєфу (ступінь горизонтального та вертикального розчленування рельєфу);

- Морфографічні прийоми.

У першому випадку аналіз проводиться з метою як гіпсометричного районування території, так і оцінки характеру зв'язку рельєфу з тектонікою.

У другому — структурна інтерпретація зводилася до наступного: зони підвищення ступеню розчленування рельєфу ототожнюються з ділянками новітніх тектонічних піднятих, а зниження — до ділянок можливих новітніх опускань.

У третьому випадку — за аерокосмічними матеріалами досліджується плановий малюнок земної поверхні. Морфографічні елементи, що ідентифікують структури, за формою в плані підрозділяються на спрямлені, дугоподібні та площинні.

Методика досліджень

При проведенні регіональних робіт основною метою структурно-геоморфологічних досліджень (СГД) було вивчення або уточнення тектонічної будови нафтогазоперспективних регіонів і крупних локальних структур. При цих дослідженнях використовувалася апіорна структурна та геоморфологічна інформація в програмному продукті ArcGIS. В даному випадку вивчалася Дніпровсько-Донецька западина — та як результат, маємо схему відносної неотектонічної активності блоків рельєфу. При її побудові авторами були використані матеріали багатозональної космічної зйомки, а саме космічні знімки Landsat-7 ETM+ та Landsat-8 OLI, Cіч-2, радарна топографічна зйомка SRTM (рис. 1) та схема ізогіпс за даними SRTM (рис. 2) [8].

На першому етапі створювалися схеми структурного дешифрування за матеріалами вищезгаданих

*tat17tat@yandex.ru

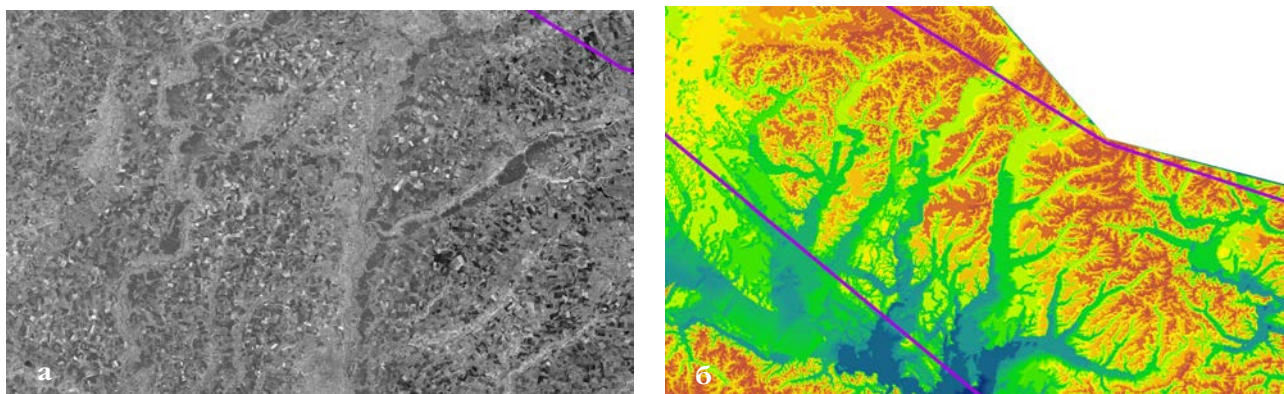


Рис. 1. ДДЗ. а — космічний знімок Landsat–7 ETM+ (2002 р.); б — радарна топографічна зйомка — SRTM

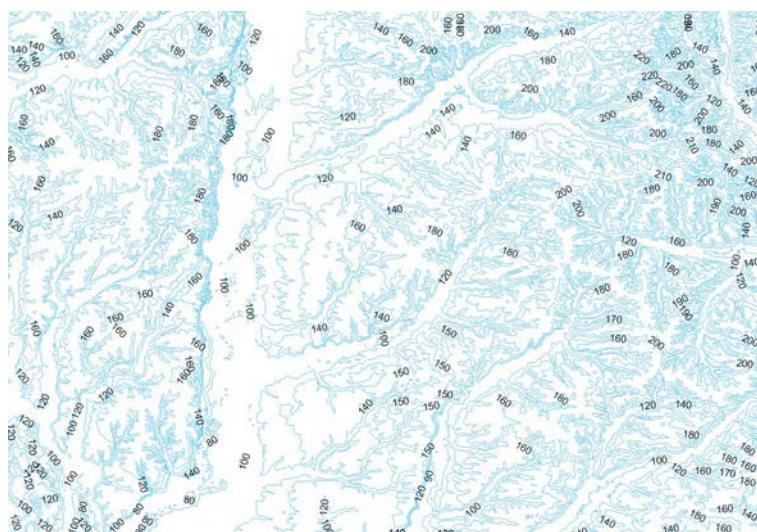


Рис. 2. ДДЗ. Схема ізогіпс (за даними радарної топографічної зйомки — SRTM)

космічних знімків, на яких були виділені лінеamenti та їх зони (рис. 3) [2].

Так, в рельєфі більш чітко фіксуються розривні порушення північно-західного простягання, які успадковуються виразно сформованими ерозійними формами (древні протяжні балки та долини річок з притоками), значна частина яких орієнтована паралельно крайовим розломам ДДЗ і відсікає по вздовжні блоки в межах північної та південної при- бортових зон та північного борту. З цими порушеннями пов'язані північно-західні відгалуження кепроків соляних штоків, а з вузлами їх перетину з поперечними порушеннями виходи на денну поверхню вуглеводнів [3]. Північно-східні розривні порушення фіксуються менш чітко молодими, часто короткими за простяганням, ерозійними формами рельєфу та сучасними ерозійними процесами. Очевидно, це обумовлено більш пізньою активізацією неотектонічних рухів по древнім розломах. В південно-східній частині ДДЗ по цих напрямках простежується розворот соляних штоків. Субмеридіональні та субширотні розломи

більш чітко, але все ж фрагментарно, відображаються в рельєфі північно-західної частини ДДЗ, де вони успадковуються долинами великих річок, які закладалися, очевидно, по оновлених древніх розломних структурах, які, можливо, простягаються з УКЩ через ДДЗ на Воронезьку антеклізу.

На наступному етапі побудовано схему вертикального розчленування рельєфу (рис. 4). Для цих робіт було використано РЛ-зйомку (SRTM), що значно спростило процес побудови та інтерпретації отриманих матеріалів. Аналіз цієї схеми дозволив встановити зв'язок між ступеню вертикального розчленування рельєфу та тектонічними рухами.

За даними радарної топографічної зйомки SRTM проведено гіпсометричний аналіз рельєфу, а саме: - побудовано карту морфотектоізогіпс (рис. 5). Сам метод передбачає реконструкцію рельєфу (відновлення його первинного вигляду). При такому підході різноамплітудна блокова будова сучасного рельєфу визначається досить чітко, виділяються найбільш підвищені блоки, що дозволяє робити вис-

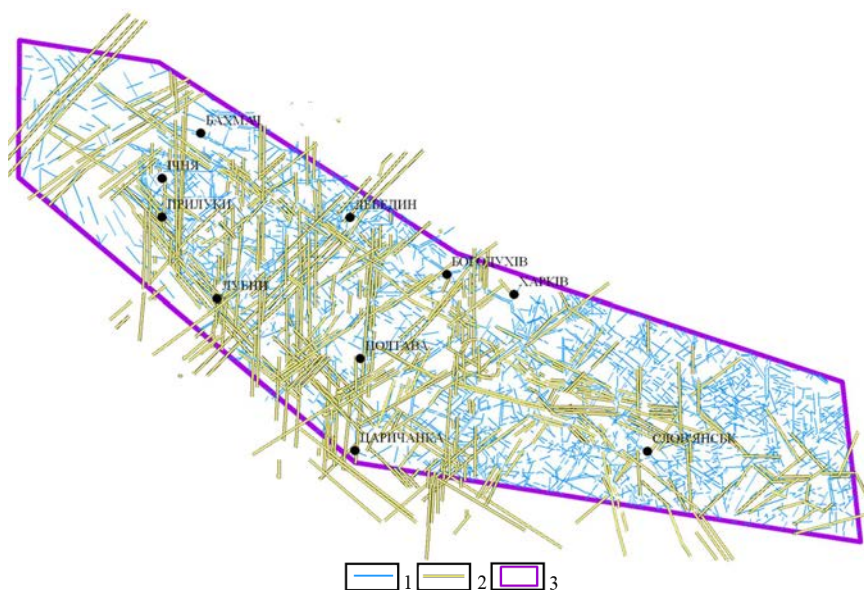


Рис. 3. ДДЗ. Схема структурного дешифрування за матеріалами космічних зйомок
1 — лінементи; 2 — зони лінементів; 3 — район досліджень

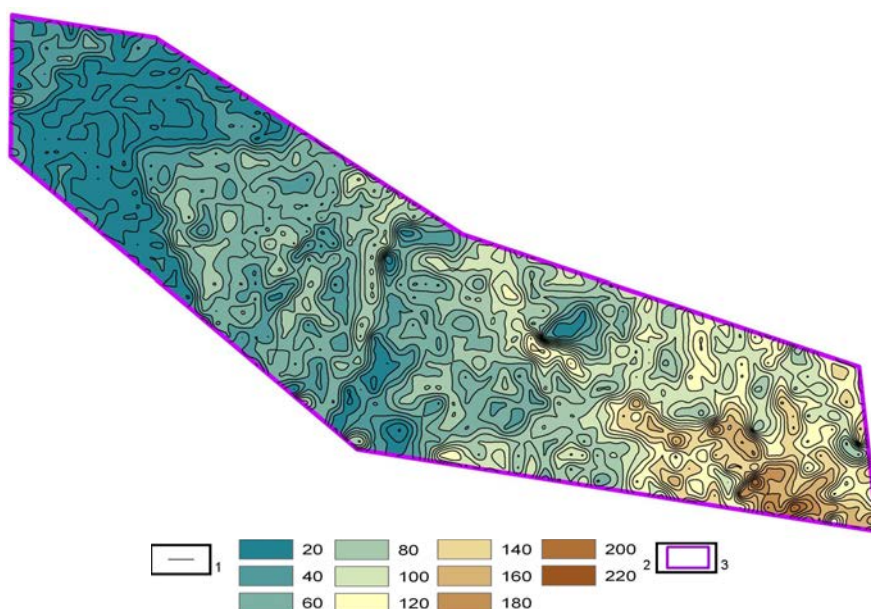


Рис. 4. ДДЗ. Схема вертикального розчленування рельєфу (за даними радарної топографічної зйомки SRTM)
1 — ізолінії вертикального розчленування рельєфу в.м.; 2 — ступінь вертикального розчленування в.м.; 3 — район досліджень

новки про додатні деформації земної поверхні. Неотектонічна активність глибинних структур ДДЗ сприяла формуванню ландшафту западини та обумовила відображення цих структур в особливостях його будови та формуванні його зображення на матеріалах дистанційних зйомок. Так, бортам відповідають підвищені ділянки рельєфу, осовій частині ДДЗ відповідають понижені ділянки [6, 7, 9]. На схемі морфотектоізогіпс простежується блокова будова реконструйованого рельєфу з відносними амплітудами блоків. Такі блоки можуть бути пошуковими об'єктами, перспективними на пастки ВВ.

Результатом комплексних досліджень стала схе-

ма відносної неотектонічної активності Дніпровсько-Донецької западини (рис. 6).

Результати досліджень

Проаналізувавши схему відносної неотектонічної активності автори встановили комплекс ознак за якими визначаються неотектонічно-активні блоки:

- плановий малюнок ерозійної сітки;
- інтенсивність глибинної ерозії;
- деформація геоморфологічних рівнів різного генезису.

При співставленні цієї схеми зі схемою тектоні-

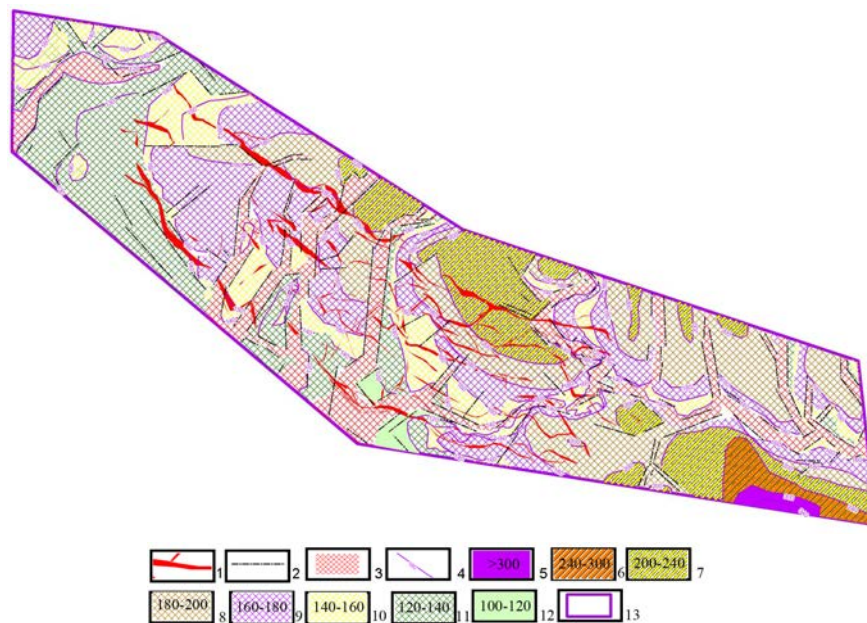


Рис. 5. ДДЗ. Схема морфотектоізогіпс (за даними радарної топографічної зйомки — SRTM).

1 — розломи по фундаменту; 2 — лінементи та їх зони; 3 — зони розуцільнення, 4 — морфотектоізогіпси; 5–12 — шкала висот в м. 13 — площа досліджень

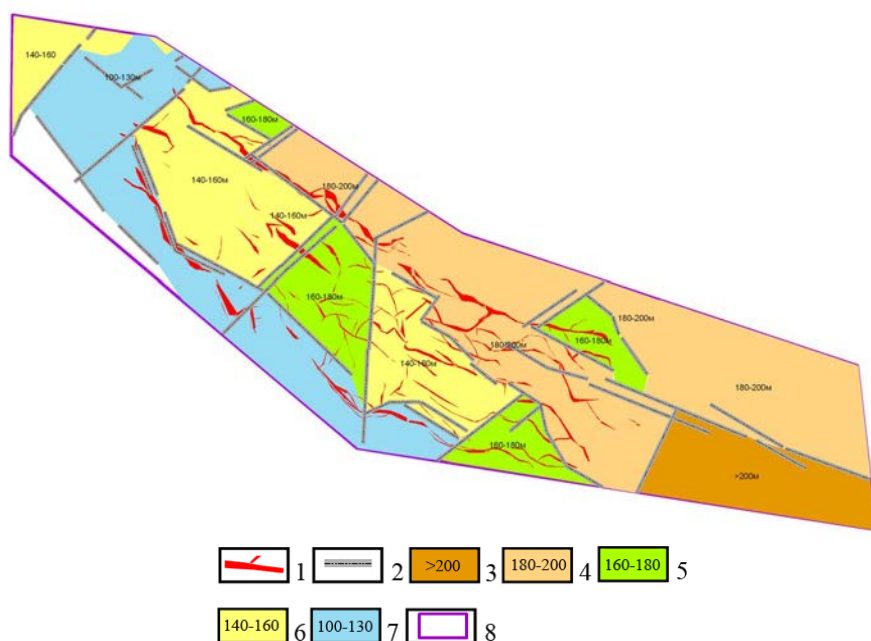


Рис. 6. ДДЗ. Схема відносної неотектонічної активності.

1 — розломи по фундаменту; 2 — границі блоків; 3–7 — шкала відносної неотектонічної активності в м.; 8 — площа досліджень

ки ДДЗ можна констатувати, що межі зсувних зон на тектонічній схемі практично співпадають з межами неотектонічних блоків. Це свідчить про можливу наявність в цих зонах осередків підвищеної тріщинуватості порід фундаменту та осадової товщі, які можуть бути шляхами міграції вуглеводнів.

Проведені дослідження на території ДДЗ дали можливість виділити райони, які характеризуються різною інтенсивністю неотектонічних рухів.

Максимальні амплітуди відносних неотектоніч-

них рухів — 200м і більше характерні для північного борту і східної частини ДДЗ (на схід від р. Ворскла). В східній частині спостерігається різке зростання неотектонічної активності, збільшення кількості високоактивних блоків при зменшенні їх площі. Нафтогазоносні структури в цій частині ДДЗ характеризуються високими амплітудами. Високі значення неотектонічних амплітуд характерні і для значної частини соляних штоків, (Ісачківський, Ромаданівський, Роменський, Дмитрівський,

Карайкозівський та інші), які в сучасному рельєфі проявляються у вигляді додатних деформацій рельєфу та від'ємних деформацій над палеогеновими компенсаційними прогинами, що сформувалися над штоками (Синівський, Пісочанський та інші.), які в палеогеновому віці призупинили свій ріст, або мали від'ємний напрямок руху. Всі вони розташовані над западинами фундаменту в області розвитку пластичної соляної товщі верхнього девону. Про їх неотектонічну активізацію свідчать рівні їх прориву осадової товщі — від палеогену до голоцену.

До областей максимальної неотектонічної активності в межах північного борту та північної прибортової зони приурочені відомі родовища — Туртинське, Хухринсько–Чернетчинське, Юліївське, Скворцівське. Радянське — має нафтопроявлення, де колекторами є породи зони дроблення кристалічного фундаменту, що відкриває нафтогазові перспективи для північного борту та північної прибортової частини ДДЗ.

В межах південного борту ДДЗ амплітуди відносних неотектонічних рухів значно менші і, в цілому, не перевищують 130 м. Тим не менш, в межах південної прибортової частини ДДЗ та південного борту на схід від р. Ворскла спостерігається ряд родовищ вуглеводнів — Лівенське, Голубівське, Богатойське. Очевидно, це пов'язано з наявністю значної зони тріщинуватості порід фундаменту та осадової товщі, яка може бути шляхами транспортування вуглеводнів.

Середні значення відносних неотектонічних амплітуд — 160–200 м — характерні, в основному, для прибортових виступів кристалічного фундаменту — Макіївського, Лубенсько–Ісачківського, Плісківсько–Лисогорського, Талалаївського, Новотроїцького, Радянсько–Козіївського та ін. Тут відзначається згущення лінеamentів, що утворюють протяжні північно-західні зони, які перетинаються із значно менш потужними північно-східними. До цих зон приурочена значна кількість родовищ нафти, газоконденсату та газу.

Висока неотектонічна активність блоків фундаменту сприяла підвищенню флюїдопровідності порід фундаменту та осадової товщі і формуванню в локальних пастках покладів ВВ. В межах неотектонічних блоків, розташованих над тектонічними деформаціями фундаменту, розташовані численні родовища вуглеводнів — Глинсько–Розбишівське, Солохівське, Опошнянське, Котелевське та ін.

Низькі значення відносних неотектонічних амплітуд — 100–130 м спостерігаються на схилах прогинів та пологих моноклиналях фундаменту.

Таким чином, в межах дослідженої частини ДДЗ відмічається наступна закономірність:

- основна маса родовищ вуглеводнів приурочена до ділянок з помірною (150–200 м) неотектонічною активністю;

- в межах північно-західної частини ДДЗ (160–180 м) розташовані нафтові родовища;
- в південно-східній — газоконденсатні та газові (180–200 м).

Знаходження родовищ ВВ на північному борту, який характеризується високими амплітудами відносних неотектонічних рухів, значно підвищує його нафтогазові перспективи завдяки сприятливим умовам для утворення ємнісних тріщинних та тріщинно-порових колекторів в породах кристалічного фундаменту [1, 3, 4, 5].

В подальшому, слід приділити увагу зонам підвищеної тріщинуватості в межах південної прибортової зони та південного борту ДДЗ, з метою виявлення можливої наявності тріщинних та тріщинно-порових колекторів.

Література

1. Гладун В. В. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Дніпровсько-Донецький авлакоген / В. В. Гладун. — Київ:Наук. думка, 2001. — 323 с.
2. Гридин В. И. Методика, технология и результаты структурного дешифрирования материалов аэрофотосъемки при изучении неотектонического и глубинного строения / В. И. Гридин // Применение аэрогеологического и морфометрического методов для изучения неотектоники и глубинного строения русской платформы. — Воронеж, 1973. — С. 11–14.
3. Довжок Є. М. Нафтогазовий потенціал Північного борту Дніпровсько-Донецької западини / Є. М. Довжок [та ін.]. — Київ:ВАТ Укр. нафтогазового інст., 1996. — 241 с.
4. Євдошук М. І. Теоретичні основи нетрадиційних геологічних методів пошуку вуглеводнів / М. І. Євдошук [та ін.]. — Київ, 2001. — 283 с.
5. Есипович С. М. Геолого-геофизические и структурно-морфологические характеристики шовных рифтогенных зон / С. М. Есипович // Научный вестник НГУ, №10, 2003, — Днепропетровск: — С. 38–40.
6. Воловик В. Т. Естественные выходы нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине (бассейн р. Ворскла) и их использование при структурном дешифрировании и оценке нефтегазоносности. / В. Т. Воловик [и др.]. // Докл. АН УССР. Серия Б. — 1979. — №4. — 250 с.
7. Палиенко В. П. Структурно-геоморфологические аспекты изучения молодых движений земной коры по разломам на территории Украины / В. П. Палиенко // Геол. журн. — 1933. — №6. — С. 64–69.
8. Товстюк З. М. Використання матеріалів космічних зйомок для вивчення неотектонічної будови дніпровсько-донецької западини при нафтогазоперспективних дослідженнях / З. М. Товстюк, О. В. Титаренко, Т. А. Єфіменко // Тези доповідей 14-ої Української конференції з космічних досліджень. — Ужгород: Інститут електронної фізики НАН України, 2014. — С. 188.
9. Чекунов А. В. Глубинное строение и геодинамика нефтегазоносных бассейнов Украины / А. В. Чекунов // Геол. журн. — 1993. — №6. — С. 3–15.

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ПОИСКЕ СТРУКТУР ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА НЕФТЬ И ГАЗ НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКО–ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

З. М. Товстюк, Т. А. Ефименко

Представлены результаты неотектонических исследований территории Днепро-Донецкой впадины на основе изучения данных дистанционного зондирования Земли. Выявлены закономерности размещения месторождений нефти и газа в связи с относительной неотектонической активностью региона. Определены основные методы исследований.

Ключевые слова: неотектонические исследования, данные дистанционного зондирования Земли, структурное дешифрирование, вертикальная расчлененность, морфотектоизогипсы

NEOTECTONIC RESEARCH ON MATERIALS THE EARTH REMOTE SENSING IN SEARCH OF PROMISING OF STRUCTURES FOR OIL AND GAS ON THE EXAMPLE OF THE DNIEPER-DONETS DEPRESSION

Z. M. Tovstyuk, T. A. Yefimenko

The results of neotectonic of studies the territory of the Dnieper-Donets depression based on the study Earth remote sensing data. The regularities of location of oil and gas due to the relative of neotectonic activity in the region. Determined the main methods of research.

Keywords: neotectonici research, remote sensing, structural interpretation of vertical ruggedness of, morfotektoizogipsy

УДК 528.854:551.4(477.4)

Аналіз ландшафтного різноманіття Українського Полісся за 2001–2012 рр. на основі класифікованих космічних знімків EOS/MODIS

О. В. Краснопір *

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна

Виконано розрахунки ландшафтних метрик на територію Українського Полісся для 2001 та 2012 років в програмі FRAGSTATS. Обґрунтовано оптимальний розмір ковзаючого вікна (moving window) для побудови зображень просторового розподілу метричних значень. Визначено набір метрик класового рівню, які найбільш широко характеризують особливості ландшафтного різноманіття регіону. За отриманими даними проведено аналіз ландшафтного різноманіття Українського Полісся станом на 2001 та 2012 роки, дана оцінка його просторово-часових змін за даний період, а також виявлені певні особливості та тенденції цих змін.

Ключові слова: ландшафтне різноманіття, космічні знімки, класифікація, ландшафтні метрики, FRAGSTATS, Українське Полісся

© О. В. Краснопір. 2015

Одним із основних видів природоохоронної діяльності в Україні останні десятиліття є збереження ландшафтного різноманіття (ЛР) та зупинення його процесів, що призводять до його зменшення. Пріоритетні напрямки стосовно цих заходів були визначені Всеєвропейською стратегією збереження біологічного та ландшафтного різноманіття [2].

Просторова конфігурація та склад елементів ландшафту відіграють важливу роль в екологічній функціональності та біологічному різноманітті будь-якого природного середовища. Багато уваги було приділено розробці методів кількісної оцінки структури ландшафту, зокрема на основі ландшафтних показників (метрик), які знайшли широке застосування в дослідженнях просторових змін структурної неоднорідності таких складних природно-територіальних комплексів, як ландшафт.

Практично всі кількісні показники, які застосовуються при аналізі неоднорідності ландшафтів, були взяті з біогеографічної науки, де вони використовуються для оцінки біологічного різноманіття. Останнє тісно пов'язане з ландшафтними особливостями місцевості, які відображають характерні риси рослинних та тваринних угруповань [1].

Стрімкий розвиток у сфері дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) надав широкі можливості використання космічних знімків та класифікованих зображень для оцінки різноманіття природно-антропогенних ландшафтів [3–5, 8, 10, 11]. На відміну від аерофотозйомки, ДЗЗ, зважаючи на різноманіття сучасних сенсорних систем, забезпечує даними, які є придатними для використання не лише на локальному, а й на регіональному та глобальному

рівнях [6]. Характеристики ландшафтів, які досліджуються за космічними знімками, отримують не тільки якісну, а й кількісну оцінку. З такою метою можуть бути використані математично-статистичні підходи реалізовані в програмних середовищах на кшталт FRAGSTATS. Крім того, дані довготривалих зйомок роблять можливим виконання оцінки просторово-часових змін ЛР за досить тривалий час.

Територія дослідження

В даній роботі територією дослідження є Українське Полісся, яке простягається з північного заходу на північний схід через всю територію країни, і займає південну частину великої природної зони мішаних лісів Східно-Європейської рівнини. За територіальним розподілом, цей ландшафтний регіон охоплює більшу частину Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської, Чернігівської й Сумської областей. Полісся розташоване в межах басейнів Дніпра, Прип'яті, верхів'я та середньої течії Західного Бугу. Характерною ознакою цього регіону є переважання низовинної, заболоченої і залісненої території.

Як і для будь-якої місцевості літогенною основою ландшафтів Українського Полісся є геологічна будова і рельєф, які визначають характер похідних компонентів природного територіального комплексу — рослинність, тваринний світ, ґрунти. Територія Українського Полісся характеризується мішано-лісовими хвойно-широколистяними ландшафтами, переважна частина яких представлена терасовими, перезволоженими та заболоченими територіями. Крім того для даного регіону характерними є заплави лучно-болотного ландшафту.

* krasnopir_ov@meta.ua

Матеріали та методика дослідження

Вихідними матеріалами є дані продукту MOD12 Land_Cover за 2001 та 2012 роки. Даному продукту відповідають класифіковані знімки земного покриття за різними варіантами класифікацій з просторовою розрізненністю в 500 м. В дослідженні були використані зображення класифікації IGBP, яка в загальному випадку відображає земну поверхню по 17 класам (рис. 1).

Попередня та постобробка знімків (рис. 2) були виконані в програмному середовищі ArcGIS 10.2. Розрахунок ландшафтних метрик зроблений у відкритій програмі “FRAGSTATS” [9], на двох рівнях:

- класовий рівень. Розраховано 13 метрик для 16 класів (площа класу, кількість фрагментів, індекси форми, об'єднаності, суміжності та ін.);
- ландшафтний рівень. Розраховано 6 метрик для всієї мозаїки класифікації (індекси різноманіття та однорідності Шеннона і Сімпсона, індекс щільності ландшафтного різноманіття, кількість класів на одиницю площі).

Відібраний шар Land_Cover_Type 1_(IGBP) з наборів даних MOD12 2001 та 2012 років для зручності

був конвертований в TIFF-формат. Після виділення території інтересу, знімки зберігались в форматі ASCII для подальшої обробки. На основі двох файлів .asc, засобами програми FRAGSTATS розраховано 72 зображення метрик ландшафтного рівня, та 416 значень метрик класового рівня в табличному вигляді.

В результаті виконаної роботи були отримані тематичні карти по 6 ландшафтних метриках за 2001 та 2012 роки з використанням різних діаметрів кіл ковзаючого вікна.

Вибір діаметра ковзаючого кола (або ширина вікна) ґрунтується на охопленні максимального діапазону даних. Таким чином при аналізі зображень, які були отримані при застосуванні кола діаметром 1 500 м відсутня можливість визначення основних тенденцій просторового розподілу значень (рис. 3.а). Якщо збільшити діаметр до 10 000 м спостерігається зменшення просторової розрізненості інформації на зображенні (рис. 3.б). Методом порівняння діапазонів значень для шести метрик, які були розраховані на основі використання ковзаючих кіл діаметрами 1 500, 3 000, 4 500, 6 000, 10 000 м було виявлено, що найбільш широкі діапазони мають метрики отримані з діаметром ковзаючого кола в 4 500 м. Про

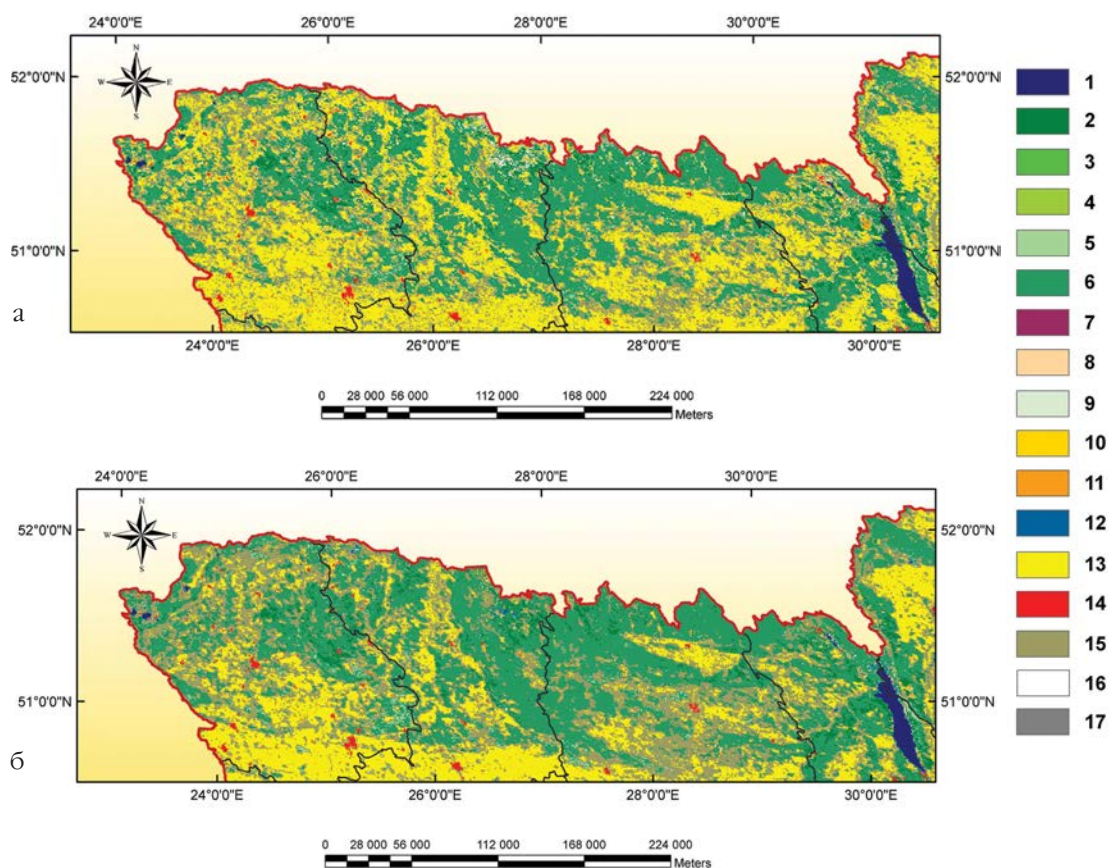


Рис. 1. Вихідні класифікації земного покриття на територію Українського Полісся продукту MOD12 (а — 2001 р., б — 2012 р.). Класи IGBP: 1 — вода; 2 — вічнозелені хвойні ліси; 3 — вічнозелені широколистяні ліси; 4 — листопадні хвойні ліси; 5 — листопадні широколистяні ліси; 6 — мішані ліси; 7 — непрохідні чагарники; 8 — прохідні чагарники; 9 — рідколісся з лісовим покривом в 30–60%; 10 — рідколісся з лісовим покривом 10–30%; 11 — трав'яний покрив; 12 — постійні водно-болотні угіддя; 13 — с/г угіддя; 14 — урбанізовані території та забудова; 15 — природна рослинна мозаїка з орними землями; 16 — сніг та лід; 17 — відкриті ділянки з рідким рослинним покривом

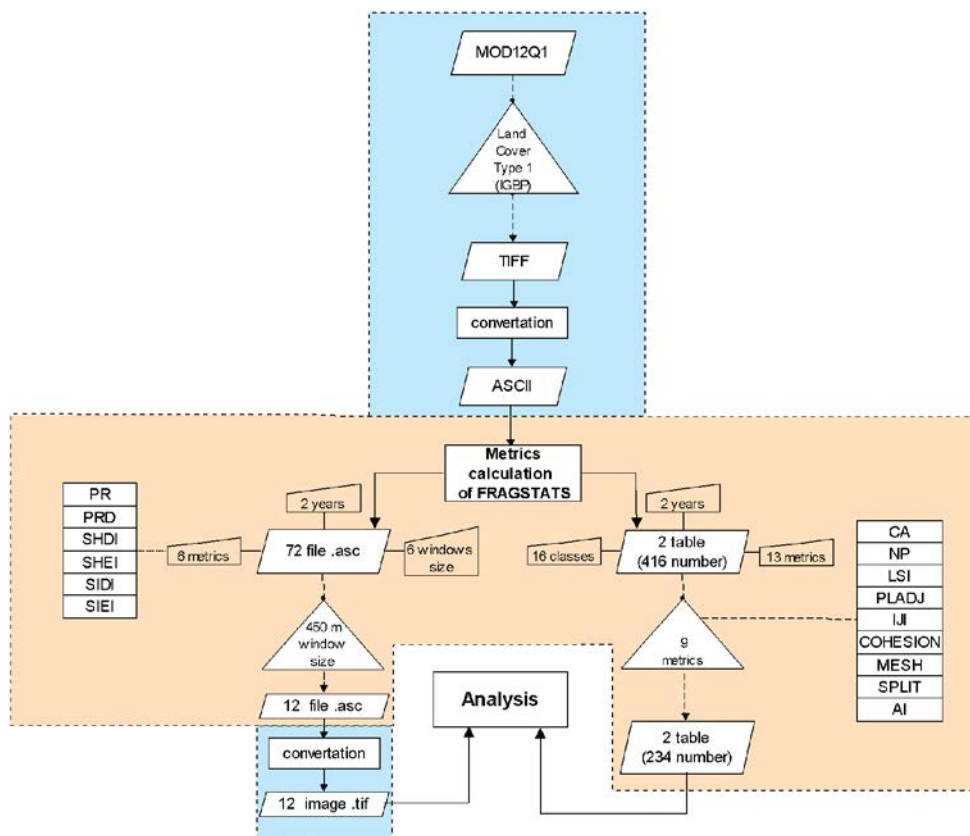


Рис. 2. Алгоритм розрахунку ландшафтних метрик. Блакитним виділено етапи виконані в ArcGis 10.2, рожевим — в програмі FRAGSTATS

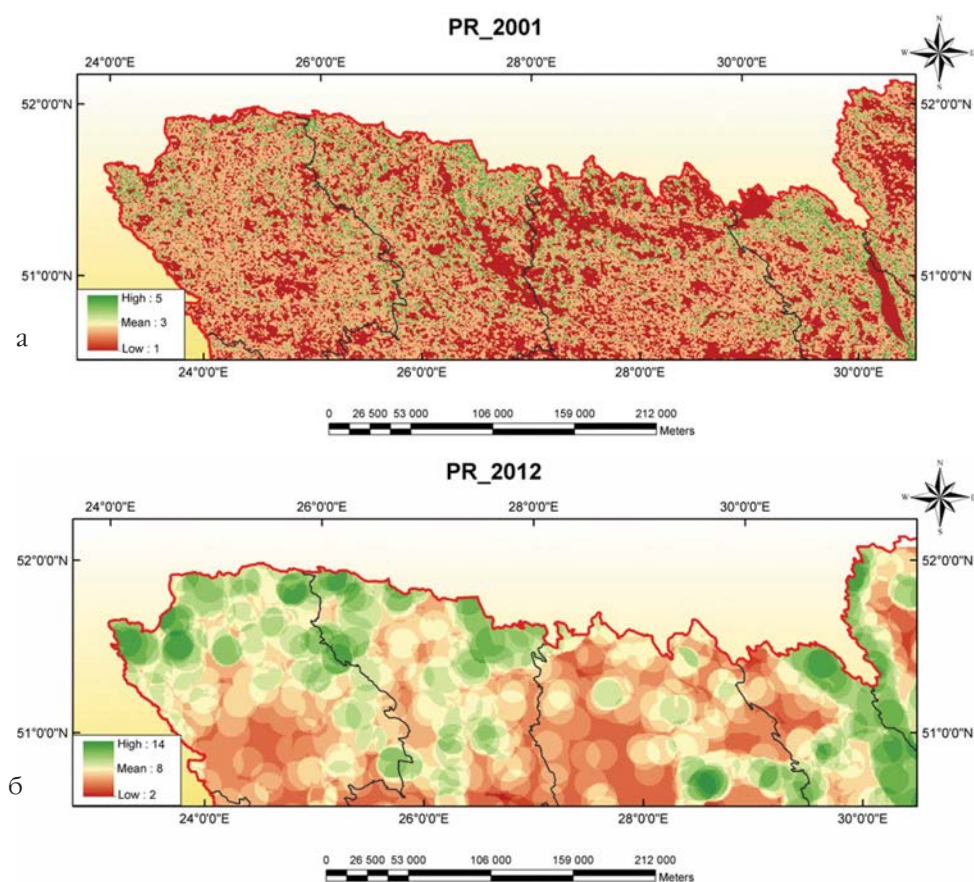


Рис. 3. Просторовий розподіл показника PR для 2001 року. Діаметр кола ковзаючого вікна: а — 1 500 м; б — 10 000 м

це свідчить діапазон кількості класів, максимальна ширина якого в середньому за два роки становить 14 класів, що відповідає діаметрам 4 500 та 6 000 м.

При цьому, зважаючи на те, що діапазонам значень інших метрик характерне спадання при застосуванні кола діаметром 6 000 м, вирішено в подальшому аналізі використовувати зображення, отримані на основі використання кола діаметром 4 500 м (табл. 1).

Отже в кінцевому результаті для аналізу ландшафтного різноманіття було використано 12 (по 6 за кожний рік) зображень наступних метрик: Patch Richness (PR) — число фрагментів (патчів), Patch Richness Density (PRD) — щільність ландшафтного різноманіття, Shannon's Diversity Index (SHDI) — індекс Шеннона, Shannon's Evenness Index (SHEI) — індекс однорідності Шеннона, Simpson's Diversity Index (SIDI) — індекс Сімпсона, Simpson's Evenness Index (SIEI) — індекс однорідності Сімпсона.

Крім зображень просторового розподілу значень показників ландшафтного різноманіття, із розрахованих 13 метрик класового рівня, був визначений набір наступних, які були використані в подальшому аналізі (рис. 2): Total area (CA) — площа класу, Number of Patches (NP) — кількість фрагментів у класі, Landscape Shape Index (LSI) — індекс форми, Percentage of Like Adjacencies (PLADJ) — відсоткова частка класової суміжності по фрагментах, Interspersion and Juxtaposition Index (IJI) — індекс сусідства та межування, Patch Cohesion Index (COHESION) — індекс зв'язності, Effective Mesh Size (mesh) — розмір ефективної сітки, Splitting Index (SLIPT) — індекс розщеплення, Aggregation Index (AI) — індекс об'єднання.

Даний відбір ґрунтується на виявленні тих метрик, які мають суттєво відмінні значення для різних типів земного покриву Українського Полісся.

Теоретичні основи розрахованих ландшафтних метрик детально описані в [9].

Результати

За попереднім аналізом змін земного покриву впродовж досліджуваного періоду, слід відзначити, що загальна площа залісненої території збільшилась на 17%, мозаїки орних земель з натуральною рослинністю — на 26%, водно-болотних угідь (ВБУ) — на 603% (в 2001 році — 6 568 га, а в 2012 році — 46 151 га). Це все є наслідком різкого зменшення інтенсивності сільськогосподарської діяльності за останні десятиріччя, яке підтверджується результатами порівняння площ орних земель, що скоротились на 25%.

Отримані зображення значень ландшафтних метрик були генералізовані шляхом групування значень на 4 групи (табл. 2).

Діапазон метрики PR, яка розраховується без врахування просторового розміщення фрагментів класів в межах ландшафту, в 2001 році становить 1–15 класів. Розподіл значень характеризується досить плавним переходом від максимальної кількості класів до мінімальної з півночі на південь (рис. 4.а). Особливо висока різноманітність ландшафтних елементів притаманна територіям природо-заповідного фонду (ПЗФ), зокрема на крайньому північному заході Волинської області — НПП “Шацький” та на півночі — НПП “Прип'ять-Стохід”. На території Рівненщини найвищі значення цього показника характерні для території Рівненського природного заповідника. В межах Київського Полісся PR досягає свого максимуму на прибережних територіях Дніпра. За 11 років розподіл значень даного показника значно змінився: більш ніж на половину скоротились площі територій з PR вище 5, при цьому території зі щільністю розподілу до 5 класів на одиницю площі збільшились майже на 79% (табл. 3).

Особливо “бідно” класова різноманітність 2012 року представлена в межах Житомирського Полісся,

Таблиця 1

Середня ширина діапазонів за 2001 та 2012 роки для ландшафтних метрик за різними діаметрами кола ковзаючого вікна

метрика/ розмір вікна	800 м	1 500 м	3 000 м	4 500 м	6 000 м	10 000 м
PR	4	10	13	14	14	13
PRD	3.73	1.61	0.52	0.25	0.19	0.04
SHDI	1.61	2.26	2.24	2.19	2.16	1.95
SIEI	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.92
SHEI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86
SIDI	0.80	0.89	0.88	0.87	0.87	0.82

Таблиця 2

Діапазони значень ландшафтних метрик груп (класів) генералізованих зображень

Група/метрика	pr	prd	shdi	siei	shei	sidi
1	5	< 0.07	< 0.6	< 0.3	< 0.3	< 0.2
2	6–8	0.07–0.14	0.6–1.2	0.3–0.5	0.3–0.5	0.2–0.5
3	9–12	0.14–0.21	1.20–1.8	0.5–0.8	0.5–0.8	0.5–0.7
4	13	> 0.21	> 1.8	> 0.8	> 0.8	> 0.7

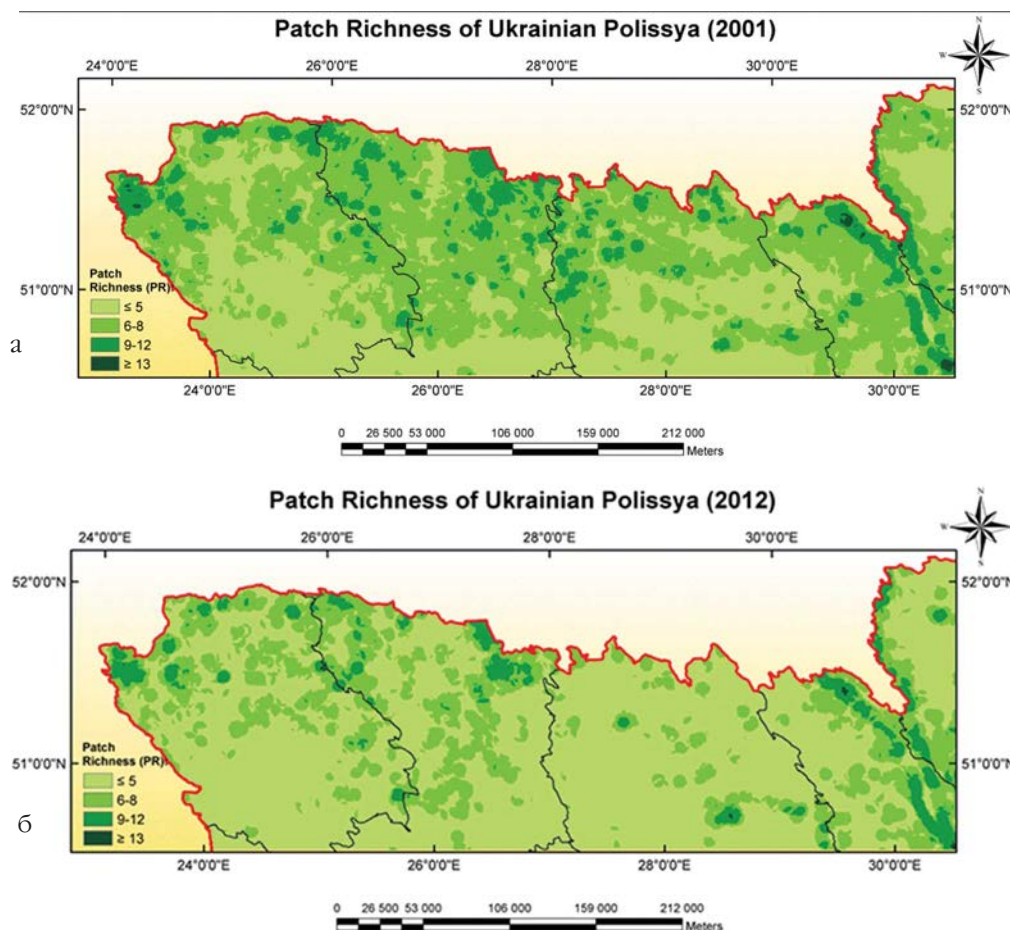


Рис. 4. Груповий розподіл значень показника PR: а — 2001 р., б — 2012 р.

що вказує на значний вплив антропогенної діяльності, який пов'язаний насамперед з видобуванням корисних копалин, меліорацією, розорюванням та вирубкою лісів (рис. 4.б).

PRD, який відповідає щільності ландшафтного різноманіття, нормалізує значення різноманіття до одиниці площі (за замовчуванням 100 га) і є похідною метрикою PR. Високі значення PRD (> 0.14) характеризуються неоднорідністю поширення зі збільшенням розрідженості фрагментів 3 та 4 групи з півночі на південь. Зважаючи на спорідненість з метрикою PR, відсоткове значення приростів є дещо подібним.

Індекс різноманітності Шеннона (SHDI) базується на поширеності, тобто чисельності типів фрагментів та рівномірності їх розподілу в межах всього ландшафту. Цей показник в якості інформаційного індексу біорізноманіття широко використовується

ще з середини минулого століття і розраховується за формулою:

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i) \quad (1)$$

де i — клас, m — кількість класів в ландшафті, P_i — частка класу в ландшафті.

Отримані результати на основі розрахунку SHDI підтверджують тенденцію розподілу PRD: площа територій зі значеннями індексу > 1.2 (3 та 4 групи) зменшилась приблизно на половину за досліджуваний період, відповідно, площа територій з невисоким ландшафтным різноманіттям ($SHDI < 1.2$) збільшилась приблизно на 30% (рис. 5).

Індекс однорідності Шеннона (SHEI) полягає у відношенні SHDI до максимального його значення, тобто рівномірного розподілу. Діапазон значень SHEI в межах від 0 до 1, при цьому індекс однорідності

Таблиця 3

Відсоткове значення приросту площ за групами для кожної метрики в період 2001–2012 рр.

Група/метрика	pr	prd	shdi	siei	shei	sidi
1	78.8	72.2	32.7	50.0	46.1	31.2
2	-48.5	11.6	29.3	-2.1	2.2	11.2
3	-50.6	-59.7	-50.6	-0.6	-9.7	4.2
4	-73.4	-50.6	-49.7	-10.2	88.0	-57.2

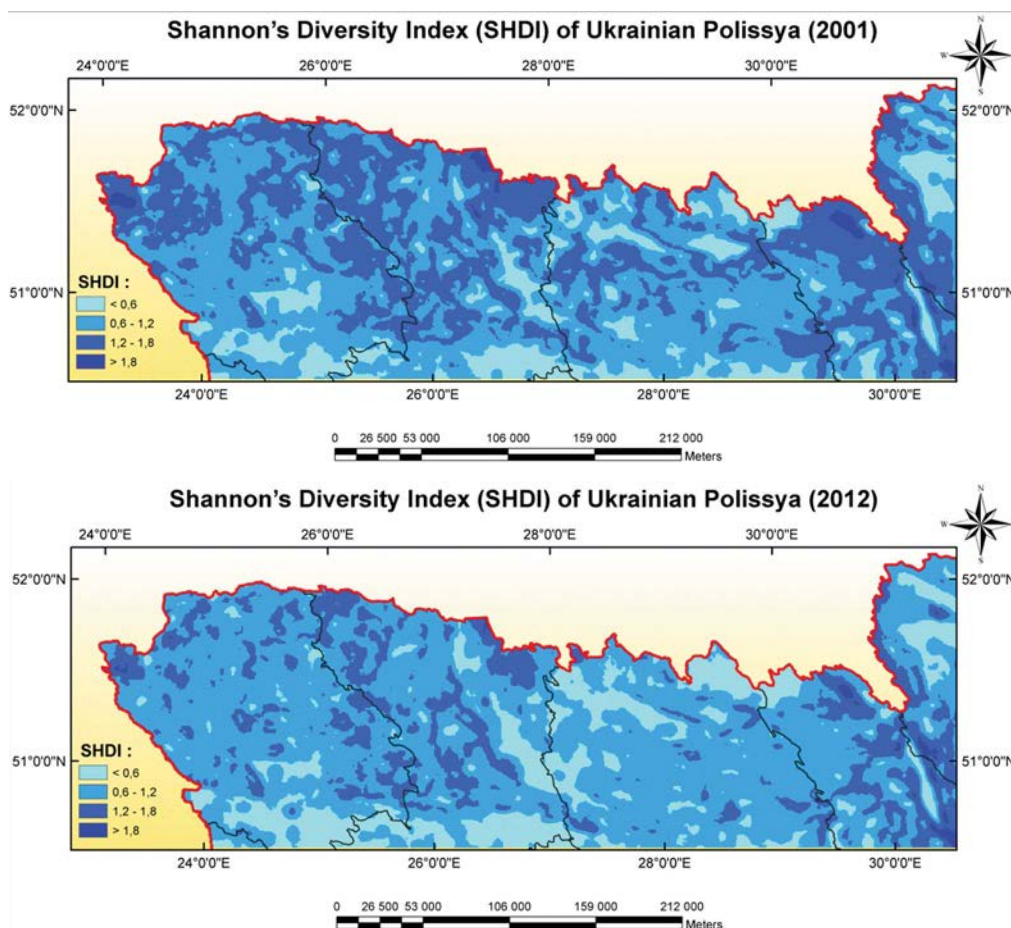


Рис. 5. Груповий розподіл значень показника SHDI: а — 2001 р., б — 2012 р.

наближається до нуля при низькій однорідності, та до одиниці, якщо однорідність висока. Зміни значень даного показника дещо неоднозначні: основна частина площ з середніми значеннями SHEI, в межах 0.3–0.7, залишилась відносно без змін, а площі груп з максимумами та мінімумами збільшились: $SHEI < 0.3$ — на 46.1%, а $SHEI > 0.8$ — на 88%.

Індекс різноманітності Сімпсона (SIDI) — ще один широко вживаний показник видової структури ландшафту, суть якого полягає у використанні сум відношень площ класів до загальної площі ландшафту і розраховується за формулою:

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2 \quad (2)$$

де показники i , m , P_i — ті, що використовуються у формулі (1).

Найбільша ландшафтна різноманітність по SIDI характерна, як і по іншим метрикам, для територій ПЗФ Волинського Полісся, на півночі Київського Полісся та для прибережних ділянок Дніпра, зокрема Київського водосховища. Прирости площ для трьох перших груп значень SIDI є додатними за рахунок зменшення територій з максимальною ландшафтною різноманітністю на 57.2%. Відповідно, площа територій з мінімальними значеннями індек-

су однорідності Сімпсона (SIEI) збільшилася приблизно на 50%, що підтверджує зростання неоднорідності розподілу видових структур ландшафту.

Для аналізу ЛР за класами IGPB, було відібрано 9 метрик, які чітко характеризують особливості ландшафтних структур за типами земного покриття Українського Полісся.

Для території дослідження є характерним розподіл площі між чітко домінуючими класами, до яких відносяться землі с/г призначення, мішані ліси та природна рослинна мозаїка (табл. 4). Склад останніх представлений орними землями, лісами, чагарниками та луками, при цьому не один компонент не займає 60% ділянки [7]. Аналізуючи характер цього розподілу та особливості його змін впродовж 11 років, було виявлено зменшення площі територій земель с/г призначення майже на 25% відносно початкової. При цьому, якщо в 2001 році даний тип покриття займав 37.9% території, то в 2012 — 28.4%. Це підтверджує позитивну тенденцію до зменшення розораності земель, що сприяє підтримці екологічно-сприятливого співвідношення площ різних типів земного покриття і, відповідно, має позитивний вплив на стійкість ландшафтів.

Загальна частка всіх лісових масивів збільшилась на 6.5%, зокрема площа мішаних — на 2.4%. При цьо-

Таблиця 4

Площі типів земного покриття Українського Полісся, їхня відсоткова частка в ландшафті та показники змін за 2001–2012рр.

класи/роки та одиниці	Class Area (CA)				різниця, тис га	різни ця,%	відносна приріст, %
	2001		2012				
	га	%	га	%			
Water	66264.36	0.29	64182.19	0.28	-2.08	-0.01	-3.14
Evergreen Needleleaf forest	432832.67	1.87	473874.93	2.04	41.04	0.18	9.48
Deciduous Needleleaf forest	14081.44	0.06	12772.04	0.06	-1.31	-0.01	-9.30
Deciduous Broadleaf forest	121194.87	0.52	154509.50	0.67	33.1	0.14	27.49
Mixed forest	3334790.71	14.39	3899422.27	16.83	56463	2.44	16.93
Closed shrublands	923.02	0.00	665.43	0.00	-0.26	0.00	-27.91
Open shrublands	6031.84	0.03	4250.19	0.02	-1.78	-0.01	-29.54
Woody savannas	258209.89	1.11	20541.2	0.22	-20616	-0.89	-79.84
Savannas	57763.97	0.25	7663.22	0.03	-50.10	-0.22	-86.73
Grasslands	66822.46	0.29	35375.33	0.15	-31.45	-0.14	-47.06
Permanent wetlands	6568.48	0.03	46151.07	0.20	39.58	0.17	602.61
Croplands	4386240.96	18.93	3292610.78	14.21	-109363	-4.72	-24.93
Urban and built-up	101167.45	0.44	101081.58	0.44	-0.09	0.00	-0.08
Cropland/Natural vegetation mosaic	272847.293	11.77	3441066.98	14.85	7 12.59	3.08	26.12
Barren or sparsely vegetated	193.19	0.00	128.79	0.00	-0.06	0.00	-33.33
Evergreen Broadleaf forest	4378.99	0.02	-	-	-	-	-
Snow and ice	-	-	128.79	0.00	-	-	-

му територія під рідколіссям з лісовим покривом в 30–60% (Woody savannas) зменшилась з 258.2 тис. га до 51.2 тис. га, а з лісовим покривом в 10–30% (Savannas) — з 57.8 тис. га до 7.7 тис. га. Землі під трав'яною рослинністю (Grasslands) скоротились майже вдвічі (2001р. — 66.8 тис. га, 2012р. — 35.4 тис. га), а територія земель природної рослинної мозаїки (Cropland/Natural vegetation mosaic) збільшилась на 3.08%.

Незважаючи на незначну частку постійних ВБУ (Permanent wetlands), їхня площа збільшилась в досить великому обсязі. Так, якщо в 2001 році СА для даного класу становила 6.6 тис. га, то в 2012 — вже 46.2 тис. га. Такий характер змін є наслідком зменшення інтенсивності осушувальних меліоративних робіт, широкомасштабності яких в минулому столітті призвела до негативних екологічних наслідків природного середовища цього регіону.

Найбільш фрагментованим класом є землі природної мозаїки: кількість патчів на 2001 рік становить майже 10 тисяч, проте вже в 2012 році NP = 4 023 (табл. 5, 6). Відповідно даний клас характеризується максимальною нерівномірністю форми (LSI2001 = 160.39, LSI2012 = 121.39) та одним з найвищих значень згуртованості (зв'язаності) фрагментів (COHESION2001 = 95.6%, COHESION2012 = 99.27%). Розчленованість цього типу покриття є відносно незначною і з роками зменшується (SPLIT2001=1188, SPLIT2001=60). Досить високим є ступінь сукупності даного класу, на що вказує індекс об'єднання AI.

Кількість фрагментів найпоширенішого типу середлісів — мішаного лісу (Mixed forest) — за 11 років зменшилась на 19%, і має високу відсоткову частку суміжності (PLADJ2001 = 78.45%, PLADJ2012 = 81.29%) та максимальний індекс зв'язності. Даний клас має найбільший розмір ефективної сітки (MESH) по ландшафту, який не залежить від NP, мінімальну розчленованість та високий індекс

об'єднання, що вказує на значний рівень однорідності розподілу мішаних лісів Українського Полісся. Серед інших типів лісових біомів, які представлені в даній класифікації, найбільшу територію займають вічнозелені хвойні ліси — 473.87 га, які за своєю структурою та просторовим розподілом зазнали незначних змін. Середнє значення NP становить 4 248 фрагментів, при цьому їх згуртованість (COHESIONсер) ≈ 80%, а нерівномірність форми (LSIсер) ≈ 76%. Інші показники мають досить опосередковані значення.

Площа прохідних чагарників (Open shrublands) в 6.5 раз більша площі непрохідних чагарників (Closed shrublands). Для обох цих типів земного покриття характерним є зменшення площ на 29.5% та 27.2%, відповідно. Розмір ефективної сітки (MESH) для чагарників фактично дорівнює нулю. Індекс сусідства та межування (IJI) в середньому досягає 70%, що вказує на конкретну локалізацію фрагментів цих класів в межах ландшафту. Враховуючи невеликі площі, індекс розщеплення приймає одні з найвищих значень серед класів.

Значне скорочення територій під рідколіссям не призвело до суттєвих змін ландшафтних метрик даного класу, окрім індексу SPLIT. Для рідколісся з лісовим покривом 30–60% даний індекс зріс в 25 разів, а з лісовим покривом в 10–30% — в 10 разів. Для територій з трав'яною рослинністю між значеннями показників ландшафтного різноманіття за 2001 р. та 2012 р. також великих коливань не зафіксовано.

Стрімке збільшення заболочених територій (постійних ВБУ) характеризується відповідним зростанням кількості ділянок даного класу з 174 до 774. Розмір ефективної сітки зріс з 0.04 га до 0.98 га, а відсотковий індекс об'єднаності класу з 17.33% до 30.26%, при цьому індекс IJI зменшився на 9.34%.

Водні об'єкти також зазнали значних змін: площа скоротилась на 2.08 га, а кількість фрагментів —

Таблиця 5

Ландшафтні метрики за 2001р. класового рівня на територію Українського Полісся

TYPE	CA (ha)	NP	LSI	PLADJ (%)	IJI (%)	COHESION (%)	MESH (ha)	SPLIT	AI (%)
Water	66.26	126	6.70	87.85	66.95	96.07	287.57	40289	89.48
Evergreen Needleleaf forest	432.83	4493	76.18	46.35	35.85	79.22	116.42	99517	46.68
Evergreen Broadleaf forest	4.38	190	13.72	2.45	62.02	4.68	0.01	1244972588	2.64
Deciduous Needleleaf forest	14.08	507	22.92	9.15	66.78	20.15	0.07	178288608	9.52
Deciduous Broadleaf forest	121.19	2752	57.21	23.49	35.66	48.98	2.23	5205553	23.81
Mixed forest	3334.79	3409	84.86	78.45	60.80	98.91	144896.46	80	78.65
Closed shrublands	0.92	42	6.07	1.16	72.14	1.44	0.00	6473857456	1.39
Open shrublands	6.03	170	13.79	16.55	68.73	34.00	0.04	285891644	17.61
Woody savannas	258.21	5590	84.40	22.82	58.13	55.27	7.85	1476694	23.03
Savannas	57.76	1931	46.28	10.57	64.33	24.57	0.27	43216672	10.78
Grasslands	66.82	1943	45.61	17.96	55.76	34.83	0.85	3606258	18.29
Permanent wetlands	6.57	174	14.63	16.34	77.95	35.39	0.04	267269345	17.33
Croplands	4386.24	3857	98.95	78.09	26.90	99.39	438246.47	26	78.26
Urban and built-up	101.17	306	23.17	66.07	44.36	84.02	19.30	600208	67.05
Cropland/Natural vegetation mosaic	2728.47	9743	160.39	54.95	40.46	95.61	9755.32	1188	55.11

Таблиця 6

Ландшафтні метрики за 2012р. класового рівня на територію Українського Полісся

TYPE	CA (ha)	NP	LSI	PLADJ (%)	IJI (%)	COHESION (%)	MESH (ha)	SPLIT	AI (%)
Water	66.26	126	6.70	87.85	66.95	96.07	287.57	40289	89.48
Evergreen Needleleaf forest	432.83	4493	76.18	46.35	35.85	79.22	116.42	99517	46.68
Evergreen Broadleaf forest	4.38	190	13.72	2.45	62.02	4.68	0.01	1244972588	2.64
Deciduous Needleleaf forest	14.08	507	22.92	9.15	66.78	20.15	0.07	178288608	9.52
Deciduous Broadleaf forest	121.19	2752	57.21	23.49	35.66	48.98	2.23	5205553	23.81
Mixed forest	3334.79	3409	84.86	78.45	60.80	98.91	144896.46	80	78.65
Closed shrublands	0.92	42	6.07	1.16	72.14	1.44	0.00	6473857456	1.39
Open shrublands	6.03	170	13.79	16.55	68.73	34.00	0.04	285891644	17.61
Woody savannas	258.21	5590	84.40	22.82	58.13	55.27	7.85	1476694	23.03
Savannas	57.76	1931	46.28	10.57	64.33	24.57	0.27	43216672	10.78
Grasslands	66.82	1943	45.61	17.96	55.76	34.83	0.85	3606258	18.29
Permanent wetlands	6.57	174	14.63	16.34	77.95	35.39	0.04	267269345	17.33
Croplands	4386.24	3857	98.95	78.09	26.90	99.39	438246.47	26	78.26
Urban and built-up	101.17	306	23.17	66.07	44.36	84.02	19.30	600208	67.05
Cropland/Natural vegetation mosaic	2728.47	9743	160.39	54.95	40.46	95.61	9755.32	1188	55.11
Barren or sparsely vegetated	0.19	9	3.00	0.00	76.32	0.00	0.00	32369287282	0.00

вдвічі, що може означати висушування невеликих озер та ставків, які є окремими елементами даного класу. За своєрідністю даного типу покриття є логічною висока зв'язність фрагментів класу, яка становить $\approx 96\%$. Але при аналізі особливостей розподілу елементів слід врахувати наявність в межах ландшафту Київського водосховища, яке за своїми розмірами істотно перевищує інші водні об'єкти і має значний вплив при розрахунку ландшафтних метрик даного класу.

Внаслідок скорочення земель с/г призначення, вдвічі меншим став MESH цього класу, при цьому ступінь згуртованості фрагментів залишається на максимальному рівні $\approx 99\%$. Середня відсоткова частка суміжності класу становить 80%, таке саме значення має і індекс AI, при цьому нерівномірність форми зменшилась з 98.95 до 70.77. Все це вказує на збільшення однорідності, сукупності та компактності розміщення орних земель.

Урбанізовані території та землі під забудовою фактично не змінилися і займають близько 101.1 тис. га. Маючи досить високий рівень згуртованості фрагментів — 84.02%, що в принципі характерно для даного класу, розподіл патчів по ландшафту є відносно рівномірним, на що вказують посередні значення PLADJ — 66.1%, AI — 67.1% та IJI — 48.4%.

Відкриті ділянки землі з розрідженою рослинністю, є мізерно малими, тому як і для класу “Сніг та лід” (“Snow and ice”), значення розчленованості є максимально високим по всьому ландшафту, а значення інших показників — несуттєвими.

Висновки

Ландшафтна структура Українського Полісся зазнала значних змін впродовж 2001–2012 рр. як на загальному ландшафтному рівні, так і на рівні окремих типів земного покриття.

Максимальні значення показників ландшафтного різноманіття Українського Полісся є типовими для територій ПЗФ, а також заплавлених та прибережних ділянок Дніпра, що пов'язане з меншим антропогенним впливом на природні компоненти цих територій та ландшафти в цілому. Характерним для просторового розподілу значень ландшафтних метрик є зменшення різноманітності та збільшення однорідності типів ландшафтів з півночі на південь. Аналіз часових змін ЛР досліджуваної території за 2001–2012 рр., свідчить про скорочення площ з максимальними показниками різноманітності та збільшення однорідності територій за всіма розрахованими метриками в досить значному ступені.

Відповідний вплив на ландшафтне різноманіття Українського Полісся за досліджуваний період мають зміни геопросторової локалізації, кількість фрагментів в межах ландшафтів та збільшення або зменшення площ типів земного покриття.

Результати даного дослідження можуть бути використані при прийнятті управлінських рішень щодо заходів по збереженню біологічного та ландшафтного різноманіття досліджуваної території.

Література

- Абрамова Л. А. Ландшафтное разнообразие и охрана природы / Л. А. Абрамова // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. — 2011. — №2. — С. 577–579.
- Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. — К.: Вид-во Мінекобезпеки України. — 1998. — 52 с.
- Загальська О. Б. Природні чинники антропоізації ландшафтів у західній частині України / О. Б. Загальська // Геополітика і екогеодинаміка регіонів. — 2014. — Т. 10. — Вип.1 — С. 547–552.
- Зміни ландшафтів у Сулинській затоці Кременчуцького водосховища за даними дистанційного зондування та наземних спостережень / В. М. Стародубцев, І. М. Дремлюга, В. С. Струк [та ін.] // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України : електрон. наук. фах. вид. — 2012. — №4 (33). — 13 с.
- Кучма Т. Л. Оцінювання ландшафтного різноманіття за даними дистанційного зондування Землі / Т. Л. Кучма, О. В. Сиротенко // Агроекологічний журнал. — 2014. — №1. — С. 35–39.
- Николаев В. А. Космическое ландшафтоведение / В. А. Николаев // М.: МГУ. — 1993. — 81 с.
- Definitions of MODIS Land Cover Classes [Electronic recourse]. — Mode of access: URL http://studentclimatedata.sr.unh.edu/climate/albedo/MODISLandcoverClass_definitions.pdf — Last access: 2015. — Title from the screen.
- Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain) / E. M. Castillo, A. Garc?a–Martin, L. A. Longares Aladren, M. Luis // Applied Geography. — 2015. — V. 62. — P. 247–255.
- McGarigal K. FRAGSTATS HELP [Electronic recourse] / K. McGarigal — 2015. — 182p. — Mode of access: URL <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf> — Last access: 2015. — Title from the screen.
- Remote sensing in landscape ecology: experiences and perspectives in a European context / G. Groom, C. A. Mucher, M. Ihse, T. Wr?bka // Landscape Ecology. — 2006. — V. 21. — №. 3. — P. 391–408.
- Understanding and quantifying landscape structure — A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics / A. Lausch, T. Blaschke, D. Haase [et al] // Ecological Modelling. — 2015. — V. 295. — P. 31–41.

АНАЛИЗ ЛАНДШАФТНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЛАНДШАФТОВ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ ЗА 2001–2012 ГГ. НА ОСНОВЕ КЛАССИФИЦИРОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ EOS/MODIS

Е. В. Краснопір

Выполненные расчеты ландшафтных метрик на территорию Украинского Полесья для 2001 и 2012 годов в программе FRAGSTATS. Обоснованно оптимальный размер скользящего окна (moving window) для построения изображений пространственного распределения метрических значений. Определен набор метрик классового уровня, которые наиболее полно характеризуют особенности ландшафтного разнообразия региона. По полученным данным был проведен анализ ландшафтного разнообразия Украинского Полесья за 2001 и 2012 годы, дана оценка его пространственно-временных изменениям за данный период, а также выявлены определенные особенности и тенденции этих изменений.

Ключевые слова: ландшафтное разнообразие, космические снимки, классификация, ландшафтные метрики, FRAGSTATS, Украинское Полесье

ANALYSIS OF LANDSCAPE DIVERSITY OF UKRAINIAN POLISSIA FOR 2001–2012 YEARS BASED ON CLASSIFIED SATELLITE IMAGES EOS/MODIS

O. V. Krasnopir

Calculating landscape metrics has been carried out for landscapes of Ukrainian Polissia in the program FRAGSTATS based on classified satellite images of informational product MOD12. Optimal size of the moving windows was reasoned for building images of the spatial distribution of metric values. Set metrics at the class level has been determined for complete characteristic of features landscape diversity of the region. Analysis of landscape diversity of Ukrainian Polissia landscapes has been executed. Some features of spatial and temporal changes have been revealed.

Keywords: landscape diversity, satellite images, classification, landscape metrics, FRAGSTATS, Ukrainian Polissia

UDC 528.88.04:630*111(477)

Estimation of forests productivity response on local climatic variations within territory of Ukraine with satellite data using

D. M. Movchan *

Scientific Center for Aerospace Research of the Earth of Institute of Geological Sciences NAS Ukraine (CASRE IGS NASU), Kyiv, Ukraine

Forests biomass is a significant carbon pool. And the dynamic of forest productivity is directly related to climatic factors of the territories. In the paper the analysis of the terrestrial forest productivity and climate drivers on regional levels has been done. The gross primary production (GPP) and net primary production (NPP) from a global satellite-based terrestrial production efficiency model MOD17 as the forest productivity indicator and meteorological data from the weather station network as climatic indicators were used. Correlation analysis between forest productivity and climatic indicators for different growing seasons and landscape-climatic zones of Ukraine has been done. Multiple linear regression models for corresponding seasons and zones have been simulated using the principal component analysis (PCA).

Keywords: forest, carbon cycle; climate change; gross primary productivity; remote sensing; principal component analysis

© D. M. Movchan. 2015

1. Introduction

Forest ecosystems comprise a significant terrestrial carbon pool. They play a substantial role in the carbon exchange between the land and the atmosphere through the processes of photosynthesis, respiration and decomposition. Therewith, forests have important resource, recreation and conservation functions. Therefore, study and assessment of the forest productivity are underlying issues for rational forest management under changing world conditions. Currently, global climate changes are an enormously challenging issue for humanity [8–10]. These changes are closely linked with the carbon cycle [2]. Accordingly, in this work, it is hypothesized that a part of the spatial variation in forest productivity trends can be associated with the trends of climatic factors. The previous studies [3, 15, 19, 27] showed that there is a statistically significant relationship between the plant productivity and climatic factors. Therefore, understanding of forest response on climate system fluctuation is important for our better understanding of contribution and role of forest in the carbon cycle. This study is aimed to estimate the trends of climatic drivers and their relations with the forest productivity for different landscape-climatic regions of Ukraine.

The methods of ground forests inventory [22–25, 13] provide results with quite high accuracy. However, they require considerable time and effort on the part of humans to inventory vast areas. Moreover, these methods are hard to use in territories that are difficult to reach geographically. In this case, the remote sensing methods can be very useful and facilitate the solution of this problem. Among all methods, only satellite observations provide a global spatially continual observation of land

cover parameters. Production efficiency models (PEMs) are the most commonly used group of models of the gross primary productivity (GPP) (the amount of organic matter synthesized by producers per unit area in unit time) that based on remote sensing data.

The PEMs have been developed to monitor the primary production, taking advantage of the available satellite data [16]. The PEMs are based on theory of the light use efficiency LUE [4, 6, 14, 17, 20, 21] which states that a relatively constant relationship exists between the photosynthetic carbon uptake and radiation absorption by vegetation at the canopy level [1]. The typical equation for the GPP calculation is:

$$GPP = \epsilon \cdot FPAR \cdot PAR \cdot S_{Tmin} \cdot S_{VPD} \quad (1)$$

where, GPP — Gross Primary Productivity (g C m^{-2}); PAR — Photosynthetically Active Radiation (MJ m^{-2}); FAPAR — Fraction of Absorbed PAR (dimensionless %); ϵ — Light Use Efficiency (g C MJ^{-1}); S_{Tmin} — Daily Minimum Temperature Scalar, S_{VPD} — Vapour Pressure Deficit Scalar (0–1) [16].

2. Data and Methods

2.1. Forest productivity data

The Numerical Terradynamic Simulation Group (NTSG) (<http://www.ntsg.umd.edu/>) provides long-term time series of global estimates of the terrestrial GPP (MOD17) since March 2000. The data from the Collection 5 of the MOD17A2 model were used. The MOD17A2 is an 8-day summation of the GPP. The model is based on the data obtained from the MODIS spectrometer located on board of the Terra and Aqua spacecrafts. The spatial resolution of the model

* e-mail: dmovchan@hotmail.com

is $1 \times 1 \text{ km}$, which allows assessing of the GPP at the regional and local levels. The temporal resolution is 8 days that is applicable for assessment of the seasonal features. The data set contains the observations for 13 years (from 2000 to 2012). The uncertainty of the model was estimated about 13–15% [12]. There are two main sources of the uncertainty. Firstly, the MOD12Q1 land cover product used in the model has accuracy in the range of 70–80%, and most of mistakes are between similar classes [26]. Secondly, large-scale meteorological data are provided by the NASA Data Assimilation Office (DAO). These data are derived using a global circulation model (GCM). Preliminary studies done by the NTSG suggest that the relationship between surface observations and DAO data across the U.S. appears reasonable, but comparisons have yet to be made on a global scale [7]. As a result, it may contain systematic errors in some regions. The uncertainties in meteorological data are mainly responsible for the unrealistic GPP in some small regions. For these pixels located in harsh environments, overestimated temperature alone, for example, can be enough to produce underestimation of the GPP due to the higher Vapour Pressure Deficit (VPD). A detailed discussion about the MOD17 algorithm sensitivity to meteorological inputs can be found elsewhere [28].

2.2 Climatic data

The World Meteorological Organization (WMO) collects the meteorological data from a global network of weather stations. The meteorological parameters that were available in the data sets and have been used in the study are listed in the Table 1. A total number of the

Table 1

Meteorological parameters from the WMO data set used in the study

Data	Description
TEMP	Mean daily temperature, degree Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
DEWP	Mean daily dew point, degree Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
MAX	Maximum daily temperature, degree Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
MIN	Minimum daily temperature, degree Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
PRCP	Precipitation, mm
RH	Relative humidity, %

weather stations over the territory of Ukraine presented in the WMO station list is 169. Nevertheless, only 33 of them (Table 2) have continuous measurements of the weather parameters for certain period.

These weather stations were grouped according to landscape-climatic zoning (Fig. 1, Table 2). The data were spatially averaged for each region. A temporal harmonization has been done for data coincidence with 8-day data set of the forest productivity.

2.3 Data analysis

Figure 2 shows general description of the data analysis. MOD12Q1 Land Cover Product [5] has been used for creation of forest mask. MOD17A2 Product has been masked by the forest mask and medians of GPP spatial distribution for different landscape-climatic zones [18] have been calculated. The weather stations data have been grouped according to landscape-climatic zoning and spatial statistic has been calculated. Finally, the statistical data analysis and modeling have been done.

The full time series analysis was performed to estimate the dynamics and trends of all parameters for each region. The next stage of the study was the analysis of the environmental factors and their impact on the for-

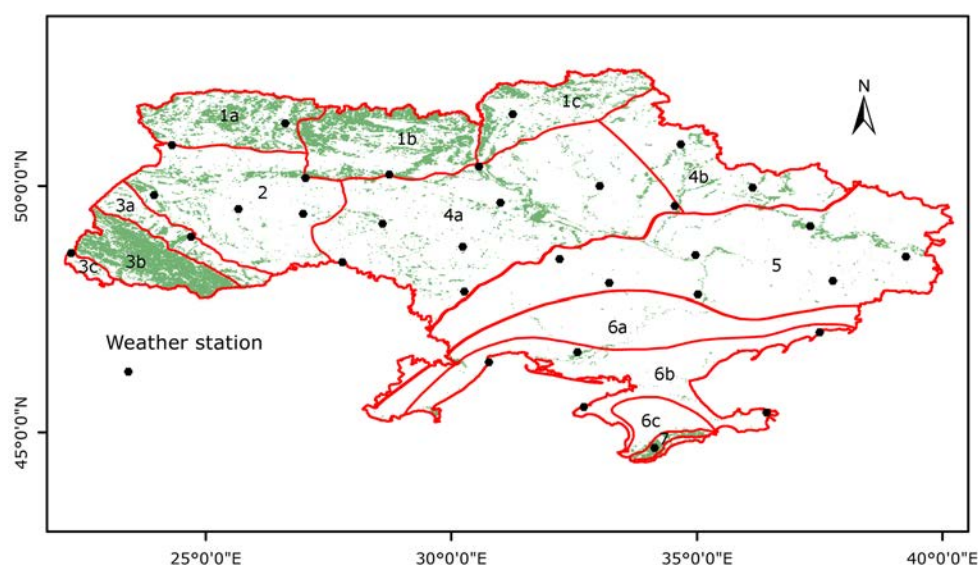
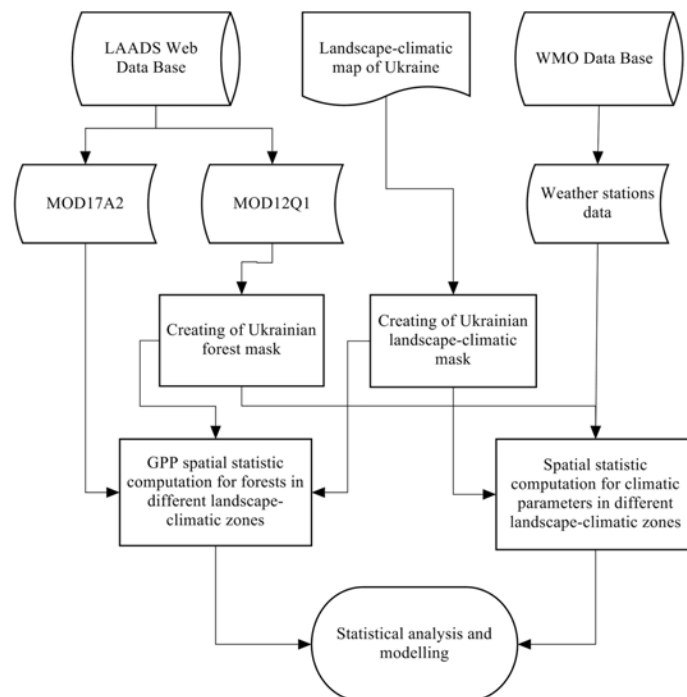


Fig. 1. Forest mask, landscape-climatic zoning and weather stations position for the territory of Ukraine 1 — the mixed forests zone (MF); 2 — the broadleaf deciduous forests zone (LF); 3 — the Carpathian mountains (KRP); 4a — the western forest-steppe subzone (WFS); 4b — the eastern forest-steppe subzone (EFS); 5 — the north steppe subzone (NS); 6 — the south steppe subzone and coastal lands (SS); 7 — the Crimean mountains and southern coast of Crimea (SC) (According to the National Atlas of Ukraine)

Table 2

List of the weather stations and their grouping according to landscape-climatic zoning

USAF	STATION	LAT	LON	ELEV
1. Mixed forests zone:				
330880	SARNY	51.283	26.617	156
331770	VOLODYMYR-VOLYNSKYI	50.833	24.317	194
333250	ZHYTOMYR	50.233	28.733	224
333450	KYIV	50.4	30.567	167
331350	CHERNIHIV	51.467	31.25	141
2. Broadleaf deciduous forests zone:				
334290	KHMELNYTSKYI	49.433	26.983	350
333170	SHEPETIVKA	50.167	27.033	278
334150	TERNOPIL	49.533	25.667	329
333930	LVIV	49.817	23.95	323
3. Carpathian mountains zone:				
336310	UZHHOROD	48.633	22.267	124
335260	IVANO-FRANKIVSK	48.967	24.7	280
4a. Western forest-steppe subzone:				
334660	MYRONIVKA	49.667	31	153
333770	LUBNY	50	33.017	158
335620	VINNYTSIA	49.233	28.6	298
336630	MOHYLIV-PODILSKYI	48.45	27.783	78
335870	UMAN	48.767	30.233	216
337610	LIUBASHIVKA	47.85	30.267	183
4b. Eastern forest-steppe subzone:				
332750	SUMY	50.85	34.667	181
335060	POLTAVA	49.6	34.55	160
343000	KHARKIV	49.967	36.133	155
5. North steppe subzone:				
345190	DONETSK	48.067	37.767	225
345230	LUHANSK	48.567	39.25	62
337910	KRYVYI RIH	48.033	33.217	124
337110	KIROVOHRAD	48.517	32.2	171
345040	DNIPROPETROVSK	48.6	34.967	143
344150	IZIUM	49.183	37.3	78
346010	ZAPORIZHZHIA	47.8	35.017	112
6. South steppe subzone and coastal lands:				
338370	ODESA	46.433	30.767	42
339020	KHERSON	46.633	32.567	54
339830	KERCH	45.4	36.417	49
347120	MARIUPOL	47.033	37.5	70
339460	SIMFEROPOL	44.683	34.133	181
7. Crimean mountains and southern coast of Crimea:				
339460	SIMFEROPOL	44.683	34.133	181

**Fig.2.** Flow chart for the data collection, processing and analyzing

est productivity. For this propose the method of principal component analysis (PCA) [11] was used. Using of this method give a possibility, firstly, to reduce the dimension of the output parameters, and secondly, to identify the hidden but objectively existing relations.

The growing season in Ukraine has a clear seasonality. Therefore the data were analyzed by seasons (DOY (days of year) 64–152 — spring; DOY 153–248 — summer; and DOY 249–336 — autumn) to assess seasonal characteristics.

3. Results and Discussion

In order to assess the general trends of the climatic drivers and the forest productivity, the time series for each region was analyzed. Fig. 3 shows a comparison of slope coefficients of the trend lines for each climatic driver in different regions of Ukraine. It was found a clear increasing of the temperature parameters for all regions. The strongest growth of the temperatures took place in the southern regions (Crimea, the northern and southern steppe subzones). Slightly lower growth of the temperatures was observed in the forest-steppe zone and the lowest one was evaluated for the forest zones and the Carpathians. It should be noted that the maximum temperatures had stronger positive trend among all temperatures parameters especially for the southern regions. The trends of the precipitation had opposite tendency. A slight increasing was observed only for the mixed forests zone and the Carpathian Mountains. In other regions the precipitation amount had decreasing trends. And the most intense decline was evaluated for Crimea, the southern steppe and forest-steppe zones. The relative humidity has the most heterogeneous trends. Significant increasing was observed for the Carpathian and Crimea Mountains and the forest zones, in comparison to other regions, where decreasing trends

took place. The analysis of the forest productivity (GPP) showed slight positive trends for the Carpathians and the forest zones (mixed and deciduous forests). The forest GPP of other regions had decreasing trends. The most significant decreasing of the forest GPP took place in the eastern steppe subzone and the steppe zone.

The next step of the study was an analysis of correlation between each climatic driver and the forest GPP. As it was mentioned above, the growing season in Ukraine has a clear seasonality. Taking it into account, the correlation coefficients for the seasons (spring, summer, autumn) (Fig. 4) has been calculated. The results showed that the forest GPP had strong positive correlation with temperature parameters for spring and autumn ($r > 0.7$) and had not one for summer ($r = -0.2 - 0.2$). In southern regions, such as the steppe zone and Crimea, the correlation had small negative value. The correlation with precipitation was found to be not so strong. The seasonal analysis demonstrated more significant role of precipitation in spring for the forest and forest-steppe regions, while the steppe zone forest productivity was more sensitive to the precipitation amount in summer. The relative humidity had the small negative correlation with the forest GPP for all regions. However, for the steppe and forest-steppe zones it had a positive relationship in summer.

Since all climatic parameters have a good correlation with each other, the PCA was used to avoid the parameter saturation. This method also reduces the data set dimensionality. All parameters are grouped in several components, which essentially are a linear combination of the parameters. Such comprehensive assessment makes it possible to identify the hidden relations because there is no correlation between the principal components at all. The contribution of each component to the data description was estimated after analyzing the residual variance. Thus, the number of prin-

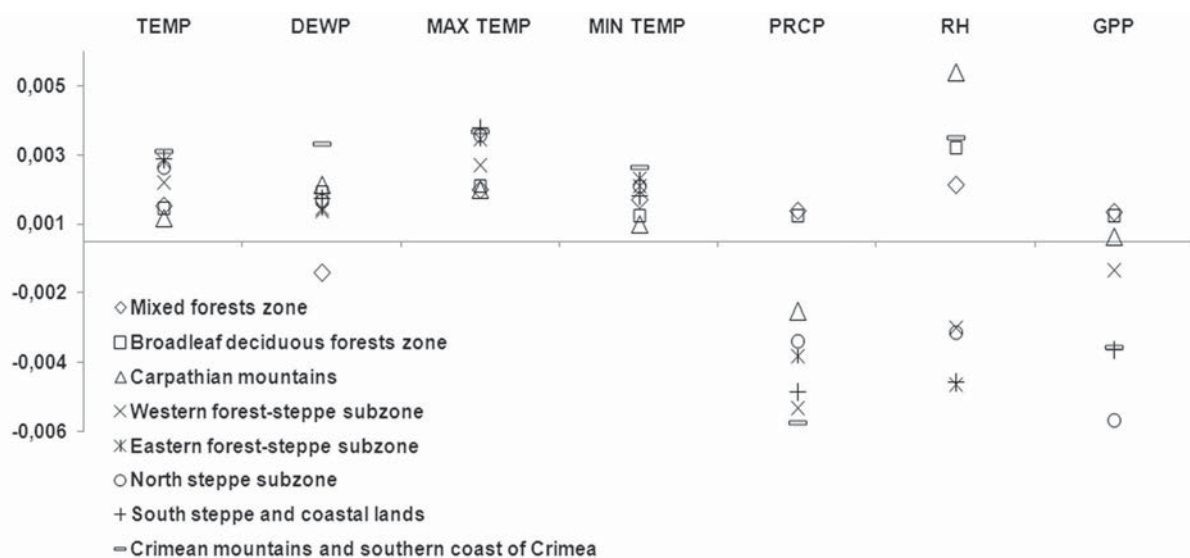


Fig.3. The slope coefficients of the trend lines (2000–2012) for the main climatic drivers regarding landscape-climatic regions of Ukraine

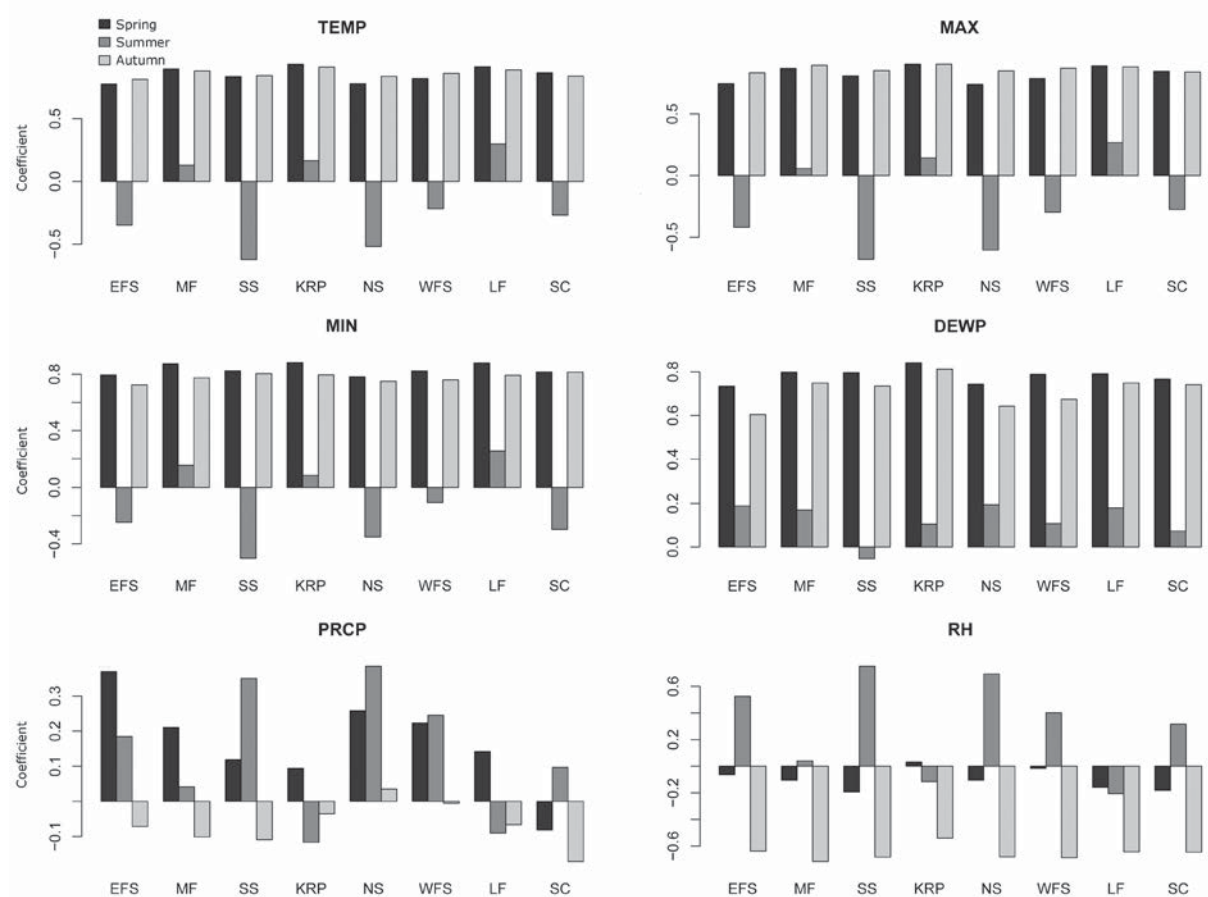


Fig.4. The correlation coefficients between the GPP and climatic drivers for the seasons

principal components (PC) necessary to describe the data was determined. It should be noted that, in general, all PC residuals have a similar distribution for all landscape-climatic zones. And the first three components describe an average of 55–65%, 20–30% and 5–10% of the data respectively. The rest of the components have insignificant effect on the data and can be considered as the influence of measuring errors, noise and other additional factors not considered in the study. In the sequel analysis it was considered only first two components, as far as the ones together describe from 80 to 90% of the data. An analysis of the PC loadings shows how factors related each other and how ones influence on the principal components. The residual variance analysis provides more detail information about the PC1 and PC2 (Tables 3, 4) which describe the temperature regime and moisture availability respectively. A seasonal analysis showed significant changes in the component loadings through the growing season.

The PC loadings of the variances can be considered as a correlation between the PC score and correspondent variance. It was above mentioned, the first component is determined by the temperature parameters: averaged, maximum and minimum daily air temperatures and dew point. Table 3 shows a good positive correlation between the PC1 and the temperature parameters for spring and summer and negative one for au-

tumn for all climatic zones. Meanwhile, minimum temperatures had a slightly higher correlation than other temperature variances for spring when the averaged temperatures correlation predominates for summer and autumn.

The moisture availability is defined by the PC2 determined mainly by precipitation and relative humidity. Analysis of the PC2 loadings (Table 4) showed following results. There was a good positive correlation between the PC2 scores, precipitation and relative humidity in spring for all climatic zones except South Crimea where correlation was negative. For summer, there was a good negative correlation between ones except the Carpathian region and the western forest-steppe subzone where the correlation was positive. The autumn was characterized by a negative correlation for the broadleaf deciduous forests zone and South Crimea and positive one for all other climatic zones.

In order to assess the effect of the temperature and moisture regimes on the forest GPP for different seasons and climatic zones a multiple linear regression model based on the first two PCs was used:

$$GPP_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 PC1_{i,j} + \beta_2 PC2_{i,j} + \varepsilon_{i,j} \quad (2)$$

where i and j are climatic zone (subzone) and season respectively.

Table 3.

The PC1 loadings of the variables

Zone	TEMP	DEWP	MAX	MIN	PRCP	RH
Spring						
EFS	0.499	0.469	0.488	0.508	0.182	– 0.030
MF	0.489	0.489	0.467	0.503	0.221	0.053
SS	0.507	0.474	0.501	0.501	– 0.007	– 0.129
KRP	0.491	0.501	0.458	0.506	0.141	0.149
NS	0.512	0.462	0.498	0.513	0.069	– 0.093
WFS	0.503	0.485	0.484	0.512	0.126	0.005
LF	0.497	0.490	0.475	0.509	0.165	0.032
SC	0.513	0.478	0.498	0.507	– 0.033	– 0.046
Summer						
EFS	0.525	0.274	0.521	0.491	– 0.190	– 0.317
MF	0.519	0.451	0.505	0.493	– 0.107	– 0.135
SS	0.509	0.333	0.505	0.482	– 0.235	– 0.295
KRP	0.529	0.459	0.500	0.479	– 0.142	– 0.103
NS	0.521	0.219	0.520	0.470	– 0.257	– 0.350
WFS	0.524	0.393	0.511	0.488	– 0.155	– 0.219
LF	0.521	0.460	0.500	0.491	– 0.130	– 0.096
SC	0.528	0.225	0.523	0.487	– 0.209	– 0.339
Autumn						
EFS	– 0.503	– 0.414	– 0.492	– 0.479	0.021	0.322
MF	– 0.489	– 0.443	– 0.481	– 0.457	0.097	0.339
SS	– 0.480	– 0.437	– 0.478	– 0.469	0.128	0.338
KRP	– 0.507	– 0.475	– 0.489	– 0.468	0.019	0.242
NS	– 0.497	– 0.414	– 0.487	– 0.475	0.013	0.344
WFS	– 0.498	– 0.427	– 0.485	– 0.469	0.016	0.337
LF	– 0.499	– 0.447	– 0.488	– 0.460	0.085	0.307
SC	– 0.478	– 0.423	– 0.476	– 0.464	0.141	0.360

Table 4.

The PC2 loadings of the variables

Zone	TEMP	DEWP	MAX	MIN	PRCP	RH
Spring						
EFS	0.499	0.469	0.488	0.508	0.182	– 0.030
MF	0.489	0.489	0.467	0.503	0.221	0.053
SS	0.507	0.474	0.501	0.501	– 0.007	– 0.129
KRP	0.491	0.501	0.458	0.506	0.141	0.149
NS	0.512	0.462	0.498	0.513	0.069	– 0.093
WFS	0.503	0.485	0.484	0.512	0.126	0.005
LF	0.497	0.490	0.475	0.509	0.165	0.032
SC	0.513	0.478	0.498	0.507	– 0.033	– 0.046
Summer						
EFS	0.525	0.274	0.521	0.491	– 0.190	– 0.317
MF	0.519	0.451	0.505	0.493	– 0.107	– 0.135
SS	0.509	0.333	0.505	0.482	– 0.235	– 0.295
KRP	0.529	0.459	0.500	0.479	– 0.142	– 0.103
NS	0.521	0.219	0.520	0.470	– 0.257	– 0.350
WFS	0.524	0.393	0.511	0.488	– 0.155	– 0.219
LF	0.521	0.460	0.500	0.491	– 0.130	– 0.096
SC	0.528	0.225	0.523	0.487	– 0.209	– 0.339
Autumn						
EFS	– 0.503	– 0.414	– 0.492	– 0.479	0.021	0.322
MF	– 0.489	– 0.443	– 0.481	– 0.457	0.097	0.339
SS	– 0.480	– 0.437	– 0.478	– 0.469	0.128	0.338
KRP	– 0.507	– 0.475	– 0.489	– 0.468	0.019	0.242
NS	– 0.497	– 0.414	– 0.487	– 0.475	0.013	0.344
WFS	– 0.498	– 0.427	– 0.485	– 0.469	0.016	0.337
LF	– 0.499	– 0.447	– 0.488	– 0.460	0.085	0.307
SC	– 0.478	– 0.423	– 0.476	– 0.464	0.141	0.360

The analysis of the regression coefficients allows to estimate the power and direction with which these principal components effect on the forest GPP for the corresponding season and climate zone. The comparison of the coefficients with the PC loadings provides the understanding of specific climatic drivers influence on the forest productivity. The regression coefficients for the first two components are presented in Table 5.

The table illustrates that PC1, which describes the temperature regime, is statistically significant in all cases except of summer for the western forest-steppe sub-zone. The statistical significance of the regression coefficient for the PC2 (i. e. moisture regime) is not so straightforward. The PC2 for spring is statistically significant only for forest zones, and for all other climatic zones is not. The opposite situation was observed for

summer. The PC2 for the forest-steppe and steppe zones is statistically significant, and for forest zones is not. For autumn the PC2 is not statistically significant for all zones. The coefficient of determination (R^2) indicates a very good fitting of the model for spring and autumn (especially for forest zones ($R^2 > 0.8$)) and negligible fitting for summer. Meanwhile the steppe zone had worse fitting for spring and autumn and much better one for summer in comparison with forest ones. This indicates that the forest productivity of the steppe region is more affected by extreme climatic drivers during summer.

Analysis of the PCs regression coefficients (Table 5) with their loadings (Tables 3, 4) shows that the forest zones were characterized by a significant positive impact of the temperatures on the forest productivity in spring ($\beta_1 = 7.05, 8.63, 9.36, 12.74$ for mixed and deciduous forests, the Carpathian and Crimean Mountains respectively). This effect almost disappears in summer. In autumn effect of the temperature regime again increases, but it is about 2 times weaker compared to spring. The influence of the moisture regime was not observed. The PC2 correlation coefficients for summer and autumn were not statistically significant for the mixed and deciduous forests zones and the Carpathians. For spring it had a slight negative effect. For the Crimean Mountains β_2 was not statistically significant for all seasons.

The effect of the temperature regime for the forest-steppe zone was somewhat lower than for forest areas.

The moisture regime had no effect for spring and autumn (β_2 was not statistically significant) and had a good positive impact for summer ($\beta_2 = 2.36$ and 2.84 for the WFS and EFS respectively). The steppe zone is very similar to the forest-steppe one. Although it had a stronger negative effect of the temperature regime on the forest productivity ($\beta_1 = -3.28$ and -3.25 for the NS and SS respectively) and had a stronger positive relation with the moisture regime for summer.

4. Conclusions

Consequence of the PCA about the sensitivity of the forest productivity in different landscape-climatic zones of Ukraine to changes in climatic drivers and their trends discussed above (Fig. 3) showed clear patterns. The forest ecosystems of the forest zones were found to be the most resistance to climatic variations for the territory of Ukraine. The positive relations of the forest productivity to the temperature regime were observed for these zones. The correlation between the forest productivity and moisture regime was not detected. Obtained results could indicate the absence of any stable limiting climatic conditions for these areas. It was found a slight trend to increase of the forest GPP for the mixed and deciduous forests zones and the Carpathians (Fig. 3). It can be explained by a slight increasing trend in the temperature parameters. The steppe zone and eastern forest-steppe subzone have the opposite trend to decreasing

Table 5.

Regression coefficients and R^2 of the multiple linear regression model (2) for different seasons and climatic zones

Zone (subzone) / Season	β_1	β_2	R^2
1. Mixed forests:			
Spring	7.0549	-2.5451	0.8011
Summer	SNS	SNS	SNS
Autumn	-5.1997	SNS	0.7771
2. Broadleaf deciduous forests:			
Spring	8.6274	-2.7743	0.8286
Summer	1.1205	SNS	0.08681
Autumn	-5.3147	SNS	0.7874
3. Carpathian mountains:			
Spring	9.3615	-3.5161	0.8644
Summer	SNS	SNS	SNS
Autumn	-6.8784	SNS	0.8349
4a. Western forest-steppe:			
Spring	6.64473	SNS	0.7008
Summer	-1.1370	-2.3553	0.1488
Autumn	-4.3639	SNS	0.7454
4b. Eastern forest-steppe:			
Spring	6.7335	SNS	0.647
Summer	-2.3385	-2.8380	0.2256
Autumn	-4.3699	SNS	0.6794
5. North steppe:			
Spring	5.4771	SNS	0.6466
Summer	-3.2762	-3.1019	0.4511
Autumn	-3.7522	SNS	0.7059
6. South steppe and coastal lands:			
Spring	5.4416	SNS	0.7044
Summer	-3.2459	-2.9998	0.5346
Autumn	-3.6186	SNS	0.7207
7. Crimean mountains and southern coast of Crimea:			
Spring	12.7428	SNS	0.7366
Summer	-2.3651	SNS	0.1007
Autumn	-6.9112	SNS	0.7104

Notes: SNS — Statistically non significant (p -value > 0.05)

of the forest GPP. And for these areas the results of the PCA showed a very strong positive relation of the productivity to the moisture regime and a negative one to the temperature regime for summer. It was suggested that these climatic drivers in summer become limiting for the corresponding areas. Taking into account a trend to increasing of the temperature parameters and decreasing of the precipitation amount in these zones, decreasing of the forest productivity seems logical.

References

1. Anderson M. C. An analytical model for estimating canopy transpiration and carbon assimilation fluxes based on canopy light-use efficiency / M. C. Anderson, J. M. Norman, T. P. Meyers, G. R. Diak // *Agricultural and Forest Meteorology*. — 2000. — No.101. — P. 265–289.
2. Earth systems change over Eastern Europe / Ed. by P. Ya. Groisman, V. I. Lyalko. — Kyiv: "AKADEMPERIODYKA", 2012. — 488 p. ISBN 978-966-360-195-3.
3. Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time / S. C. Elmendorf, G. H. R. Henry, R. D. Hollister [et al.] // *Ecology Letters*. — 2011. — V.15. — No.2. — P. 164–175. doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01716.x
4. Field C. B. Global net primary production: Combining ecology and remote sensing / C. B. Field // *Remote Sensing of Environment*. — 1995. — No.51. — P.74–88. doi:10.1016/0034-4257(94)00066-V.
5. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results / M. A. Friedl, D. K. McIver, J. C. F. Hodges [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. — 2002. — V.83. — No.1–2. — P. 287–302.
6. Satellite remote sensing of primary production: An improved production efficiency modeling approach / S. J. Goetz, S. D. Prince, S. N. Goward [et al.] // *Ecological Modelling*. — 1999. — No. 122. — P. 239–255. doi:10.1016/S0304-3800(99)00140-4.
7. User's Guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm / F. A. Heinsch, M. Reeves, P. Votava [et al.] // Version 2.0, December 2, 2003; 57 pp.
8. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson C.A., Eds. — Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001. — 881 pp.
9. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Parry, M. L. Canziani, O. F. Palutikof, J. P. van der Linden P. J., Hanson, C. E., Eds. — Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. — 976 pp.
10. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker, T. F., Qin, D. Plattner, G.-K. Tignor, M. Allen, S. K. Boschung, J. Nauels, A. Xia, Y. Bex V., Midgley, P.M., Eds. — Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. — 2013. — 1535 pp.
11. Jolliffe I. T. Principal Component Analysis / I. T. Jolliffe. — NY: Springer Verlag. — 1986. — 246 pp.
12. Kostyuchenko Yu. V. Uncertainties in estimation of the vegetation productivity and the formation of carbon balance of the territories using remote sensing / Yu. V. Kostyuchenko, D. M. Movchan, I. G. Artemenko, Yu. G. Bilous // *Geoinformation*. — 2013. — 3(47). — P. 67–75. (in Ukrainian).
13. Lakyda P. I. Forest Phytomass in Ukraine / P. I. Lakyda. — Ternopil: Zbruch. — 2002. — 256 pp. (in Ukrainian)
14. Landsberg J. J. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning / J. J. Landsberg, R. H. Waring // *Forest Ecology and Management*. — 1997. — No. 95. — P. 209–228.
15. Lin D. L. Climate warming and biomass accumulation of terrestrial plants: A meta-analysis / D. L. Lin, J. Y. Xia, S. Q. Wan // *New Phytologist*. — 2010. — No.188. — P. 187–198. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03347.x
16. Satellite-based terrestrial production efficiency modeling / I. McCallum, W. Wagner, C. Schmullius [et al.] // *Carbon Balance and Management*. — 2009. — No. 4–8. doi:10.1186/1750-0680-4-8.
17. Monteith J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystem / J. L. Monteith // *Journal of Applied Ecology*. — 1972. — No. 9. — P. 747–766.
18. National Atlas of Ukraine / L. G. Rudenko Eds. / Kartographiya: Kyiv, 2008. — 440 pp. (in Ukrainian)
19. Nonintrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons, and species in a North-South European gradient / J. P. Pecuelas, C. Gordon, L. Llorens [et al.] // *Ecosystems*. — 2004. — No. 7. — P. 598–612.
20. Prince S. D. Global primary production: A remote sensing approach / S. D. Prince, S. N. Goward // *Journal of Biogeography*. — 1995. — No. 22. — P. 815–835.
21. Running S. W. Global terrestrial gross and net primary productivity from the Earth observing system / S. W. Running, P. E. Thornton, R. Nemani, J. M. Glassy // In *Methods in Ecosystem Science*, O. E. Sala, Eds. — New York: Springer, 2000. — 44–57 pp.
22. Shvidenko A. Current problems of Russian forest mensuration. Methodology and modeling / A. Shvidenko // *Forest Inventory and Planning*. — 2003. — No.1(31). — P. 41–51.
23. Shvidenko A. System of models of growth and dynamics of productivity of Russian forests (models of biological productivity) / A. Shvidenko, D. Schepaschenko, S. Nilsson, Y. I. Bouloui // *Forestry and Forest Management*. — 2004. — No. 2. — P. 40–44.
24. Standard and Reference Materials for Forest Inventory and Planning in Ukraine and Moldavia / A. Z. Shvidenko [et al.] Eds. — Kiev: Ministry of Forest Management of the Ukrainian SSR, 1989. — 560 pp.

25. Shvidenko A. Z. System of models of growth and dynamics of productivity of forests of Russia (yield tables) / A. Z. Shvidenko, D. G. Schepaschenko, S. Nilsson, Yu. I. Bouloui // *Forestry and Forest Management*. — 2003. — No. 6. — P. 34–38.
26. The MODIS Land Cover and Land Cover Dynamics Products / A. H. Strahler, M. Friedl, X. Zhang [et al.] // *Presentation at Remote Sensing of the Earth's Environment from TERRA, LAquila, Italy, 2002*.
27. Zhang X., Diverse responses of vegetation phenology to a warming climate / X. Zhang, D. Tarpley, J. T. Sullivan // *Geophysical Research Letters*. — 2007. — No.34. — L19405, doi:10.1029/2007GL031447.
28. Zhao M. Sensitivity of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) terrestrial primary production to the accuracy of meteorological reanalyses / M. Zhao, S. W. Running, R. R. Nemani // *Journal of Geophysical Research*. — 2006. — No.111. — G01002. doi:10.1029/2004JG000004.

ОЦІНКА РЕАКЦІЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ НА ЛОКАЛЬНІ КЛІМАТИЧНІ КОЛИВАННЯ В МЕЖАХ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

Д. М. Мовчан

Ліси утримують в собі значну кількість вуглецю у вигляді накопиченої біомаси. Динаміка продуктивності лісів безпосередньо залежить від кліматичних факторів відповідних територій. У роботі проведений аналіз надземної продуктивності лісів і кліматичних чинників на регіональних рівнях. Валова первинна продуктивність (ВПП) і чиста первинна продуктивність (ЧПП), отримані з глобальної моделі MOD17, як індикатор продуктивності лісів і метеорологічні дані з мережі метеостанцій, були використані для аналізу. Кореляційний аналіз між продуктивністю лісів і кліматичними показниками був проведений для різних періодів вегетаційного сезону і ландшафтно-кліматичних зон України. Лінійна регресійна модель на основі аналізу головних компонент (РСА) була використана для оцінки впливу основних кліматичних чинників на продуктивність лісових територій України.

Ключові слова: ліси; вуглецевий цикл; зміни клімату; валова первинна продуктивність; дистанційне зондування; аналіз головних компонент

ОЦЕНКА РЕАКЦИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА ЛОКАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ НА ТЕРТОРИИ УКРАИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Д. М. Мовчан

Леса удерживают в себе значительное количество углерода в виде накопленной биомассы. Динамика продуктивности лесов напрямую зависит от климатических факторов соответствующих территорий. В работе проведен анализ надземной продуктивности лесов и климатических факторов на региональных уровнях. Валовая первичная продуктивность (ВПП) и чистая первичная продуктивность (ЧПП), полученные из глобальной модели MOD17, как индикатор продуктивности лесов и метеорологические данные из сети метеостанций, были использованы для анализа. Корреляционный анализ между продуктивностью лесов и климатическими показателями был проведен для различных периодов вегетационного сезона и ландшафтно-климатических зон Украины. Линейная регрессионная модель на основании анализа главных компонент (РСА) была использована для оценки влияния основных климатических факторов на продуктивность лесных территорий Украины.

Ключевые слова: леса; углеродный цикл; климатические изменения; валовая первичная продуктивность; дистанционное зондирование; анализ главных компонент

Розділ 4

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН КЛІМАТУ В УКРАЇНІ НА КІНЕЦЬ ХХ–ПОЧАТОК ХХІ СТ. ЗА НАЗЕМНИМИ ТА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ

Головною метою даного розділу є висвітлення в доступному вигляді результатів досліджень із проблеми сучасних і майбутніх змін клімату України з використанням супутникової інформації разом з наземними метеорологічними даними.

Досягнення мети передбачає розв'язання таких завдань:

- описати антропогенні причини змін клімату;
- оцінити зміни клімату в Україні на кінець ХХ ст. – початок ХХІ ст. (температура повітря, опади, стихійні явища);
- виявити можливість використання супутникової інформації разом з наземними метеорологічними даними для дослідження сучасної зміни клімату в Україні;
- побудувати й науково обґрунтувати емпірико-статистичний сценарій клімату майбутнього України (до 2030 р.) на основі дослідження закономірностей багаторічної динаміки температури з урахуванням глобальної антропогенно зумовленої зміни клімат;
- дати оцінку можливих наслідків змін клімату (на прикладі виявлення змін в екосистемах, дослідження посух).

Сучасне поняття клімату — це характерний для певної території багаторічний режим погоди, зумовлений сонячною радіацією, її перетворенням у діяльному шарі земної поверхні та пов'язаною з нею циркуляцією атмосфери й океанів. Це поняття ґрунтується на генетичних принципах і стосується клімату певних регіонів (регіональний клімат). Щодо клімату Землі, то в середині ХХ ст. виникло нове поняття — глобальний клімат. Відповідно глобальний клімат визначається сукупністю факторів (природних та антропогенних), які діють на всій земній кулі.

Клімат на даний час розглядається як особливо важливий природний ресурс. Він приносить ко-

ристь країнам і народам там, де він сприятливий, і збитки там, де він несприятливий. Зміна клімату, що відбулася, проявляється у вигляді потепління і, можливо, в майбутньому посилиться, може призвести до перерозподілу цього важливого природного ресурсу серед різних країн і народів.

На глобальному і регіональному рівнях зміна клімату у з початку ХХІ ст. стала незаперечним фактом, який поставив перед світовими державами, у тому числі Україною, низку надзвичайно важливих і складних завдань, пов'язаних із розробленням стратегії забезпечення свого сталого розвитку та успішного виживання в умовах зміни клімату на Землі.

Зміна глобального клімату є сукупність його змін у різних регіонах часових і просторових масштабах. В деяких країнах в останні роки значно почастишали стихійні явища руйнівної сили, які за своєю інтенсивністю більші за ті, що раніше спостерігалися. Технічний прогрес не зменшив втрати від стихійних явищ в останні декілька десятиріч, а, навпаки, втрати від кліматичних екстремумів збільшилися. Саме регіональні зміни, що супроводжуються екстремальними явищами, мають найбільш істотний вплив на економічне і соціальне життя суспільства. В перше десятиріччя ХХІ ст. у зв'язку зі збільшенням погодних та кліматичних аномалій — злив, смерчів, шквалів, повеней, посух, надмірно спекотних погод, весняних приморозків, снігопадів — відмічається занепокоєння ростом температури повітря в глобальному масштабі. Поки що суспільство не може розробити такі дії, які припинять цей процес. Але, щоб скоротити втрати, потрібно негайно пристосуватися до нових кліматичних умов, зрозуміти причини коливань клімату та особливо вміти передбачити майбутню зміну клімату. Хоча до цих пір не існує однозначної відповіді про можливі механізми і процеси, які формують цей глобальний феномен.

Клімат зазнавав зміни протягом усієї історії Землі. Зміна клімату мала різні часові масштаби — від 10^1 до 10^8 років. Останній масштаб відповідає минулим льодовиковим періодам, а перший — сучасним коливанням клімату [76]. Особливо добре простежувались коливання клімату за період, який складає декілька сотень років. В нашій країні він за інструментальним виміром охоплює тільки 113 років. В геологічному масштабі, де мова йде про тисячоліття, на Землі дійсно відбувається похолодання клімату, але з дуже малою швидкістю. Якщо ж розглядати клімат за менший відрізок часу — останні 100 років, то йде потепління, швидкість якого майже в 200 раз більша швидкості похолодання. Аномально висока температура на планеті спостерігається в останні 10–15 років.

Малоймовірно, що глобальна зміна клімату за останні 50 років XX ст. та перші роки XXI ст. могла бути викликана тільки природною мінливістю, такого підвищення температури повітря не спостерігалось останні тисячу років. Більшість дослідників пояснюють явище різкої зміни клімату зростаючим впливом інтенсифікації світового промислового виробництва в роки XXI ст., яке супроводжується суттєвим збільшенням так званих ПГ, які відбивають довгохвильове випромінювання нашої планети, сприяючи у такий спосіб нагріванню повітря.

Як повідомляє газета “Світ” (№ 11–12, березень 2015 р.) академік НАН України Ярослав Яцків розповів про космічний проєкт “Аерозоль-UA”, що реалізують спільно фахівці головної астрономічної обсерваторії НАН та КБ “Південне”. Адже досі відсутня надійна кількісна модель кліматичних змін. Причому якщо CO_2 зумовлює тренд до глобального потепління, то наявні різного походження атмосферні аерозолі (викликані різними антропогенними забрудненнями, виверженням вулканів тощо) навпаки — призводить до охолодження. Тож щоб прогнозувати кліматичні зміни, потрібно моніторити не лише CO_2 , але і тропосферний аерозоль. Спосіб цього і пропонують сьогодні українські вчені.

Залежність ряду галузей господарської діяльності і цілих держав від нестаціонарних кліматичних умов абсолютно не знижується, а росте разом з підвищенням виробництва. Практично вся господарська діяльність і щоденне життя людей, життя тваринного і рослинного світу пов'язані з погодними і кліматичними умовами. Вони можуть бути сприятливими, і, навпаки, створювати значні складності для життя людини.

Помітний вплив господарської діяльності людини тепер розповсюджується і на інші характеристики клімату, включаючи середню температуру на континентах, атмосферну циркуляцію і деякі види екстремальних явищ. Сучасна політика усіх країн недостатньо ефективна, аби залишитися довіллю в межах підвищення температури повітря на $0.1\text{--}0.2^\circ\text{C}$ за десятиріччя [109]. Як свідчать дослідження

[74, 110], рівень викидів вуглекислого газу у світі сягнув нового піку, жодна країна повною мірою не стала на шлях попередження глобальних змін клімату. Цілком ймовірно розходження думок, які залежать від багатьох факторів, в тому числі кон'юнктурного походження. Наприклад, небажанням представників деяких держав визнати вплив їх промислового та сільськогосподарського потенціалу на збільшення викидів ПГ в атмосферу і, як наслідок, продовження потепління клімату, що активізується.

Питання про зміну клімату привертало увагу багатьох дослідників. Праці перших дослідників [77] присвячені головним чином збиранню і вивченню емпіричних даних про кліматичні умови різних епох. Менше результатів було отримано при вивченню причин змін клімату, хоча над цим давно працювали спеціалісти у цій області. Вагомий внесок у дослідження зміни клімату зробив М. І. Будико [27–36] та учні його школи П. Я. Гройсман та К. Я. Вінніков [42, 43]. Однак через відсутність точної теорії клімату та нестачу необхідних для цієї проблеми матеріалів спеціальних спостережень при з'ясуванні причин зміни клімату виникли великі труднощі, які не подолані до нашого часу.

Щодо історії дослідження в Україні, то ця проблема існує вже кілька десятиріч. Першим на неї звернув увагу видатний метеоролог І. Є. Бучинський [39–41]. На початку 80-х XX ст. років під керівництвом доктора географічних наук, професора К. Т. Логвинова відновились дослідження з проблеми зміни клімату під впливом природних та антропогенних факторів регіонального та глобального масштабів, які, накладаючись один на одного підсилюють їхню дію. Він також розробив методичні підходи для прогнозування змін клімату [73]. Причини, що пояснюють зміни клімату, висвітлені в роботах В. Ф. Мартазінової та її учнів (О. К. Іванова, Д. Ю. Чайка, Т. О. Свердлик, В. А. Остапчук) [82–87], де досліджено зміни атмосферної циркуляції в Атлантико-Європейському регіоні, до якого за циркуляційними умовами відноситься й Україна. В основу цих досліджень покладено природний фактор, але антропогенний не заперечується.

Емпірико-статистичні дослідження з проблеми змін клімату на фоні глобального потепління проводили М. Б. Барабаш, М. І. Кульбіда, Н. П. Гребенюк [9, 12–19, 59, 61, 65, 66, 72], які протягом 25 років послідовно кожні 5 років здійснювали діагностичну оцінку змін клімату в Україні під впливом природних та антропогенних факторів.

М. Б. Барабаш та І. Ф. Трофимова на засадах методичних підходів К. Т. Логвинова дослідили структурний зв'язок між глобальною і регіональною температурою повітря. На основі визначених закономірностей у 1985 р. розроблено сценарій клімату до 2010 р. [21]. Подальше уточнення даного сценарію і прогноз з урахуванням наявних коливань клімату до 2030 р. викладено у роботах М. Б. Барабаш, М. І. Куль-

біди, Л. О. Єлістратової [11, 20, 62, 68]. Також дана тематика представлена в наукових працях учених В. І. Осадчого [92, 93], С. Г. Бойченко, В. М. Волощука [25, 44] та ін.

На сьогодні проблему зміни клімату досліджує велика кількість зарубіжних учених, серед яких М. Алєн, К. Андерсон, Р. Белінг, Р. Бетс, Ф. Джонс, Д. Кейз, Дж. Крісті, М. Меннінг, Дж. Мітчел, В. Попе, С. Солмон, І. Фунг, Г. Шельнхубер, Г. Шмідт, С. Шнайдер [110], В. Ф. Логінов [74–76, 98], В. П. Мелешко [88, 89] та ін.

Сучасна наука досягла значних успіхів у вивченні та математичному моделюванні клімату і процесів, які зумовлюють сучасне глобальне потепління клімату. В основі існуючих прогнозів лежить концепція антропогенного характеру глобального потепління, сценарії емісії джерел та стоків ПГ і ціла низка припущень, які закладені в основу розроблених сценаріїв. Висловлені в різних дослідженнях гіпотези про причини зміни клімату часто не підтверджені кількісними розрахунками або даними спостережень, а ті обґрунтування, які були представлені, викликають різні заперечення. При цьому досить важливим є дослідження кліматичної системи як фізичного об'єкта. Потрібно брати до уваги складність протікання в оболонках Землі процесів, неповноту відомостей про фізичні фактори, які визначають зміни в кліматичній системі, роблять принципово неможливий точний прогноз кліматичних змін. Існують великі невизначеності сценаріїв змін джерел та стоків ПГ. Вуглецевий цикл у кліматичних моделях або не включений, або враховується в загальному вигляді. Не досконало враховуються зворотні зв'язки в кліматичній системі. Виникають великі складності при врахуванні взаємодії атмосфери, гідросфери, кріосфери та біосфери, а також хмарового шару та аерозолів. Тому зараз не існує загальноприйнятої думки про причини зміни і коливання клімату. Між тим питання про механізми зміни клімату набуло великого практичного значення, оскільки у багатьох дослідженнях встановлено, що господарська діяльність людини має значний вплив на глобальні кліматичні умови, причому цей вплив швидко зростає в ХХІ ст. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки прогнозу зміни клімату, для того щоб запобігти небезпечним для людини змін природних умов.

Зміна клімату на території нашої держави проявляється досить інтенсивно, охоплює всю територію, а з початку ХХІ ст. випереджає ті прогнози, які давалися раніше (у 80-х роках минулого століття) вченими Українського науково-дослідного гідрометорологічного інституту (УкрНДГМІ) та фахівцями Гідрометцентру України [11, 20, 21, 61, 62, 68, 92].

Зусилля України у скороченні викидів ПГ та впровадженні кліматичної політики малопомітні. Через

це за Індексом протидії змінам клімату наша держава посіла 35-те місце [94]. Реальні спостереження на території України свідчать, що у нас щороку середня річна температура перевищує норму на відповідну кількість градусів. І за останні 20 років не було жодного випадку, коли вона була нижчою за норму. Це говорить про стрімку тенденцію до подальшого потепління. Мине 50 років, і якщо при збереженні нинішніх тенденцій зростання температури ні урядом, ні людьми нічого не буде зроблено для адаптації до кліматичних змін, то Україна матиме серйозні проблеми з продовольством. Адаптувати технології, адаптувати сорти, готувати людей до зміни клімату має бути загальнодержавним завданням. Перш за все вкрай необхідна розробка успішного прогнозу змін клімату України. У розгляді прогнозів, які містять деякі попередження про несприятливий розвиток подій, рішення потрібно приймати, не чекаючи поки настане цілкова ясність подій. Слід відмітити, що кінцева ясність взагалі може наступити занадто пізно.

Уже зараз стали частіше проявлятися на території України збільшення кількості небезпечних і стихійних метеорологічних явищ [6–9, 13, 22, 37, 48, 53, 54, 58, 59, 66, 72, 75, 90, 91, 93, 95, 97, 102–104]. Екстремальність погодних умов в Україні визначається різкими змінами температури повітря, які супроводжуються сильними зливовими опадами й штормовими вітрами, а також виникненням посух [10]. Щоб зрозуміти, наскільки погіршуються або покращуються кліматичні умови на території України, необхідно виявити поточні зміни клімату (діагностична оцінка), провести аналіз та порівняльні дослідження стану регіонального клімату, особливо між останніми десятиліттями ХХ та першими ХХІ ст. Виявлення сучасного стану клімату України дозволить поліпшити ефективність емпірико-статистичного прогнозу на найближчі роки (до 2025 р.) та попередити можливі небезпечні метеорологічні умови, які можуть порушити безпеку народногосподарської діяльності, або використати можливі позитивні наслідки потепління.

Отже, при будь-якій ситуації в країні (політичній, економічній) не можна не брати до уваги кліматичний фактор, який на сьогодні не є другорядним. Саме кліматичні умови можуть стимулювати, бути поштовхом до розвитку народного господарства, при врахуванні створення нових технологій вирощування (наприклад, вирощування південних культур, які просуваються на північ, зокрема, вирощування винограду, який до цього часу ріс на території Криму). Але не врахування кліматичних умов (ведення господарства старими методами) може, навпаки, гальмувати умови життєдіяльності людини в Україні. Не кожен регіон може бути самостійним, якщо у нього немає природних передумов до цього і він не пристосувався до нових кліматичних умов в Україні.

4.1. Особливості зміни глобального і регіонального (Україна) клімату у зв'язку з впливом антропогенного фактора

Протягом останніх років досліджуються причини як природних змін і коливань клімату, так і змін і коливань, пов'язаних із впливом антропогенного фактора на атмосферу. Всі фактори РВ на клімат (як природні, так і антропогенні) призводять або до його потепління, або до похолодання; причому просторовий масштаб вказаних впливів змінюється від глобального (збільшення концентрації ПГ, зміни надходження сонячної радіації в результаті зміни сонячної активності) до локального (антропогенні викиди аерозолі, тропосферний озон).

Як було вже сказано, господарська діяльність людини набула таких масштабів, що постає питання про ненавмисний вплив господарської діяльності на клімат.

Найбільш суттєвими факторами антропогенного впливу на клімат, пов'язаними в основному з розвитком енергетики, промисловості, сільського господарства та інших галузей, є такі:

- зміна газового складу атмосфери внаслідок викидів продуктів згорання органічного палива — радіаційно активних малих газових компонентів, таких як вуглекислий газ (CO_2), окис азоту (N_2O), метан (CH_4) і меншою мірою хлористі фторвуглеводні, гідрофторвуглеводні, перфторвуглеводні та інші сполуки;
- зміна аерозольного складу атмосфери внаслідок надходження в неї сажі продуктів згорання у вигляді сполу сірки та інших частинок у результаті впливу на ґрунт та ін.;
- надходження в атмосферу або води суші та океану безпосередньо теплової енергії — теплових викидів (теплове забруднення атмосфери і гідросфери);
- зміни структури та властивостей підстильної поверхні в результаті розорювання великих масивів землі, знищення лісів, меліорації та ін. [62, 74].

Установлено, що з цих факторів антропогенного впливу на клімат основними є збільшення концентрації ПГ та збільшення викидів аерозолів в атмосферу.

Попередні дослідження показали, що зростання вмісту антропогенного аерозолі в атмосфері призводить до зниження припливу радіації. Просторово-часові особливості впливу концентрації аерозолі на клімат потребують додаткових теоретичних досліджень, а також проведення широкомасштабного і довгочасового моніторингу концентрації фізичних і хімічних властивостей аерозолі з допомогою технічних засобів, зокрема супутників.

Слід зазначити, що у представленому аналізі не враховано низку інших антропогенних факторів.

Головним завданням найближчого десятиріччя є проведення коректної інвентаризації джерел і стоків

ПГ всіма країнами світу, що дозволить уточнити оцінки РВ на клімат.

В цілому, РВ на клімат ПГ буде збільшуватись, причому внесок вуглекислого газу в цей вплив становить 50–70%, на частку кожного із ПГ припадає від декількох до 20%. Аерозолі природного і антропогенного походження послаблюють РВ від декількох десятків Вт м^{-2} до $1\text{--}1.5 \text{ Вт м}^{-2}$ [74].

Прогноз зміни концентрації вулканічного аерозолі в атмосфері поки що неможливий, а вміст морського аерозолі й аерозолі пустель буде збільшуватись в результаті зміни клімату. Вміст антропогенного аерозолі в атмосфері буде знаходитися в тісній залежності від інтенсивності згорання органічного палива та ефективності зростання промислового аерозолі.

Експертами МГЕЗК у роботі [109] були зіставлені модельні і спостережувані зміни глобальної температури при врахуванні впливу: перше — таких природних факторів, як сонячна і вулканічна активність; друге — таких кліматоутворюючих антропогенних факторів, як ПГ і сульфатні аерозолі; і третє — сумісної дії природних і антропогенних факторів на температуру. У третьому випадку добре помітний збіг величин, які зіставлялися. Варто зазначити, що тільки впливом природних факторів (сонячна і вулканічна активність) не можна пояснити потепління другої половини ХХ ст., хоч певна відповідність спостережуваних і модельних температур простежувалась до 1950-х років. Використання в якості кліматоутворюючих факторів лише ПГ і сульфатних аерозолів не пояснює високі значення температури в 30-ті та 40-і роки ХХ ст. В цей період, як показують дані досліджень [76], прозорість атмосфери була високою, не було крупних вулканічних вивержень, а сонячна постійна в 1930-ті роки, за розрахунковими даними була в межах норми. Саме ці два фактори і зумовили високі значення температури в зазначений час.

Отже, антропогенний “сигнал” виділяється на фоні природної мінливості клімату, тобто мало ймовірно, що потепління відбувається тільки за рахунок внутрішньої мінливості клімату. Інформація про аргументи і факти на користь сучасного антропогенного потепління міститься в працях академіка В. Ф. Логінова [74], основні з яких такі:

1. Глобальне сучасне потепління клімату виявилось найпотужнішим за всю історію інструментальних спостережень.

2. Швидкість росту глобальної температури в останні 30 років виявилася найвищою за історію інструментальних спостережень. Хоча зростання температури поверхні Світового океану з 1910 по 1945 р. було наближене до сучасного і сягало близько 0.5°C .

3. Переважна кількість найбільших середньоріч-

них аномалій температури припадає на останні 30 років. Згідно з даними спостережень найтеплішими роками після 1860 р. були 1998, 2005, 2007, 2010 рр. З 1976 р. середня глобальна температура зросла майже в тричі швидше, ніж за останні 100 років.

4. Максимальний ріст температури відмічається в континентальних районах, що узгоджується з теорією парникового потепління клімату. На материках створюються більш сприятливі умови для засвоєння довгохвильової радіації у порівнянні з короткохвильовою. Тому потепління повинно бути більш інтенсивним в центрі материка, особливо взимку і вночі, коли послаблюється вертикальна конвекція. На океанах поглинання прямої сонячної радіації відбувається в поверхневому шарі води вдень, а довгохвильової — в поверхневій плівці, що стимулює ріст випаровування, а отже — зниження температури води поверхні океану.

5. Льодовитість Північно-Льодовитого океану і маса льодовиків сильно зменшилась за останні 20 років. У 2008 і 2009 рр. льодовитість Арктики збільшилась.

6. Модельні розрахунки показують, що при підвищенні вмісту ПГ в атмосфері вертикальні температурні профілі повинні змінюватися таким чином, що потепління має бути більш вираженим у нижній частині тропосфери; при цьому активізується вихолодження в стратосфері, що підтверджують експериментальні дані [69].

7. В останні 30 років відмічається інтенсивне зростання вмісту ПГ в атмосфері. Найбільш повні експериментальні дані і модельні оцінки, які представлені в доповідях МГЕЗК, свідчать, що ПГ є важливим фактором сучасного потепління клімату.

Однією із суперечностей в теорії зміни регіонального клімату України під впливом антропогенного фактора є те, що немає зв'язку потепління клімату в Україні безпосередньо з викидами ПГ на території держави. Зміна клімату в Україні має зв'язок з циркуляцією, яка діє в Атлантико-Європейському секторі. Додатні і від'ємні відхилення температури від "норми" обумовлені синоптичними процесами, характерними для Атлантико-Європейського типу циркуляції. Віковий розріз зміни і коливання атмосферної циркуляції в Атлантико-Європейському регіоні розглянуто у багатьох наукових працях В. Ф. Мартазінової [62, 86, 82–87]. В основу їх покладено фізико-статистичний метод дослідження фактичних полів атмосферного тиску на рівні моря від десятиріччя до десятиріччя протягом XX ст. та на початку XXI ст. у зоні помірних широт. Існує величезний архів даних з синоптичних полів атмосферної циркуляції для будь-якої доби за багаторічний період (понад 100 років). У межах кожного десятиріччя виявлено еталони синоптичних процесів на цій території, які й формують в основному клімат відповідного десятиріччя. Еталон синоптичних процесів останнього десятиріччя пов'язаний з великою областю високого тиску субтропічного походження над Європою. Досить вірогідне

підвищення температурного і посушливого режиму останніх десятиріч взимку і влітку на території Європи є результатом дії цього антициклону [62].

Можна вважати, що причина потепління останніх років в Україні полягає, поряд з природним фактором, у глобальному парниковому ефекті, в який наша країна також зробила свій внесок. Але реалізується глобальний антропогенний фактор через циркуляцію повітря. Що стосується регіонального антропогенного фактора в Україні, то він формується довготривалим веденням господарської діяльності на її території. Його вплив проявляється в масштабах мікроклімату — це вплив штучних водосховищ, меліорації. Найсуттєвіший вплив на клімат України має урбанізація. Згідно з оцінками [47], місто з населенням 1 млн. чоловік щодня виробляє 25 тис. т двоокису вуглецю. Викидів тепла і ПГ міста достатньо, щоб змінити місцеву циркуляцію. Але на рівні широкомасштабної циркуляції цей вплив не є суттєвий. Глобальний антропогенний фактор плюс регіональний антропогенний фактор значною мірою змінюють умови життєдіяльності людей [106].

Слід зазначити, що термінове і різке припинення викидів ПГ не зупинить повністю впливів, викликаних змінами клімату. Антропогенні зміни клімату будуть зберігатися протягом багатьох десятиліть, а можливо, і декількох століть, оскільки час життя ПГ становить багато десятків і навіть декілька сотень років [74, 76]. Кліматична система реагує на зміни рівня концентрації ПГ із запізненням, що частково пояснюється тепловою інерцією океанів. Минулі і теперішні викиди вже є передумовами, як мінімум, деяких кліматичних змін на Землі у XXI ст. Природні екосистеми і людство відчують на собі всі масштаби і темпи цих змін. Тому хоч боротьба з викидами має виняткове значення, її потрібно доповнювати роботою з питань адаптації, направленою на зниження до мінімуму нанесених збитків.

Одним з проявів нових стратегій соціального розвитку стали дії міжнародного співтовариства щодо пом'якшення антропогенного впливу на зміну клімату, створення нової міжнародної співпраці та нових інституцій для управління процесом такого співробітництва, зокрема кількісні зобов'язання по скороченню викидів ПГ для промислово розвинутих країн і країн з перехідною економікою [63, 110]. Слід зазначити, що перерозподіл квот Кіотського протоколу не зупинить зміну клімату, потрібно кардинально зменшити глобальні викиди парникових газів, оскільки кліматичній системі байдуже, в якій точці планети викинуті парникові гази.

Активна участь України в розробці проектів спільного впровадження, створення відповідної організаційної структури різних рівнів дозволить Україні не тільки брати участь у розв'язанні цієї глобальної екологічної проблеми, а й досягти успіхів на шляху сталого розвитку, ввійти до провідних технологічно розвинутих країн світу.

Висновки

На підставі викладеного можна стверджувати таке. Проблема зміни клімату в Україні може бути пов'язана з рядом соціальних, економічних питань нашої держави. Одним із головних повинно бути питання з мінімізації впливу на складову природного середовища — клімат.

4.2. Поточні зміни клімату в Україні

4.2.1. Регіональні особливості зміни температури повітря

У роботі використані дані інструментальних спостережень за температурою повітря у поверхні землі мережі наземних метеорологічних станцій України з 1901 по 2014 р. Було проаналізовано бази даних більшості станцій та зроблено висновки про можливість їх використання для вивчення зміни клімату (всього 60 станцій). З них лише дані 18 станцій проводять спостереження понад 113 років. З 1951 по 2013 р. використовувалось 60 станцій.

На території України процес потепління досить активний. Регулярне спостереження за температурою повітря із року в рік, в Україні з 1901 р., дає можливість зробити статистично обґрунтовану характеристику схожості вікового ходу річної глобальної і регіональної температур повітря. Криві багаторічного ходу температури повітря в Україні за 113 років мають спільні риси з багаторічним глобальним ходом температури повітря. Можна припустити, що температура вийде на плато, припинить збільшуватися, але що вона буде знижуватися, цього не передбачається.

На рис. 4.1 це візуально добре простежується. По осі ординат наведена температура повітря у відхиленнях від кліматичної норми (1961–1990 рр.), по

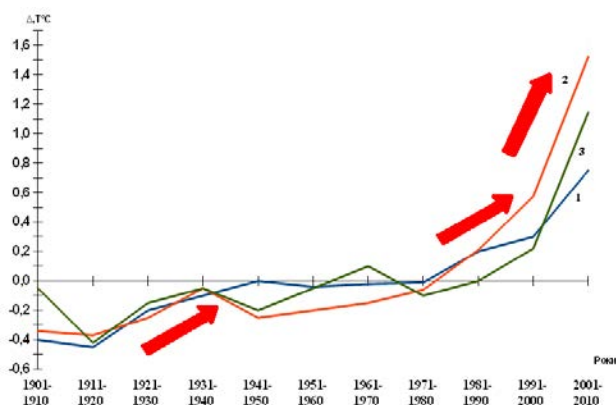


Рис. 4.1. Відхилення річної температури повітря (°C) від кліматичної норми по десятиріччях за період 1901–2010 рр.: 1 — глобальна, 2 — регіональна (Зона мішаних лісів, Зона широколистяних лісів, Лісостепова зона), 3 — Степова зона

Підтверджено, що кліматичні процеси в Україні є складовими як природних, так і антропогенних процесів у глобальній кліматичній системі. Що стосується антропогенних факторів, то найнебезпечнішими є ті, які впливають на склад атмосферного повітря і зумовлюють зміну складових радіаційного і теплового балансу Землі.

осі абсцис (роки з 1901 по 2013 р.) — по десятиріччях. В полі графіка представлено три криві: 1 — глобальна, 2 — регіональна (сюди входить три природні зони: Зона мішаних лісів, Зона широколистяних лісів та Лісостепова зона) і 3 — Степова зона, так як в широтах, де розміщена Степова зона, процес потепління відбувався менш інтенсивно (рис. 4.1).

Добре простежується характеристика сучасної зміни клімату за даними декількох часових періодів зміни глобальної і регіональної (Україна) температури повітря у XX–XXI ст. Перший етап активного глобального потепління в Україні почався з 1911 і досяг найбільшої інтенсивності в 30-х роках. Починаючи з 50-х років глобальний клімат перебував у відносному “спокої”. З 70-х років у глобальному і регіональному масштабах процес потепління відбувався інтенсивніше, ніж в попередні роки. З 1991 р. спостерігалася активізація глобального і регіонального потепління. Це не було несподіванкою, так як передбачалося в роботах [21, 50]. В останні десять років XXI ст. простежується стрімкий ріст температури у порівнянні з усім попереднім часом спостережень.

До 2000 р. річна регіональна температура повітря розрахована авторами по 18 довгорядних станціях, хоча вона наводилася і в друкованих виданнях [12, 19, 62]. Зараз цей графік продовжений ще 10 роками і доповнений більшою кількістю станцій, що дозволило констатувати: 1) підтверджено раніше отриманий висновок, що з 1975 р. в Україні потепління відбувається великими темпами і для нашої країни воно є більш значущим, ніж в інших країнах; 2) до 2000 р. інтенсивність потепління в Степовій зоні була дещо менша, ніж в інших природних зонах. Починаючи з 2001 по 2012 р. вона вирівнюється з ними. Тому в подальшому можна уже в регіональну криву включати всі чотири фізико-географічні зони України. Тобто, потепління охопило і південні широти України; для нас Степова зона — це зерновий район, де може бути постійна засуха.

При ВМО існує МГЕЗК, яка займається як діагнозом клімату, так і його прогнозом. В цю групу входять авторитетні вчені, які досліджують питання фізики атмосфери. Глобальна крива температури повітря не викликає недовіри [110], вона узгоджується з даними МГЕЗК.

На рис. 4.2 одночасно наведено графіки динаміки глобальної температури та температури повітря за природними зонами України від десятиріччя до десятиріччя, що дає можливість прослідкувати наслідки змін клімату з урахуванням природних особливостей території. Аналіз графіків показує, що з десятиріччя 1970–1980 рр. фіксується початок потепління на території України, а з 1990 р. відбувається інтенсивне потепління у всіх природних зонах.

Що стосується Криму, то вказана закономірність також простежується, але значення величини відхилення температури повітря менше в 2–3 рази, ніж в інших природних зонах України. Незначний ріст потепління в Криму можна пояснити зростанням потепління у Степовій зоні, що розміщена північніше, впливом моря, яке дещо гасить потепління, та географічним розташуванням півострова (рис. 4.2).

Зовсім не очікувалось потепління у регіоні Карпат. Слід зазначити, що в горах, з синоптичної точки зору, процеси дуже складні. Також у Карпатах діє такий антропогенний фактор регіонального масштабу, як вирубка лісів. Не ясно, як зміни клімату ведуть себе зі збільшенням висоти, це потребує окремого дослідження. Можна зробити висновок, що глобальне потепління перебиває деякі регіональні особливості. Потрібно буде перевірити ці результати на більш однорідному і доповненому матеріалі, так як результати регіонального потепління в Україні до цього часу перевірялися тільки на рівнинній території (рис. 4.2).

Все це ще раз підтверджує, що вся ця ситуація є реальною, потепління відбувається у будь-якому ре-

гіоні, набирає широких масштабів і інтенсивність його відрізняється зовсім незначно. Значення потепління на території України у всіх природних зонах, крім Криму, перевищують глобальні значення (рис. 4.2).

Для отримання кількісних характеристик змін клімату в цілому за 113 років (діагноз зміни клімату) було використано статистичний метод побудови тренду (тенденції).

Для визначення тенденції в ряду метеорологічних величин на межі XX та XXI ст. використано такий метод [63]. Часовий ряд Y_k — значення певної величини (в нашому випадку температури та опадів) в послідовні моменти часу τ_k можна представити у вигляді суми трьох складових:

$$Y(\tau_k) = f_0(\tau) + f_p(\tau) + \varepsilon(\tau) \quad (4.1)$$

де $Y(\tau_k)$ — значення величини у послідовні моменти часу $K = 0, N-1$; $f_0(\tau)$ — детермінована зміна, тобто тренд; $f_p(\tau)$ — періодична компонента; $\varepsilon(\tau)$ — випадкова складова, або “шум”. Слід зазначити, що детермінована складова $f_p(\tau)$ може складатися з трендів і довгоперіодичних коливань із довжиною хвилі більшою, ніж довжина ряду.

На рис. 4.3 представлено багаторічний хід температури повітря в Україні за період 1900–2013 рр. За 113 років за трендом в Зоні мішаних лісів, зоні широколистяних лісів, Лісостепу температура становить 0.8–1°C, в Степовій зоні — близько 0.5°C у бік потепління. В кожне десятиліття температура підвищувалася на 0.1°C. Хоча у більшості станцій за останнє десятиріччя температура збільшувалася на 0.3°C.

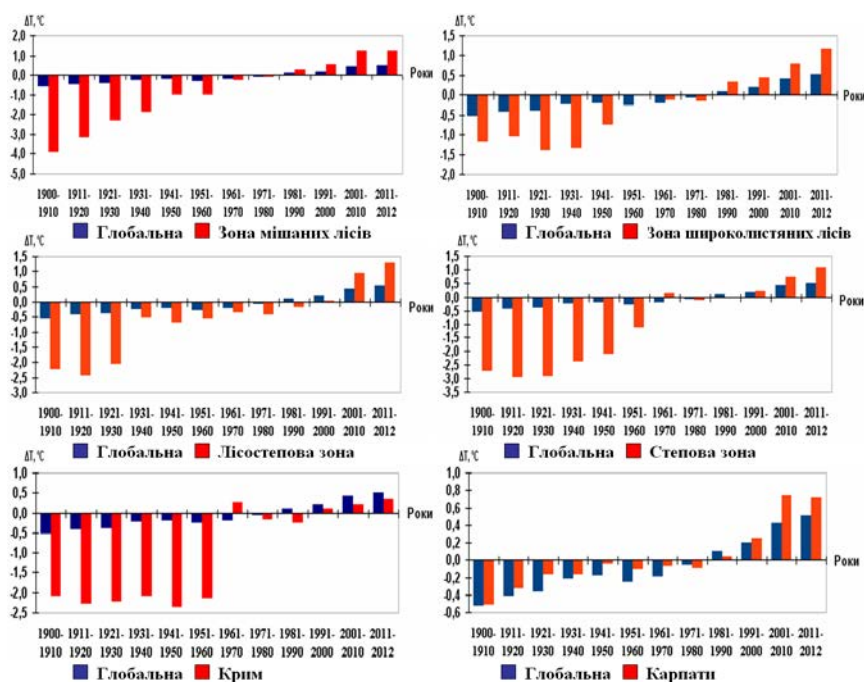


Рис. 4.2. Відхилення річної температури повітря (°C) від кліматичної норми по десятиріччям у період 1901–2012 рр. за природними зонами України

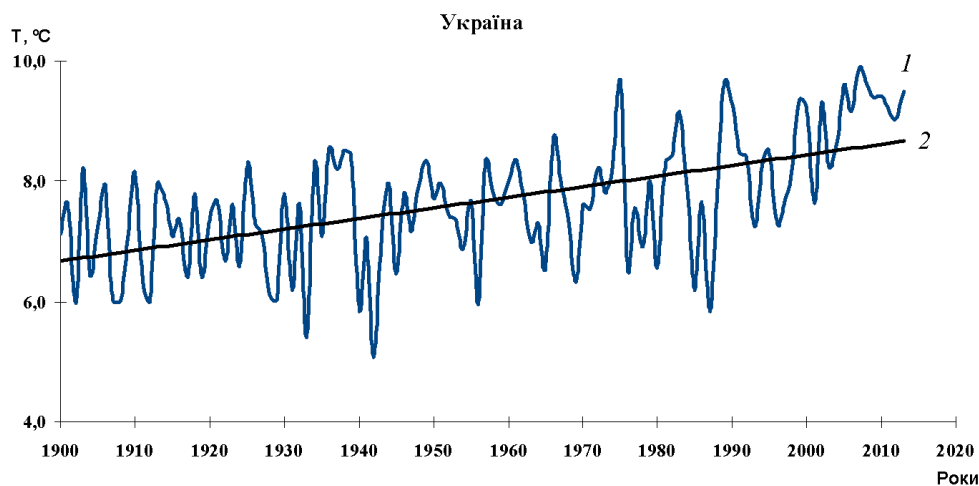


Рис. 4.3. Багаторічний хід річної температури повітря (°C) в Україні. 1 — фактичний хід; 2 — віковий хід (тренд)

Слід зазначити, що для території України прояви змін глобального клімату у всіх районах підсилюються за рахунок внутрішніх факторів: зміни ландшафтів внаслідок багатовікової господарської діяльності, сучасної зміни водних ресурсів меліорацією, процесів урбанізації.

Враховуючи, що одним із вагомих механізмів, що приводять до спостережуваного нині глобального потепління, є наслідок підвищення в атмосфері кількості ПГ, окремо було розглянуто зміни температури з початку “індустріального” періоду і до сьогодення часу, розрахунки велись по більшій кількості станцій. Похибка площинного осереднення незначна близько — 0.1°C . Також потрібно відмітити, що значний внесок зроблено за останнє десятиріччя ХХІ ст., оскільки регіональна температура досягла найбільшого значення за весь період спостережень.

У табл. 4.1–4.5 наведені дані, зняті з кінців тренду (Δt , $^{\circ}\text{C}$), за якими обчислювалась зміна річних температур, та за сезонами.

Як показали дані розрахунків за “індустріальний” період, в Україні всі сезони з додатною аномалією. Якщо порівняти тренди зміни річної температури повітря за всі 113 років та за періоди 1951–2013 та 2001–2013 р. то слід відмітити, що закономірності 113-річного періоду збереглися і на більш коротких рядах. Але наведені кількісні оцінки зміни температурного режиму за різні періоди 113, 60 та 10 років правомірні лише для

кожного з цих періодів і, зрозуміло, не є однаковими. В цілому, в Україні відбувається детерміноване зростання температури повітря за весь час інструментальних спостережень.

З огляду на специфічні кліматичні особливості першого десятиліття ХХІ ст. для спрощення процедури порівняння по природних зонах подані відхилення температури повітря (Δt , $^{\circ}\text{C}$) від норми за сезонами (табл. 4.5а).

Аналіз даних, наведених в табл. 4.5а, показує, що потепління охопило всі сезону року, особливо різке потепління в літній період. Значно стала теплішати осінь, зима у порівнянні з останнім 10-річчям ХХ ст. стала менш швидко теплішати, тобто це підтверджує, що потепління в ХХІ ст. йде за рахунок літнього періоду.

Для об'єктивнішої кількісної оцінки змін клімату проведено дослідження з аналізу аномально теплих місяців, років, наведено повторюваність холодного і спекотного літа, а також поставлено дискусійне питання про повторюваність і можливі причини формування холодних і теплих зим в Північній півкулі та в Україні за період інструментальних спостережень.

Отриманий результат (табл. 4.6–4.8) був пророблений за допомогою розробленої програми та наведений для аномально холодних та аномально теплих років для всієї України з 1900 по 2013 р. за 54 станціями (у перспективі для визначення змін ми можемо зробити це дослідження для кожної зони).

Таблиця 4.1.

Зміна річної температури повітря (Δt , $^{\circ}\text{C}$), за період 1951–2013 рр. по території України, розрахованої за лінійним трендом для різних вибірок

Природні зони	Δt , $^{\circ}\text{C}$ за 10 років	Δt , $^{\circ}\text{C}$ за 60 років
Зона мішаних лісів	0.2	1.6
Зона широколистяних лісів	0.2	1.5
Лісостепова зона	0.3	1.8
Степова зона	0.1	0.8
Крим	0.01	0.1
Регіон Карпат	0.1	0.6

Таблиця 4.2.Зміна температури повітря (Δt , °C) зимою, за період 1951–2013 рр. по території України, розрахованої за лінійним трендом для різних вибірок

Природні зони	Δt , °C за 10 років	Δt , °C за 60 років
Зона мішаних лісів	0.2	1.2
Зона широколистяних лісів	0.4	2.4
Лісостепова зона	0.3	1.8
Степова зона	0.1	0.6
Крим	0.1	0.6
Регіон Карпат	0.1	0.6

Таблиця 4.3.Зміна температури повітря (Δt , °C) весною, за період 1951–2013 рр. по території України, розрахованої за лінійним трендом для різних вибірок

Природні зони	Δt , °C за 10 років	Δt , °C за 60 років
Зона мішаних лісів	0.4	2.4
Зона широколистяних лісів	0.5	3
Лісостепова зона	0.5	3
Степова зона	0.2	1.2
Крим	0.1	0.6
Регіон Карпат	0.3	1.8

Таблиця 4.4.Зміна температури повітря (Δt , °C) літом, за період 1951–2013 рр. по території України, розрахованої за лінійним трендом для різних вибірок

Природні зони	Δt , °C за 10 років	Δt , °C за 60 років
Зона мішаних лісів	0.2	1.2
Зона широколистяних лісів	0.2	1.2
Лісостепова зона	0.2	1.2
Степова зона	0.1	0.6
Крим	0.2	1.2
Регіон Карпат	0.2	1.2

Таблиця 4.5.Зміна температури повітря (Δt , °C) осінню, за період 1951–2013 рр. по території України, розрахованої за лінійним трендом для різних вибірок

Природні зони	Δt , °C за 10 років	Δt , °C за 60 років
Зона мішаних лісів	0.1	0.6
Зона широколистяних лісів	0.2	1.2
Лісостепова зона	0.2	1.2
Степова зона	0.1	0.6
Крим	0.1	0.6
Регіон Карпат	0.04	0.3

Таблиця 4.5а.Відхилення температури повітря (Δt , °C) за період 2001–2013 рр. по сезонах за природними регіонами України

Природні зони	Зима	Весна	Літо	Осінь
Зона мішаних лісів	0.62	1.20	1.65	0.76
Зона широколистяних лісів	0.87	1.26	1.70	0.74
Лісостепова зона	1.45	1.79	2.09	1.28
Степова зона	1.15	1.32	1.90	1.42
Крим	0.46	0.82	1.43	0.48
Регіон Карпат	0.73	0.31	1.59	0.73

Таблиця 4.6.

Аномально холодні та аномально теплі роки для всієї території України

Аномально холодні роки											
Місяці											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1947	1911	1928	1929	1912	1933	1912	1926	1959	1912	1902	1902
1950	1922	1929	1931	1980		1979	1976	1996	1946	1908	1927
1954	1932	1932	1933				1987	1997	1947	1914	1933
1963	1954	1952	1955						1951	1953	1963
1972	1956	1963	1965						1959	1956	2001
1987	1985	1985	1987						1976	1988	2002
		1987								1993	
										1998	

Аномально теплі роки											
Місяці											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2007	1989	1989	1950	1979	1901	1936	1929	1909	1909	1923	1960
	1990	1990	2000	1996	1924	1938	1946	1924	1929	2010	2011
	1995	2002		2003	1946	1959	1992	1937	1935		
	2002	2007		2013	1954	1999	2007	1994	1966		
		2008			1964	2001	2010		2012		
					1999	2002					
					2013	2010					

Таблиця 4.7.

Температура літніх місяців і літа в цілому (у випадку холодного літа) за період інструментальних спостережень (°C)

Роки	Температура літніх місяців			Середня температураліта
	Червень	Липень	Серпень	
1911	16.7	19.25	19.54	18.5
1912	18.64	18.27	18.68	18.53
1913	16.39	18.97	19.98	18.45
1925	16.25	20.4	19.06	18.37
1928	16.08	21.11	17.85	18.35
1933	15.92	20.04	18.05	18
1949	16.78	19.74	18.9	18.47
1973	17.56	20.16	17.99	18.57
1974	17.38	18.81	19.43	18.54
1976	16.77	18.6	17.02	17.46
1977	17.7	19.26	18.23	18.4
1978	16.76	18.35	17.96	17.69
1980	17.45	19.48	17.88	18.27
1982	17.11	18.77	19.79	18.56
1984	16.95	18.73	18.3	17.99
1990	17.37	19.77	18.96	18.7
1993	16.75	18.62	18.8	18.06

Таблиця 4.8.

Температура літніх місяців і літа в цілому (у випадку спекотного літа) за період інструментальних спостережень (°C).

Роки	Температура літніх місяців			Середня температура літа
	Червень	Липень	Серпень	
1901	21.8	21.32	13.6	21.34
1905	19.78	21.4	15.87	20.92
1936	18.94	23.98	13.8	20.91
1938	19.21	23.38	16.05	21.55
1939	19.71	22.13	14.71	20.97
1946	21.38	21.27	16.36	21.71
1953	20.15	21.77	14.54	20.83
1954	21.43	21.25	17.09	21.35
1972	20.68	22.49	14.14	21.53
1975	21.21	21.15	16.96	20.83
1999	21.95	23.42	15.76	21.77
2001	16.97	24.72	14.85	20.91
2002	18.94	24.06	15.43	21.18
2003	20.84	22.62	15.46	22.04
2007	20.66	22.34	16.7	20.87
2009	21.34	23.89	15.52	23.17
2010	20.37	22.57	16.18	21.1
2011	20.99	25.79	16.8	22.79
2012	24.56	21.14	13.17	22.31

Наведено формули [5], які використані в наших дослідженнях (етап 1) та критерії для визначення типу років (етап 2).

Етап 1:

Середнє арифметичне:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (4.2)$$

де t_i — значення досліджуваного параметру, N — кількість спостережень.

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}{N}} \quad (4.3)$$

де $\bar{t}$ — середнє арифметичне, σ — середнє квадратичне відхилення.

Етап 2:

Критерії визначення років:

- $\bar{t} - \sigma \leq t \leq \bar{t} + \sigma$ *нормальні (близькі до середньої багаторічної характеристики);*
- $\bar{t} + \sigma < t < \bar{t} + 2\sigma$ *теплі;*
- $\bar{t} - 2\sigma < t < \bar{t} - \sigma$ *холодні;*
- $t \geq \bar{t} + 2\sigma$ *аномально теплі;*
- $t \leq \bar{t} - 2\sigma$ *аномально холодні.*

Представлена авторська програма О. А. Апостолю, що була розроблена на мові програмування Delphi для автоматизованого розрахунку аномальних років, сезонів, місяців. На рис. 4.4 зображено зовнішній вигляд програми.

Для роботи програми було сформовано зовнішні файли: 1) "help_nazva_station.txt" та 2) файли в форматі "ST_N.txt", де N — номер станції. В першому файлі "help_nazva_station.txt" вказано кількість станцій, що використовуються в дослідженні, номер за порядком та унікальний номер станції. Кожна метеостанція, що використовувалась в дослідженні, отримала свій унікальний номер, наприклад, метеостанція в Вінниці має номер 1. За допомогою цього файлові "help_nazva_station.txt" можна проводити дослідження для різної кількості метеостанцій, групувати їх за кліматичними зонами або за іншими критеріями. Для всіх станцій було створено єдиний формат, який стосується як назви файлу, так і його змісту. Назва файлів в форматі "ST_N.txt", де N — номер станції, дозволяє програмі автоматично знаходити потрібну станцію за унікальним номером з файлу "help_nazva_station.txt". Крім того, всі файли в форматі "ST_N.txt" мають однаковий формат, що дозволяє без перешкод обробляти вхідні дані по кожній станції, що приймає участь в процесі аналізу.

Після того, як в програму введено файл "help_nazva_station.txt", наступним кроком є розрахунок необхідних параметрів за методикою. Розрахунки проводяться як для окремої станції, вираховуються для кожного місяця роки, які є нормальними, теплими, холодними та аномальними, так і для всієї України, тобто для всіх станцій, що використовують-

ся в дослідженні. Також у програмі реалізовано розрахунок аномальних років за температурою для сезонів року. Розрахунок аномальних років для сезонів року був зроблений в напівавтоматичному режимі, оскільки не зовсім формалізовані правила для визначення цих років. Тому було вирішено для визначення аномальних років для сезонів обрахувати усереднені значення для кожного місяця кожного року за сезон та стандартне відхилення за сезон. Знаючи ці дані, вже в програмі Excel проводилось кінцеве визначення аномальних років у сезони.

Вихідні файли зроблені в форматі, зручному для інтегрування в програму Excel, де й створюються кінцеві таблиці.

Виявлено, що в зв'язку з трендом зміни температури з 1990 р. для теплих років збільшуються T_{cr} , тому роки, які були раніше аномально теплими, зараз не входять в аномальні, тобто при потеплінні не спрацьовує кліматична норма.

На рис. 4.5 наведені дані за 30-річні періоди, в тому числі і нині діюча стандартна кліматична норма (1961–1990 рр.). На рис. 4.5 видно, що незначні глобальні зміни клімату відобразились на кліматичній нормі. Середньобаторічна величина змінилась на 0.2°C .

Як уже зазначалось, сучасне потепління почалося з 1998 р. і характеризується дуже теплою зимою. Потепління в цьому році було виражене і на території України. В зміні температур у ХХІ ст. в останні роки намітилася тенденція до підвищення температури не тільки в холодну пору року, але і літом, особливо в другу половину літа. Дуже теплими виявилися 1991, 2000, 2010 рр.

Дискусійним при сучасному глобальному потеплінні є повторюваність суворих зим, тому що їх виникнення важко інтерпретувати, виходячи з парникової природи минулого, відомого, як потепління Арктики, та теперішнього потепління клімату. Не зважаючи на рекордне середнє потепління протягом десятиліть, хвилі холоду все таки залишаються причиною сильних страждань населення в багатьох країнах. В результаті збігу екстремальної від'ємної фази Арктичного коливання і Північно-Атлантичного коливання (ПАК) Північна півкуля пережила екстремальні зимові умови з грудня 2009 по лютий 2010 р. В результаті тривалого періоду холоду і снігопадів в Європі було зареєстровано понад 450 смертних випадків. Зима 2009/2010 рр. була також виключно холодною в Росії, Північній Америці (особливо США) і в деяких частинах Азії. Інші потоки холоду спостерігалися в Болівії в 2004 р., південній частині Африки в 2002 і 2007 рр., Перу в 2003 р., Марокко і Алжирі в 2005 р., Австралії в 2005 р., Азії в [46].

В Україні, не зважаючи на стрімкий процес потепління в зимовий сезон нерідко створюються умови для формування низької температури повітря (мінус 10°C і нижче). Таке зниження температури для умов території України вважається особливо

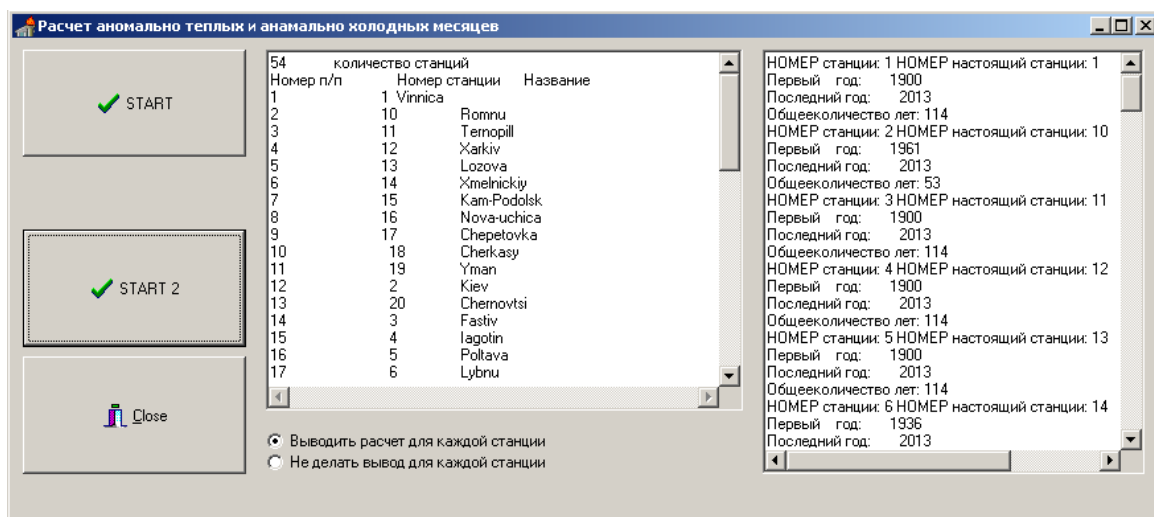


Рис. 4.4. Зовнішній вигляд програми, розробленої О. А. Апостоловим для автоматизованого розрахунку аномально холодних та аномально теплих років

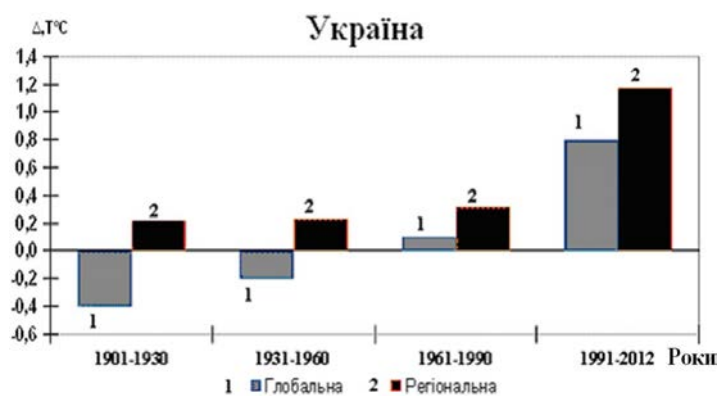


Рис. 4.5. Відхилення річної температури повітря (°C) від кліматичної норми за 30-річними періодами з 1901–2012 рр.: 1 — глобальна, 2 — регіональна по рівнинній частині України

небезпечним явищем для сільського господарства.

Найбільш детально дослідження суворих зим на території Північної півкулі, зокрема колишнього Радянського Союзу, виконав Б. І. Сазонов. Він розглянув не тільки повторюваність суворих зим, але і причини формування та можливості довготермінованого їх прогнозування. Ним зроблено висновок, що для суворих зим характерні регіональні циркуляційні умови формування [100].

У сучасний час на пострадянському просторі такі дослідження проводяться у сусідній з Україною державі Білорусь академіком В. Ф. Логіновим [74, 76]. Результати цих робіт можна використовувати для зіставлення та порівняння результатів дослідження, отриманих в даній роботі.

Розглянемо повторюваність зим на території України за період інструментальних спостережень з 1901 по 2013 р. Приймаючи до уваги площу України і тісну кореляцію (коефіцієнт просторової кореляції $r = 0,9$) середньомісячних і середньорічних температур, наведемо осереднену за метеорологічними станціями температуру повітря в Україні за

кожний із зимових місяців за період інструментальних спостережень (1901–2013 рр.) (табл. 4.9).

В розрахунок входили зими, що як мінімум на 2°C були холодніші нормальної зими, а середня температура яких за період інструментальних спостережень становила мінус 3.44°C. Перевищення температури холодної зими на 1.94°C відповідає величині одного середньоквадратичного відхилення температури зими. Аналіз показав, що за весь період інструментальних спостережень в Україні було зафіксовано 17 холодних зим; число холодних зим розподілено нерівномірно: виділяється період часу з 1923 по 1934 р., на який припадає п'ять холодних зим, та період часу з 1962 по 1969 р. — три холодні зими, за період 1908–1911, 1953–1956, 1984–1987 рр. — по дві холодні зими; 1946–1947, 1995–1996, 2002–2003 рр. — по одній холодній зимі.

Аналіз зв'язків всередині ряду температур зимових місяців показує, що в більшості випадків, коли спостерігалися холодні зими, за холодним січнем слідував холодний лютий (в 11 із 17 випадків). Це може дозволити прогнозувати, що лютий 2015 р.

буде холодним. Таких перевірених тісних зв'язків всередині ряду грудня і січня немає. Тільки приблизно в половині випадків після холодного грудня слідував аномально холодний січень. Приблизно в семи випадках із 17 за груднем, температура якого була вище або близько до норми, слідував холодний січень (1923, 1928, 1953, 1962, 1986, 1969, 1995 рр.).

В цілому суворість зими більшою мірою визначається температурою центрального місяця зими — січня. Саме для цього місяця притаманні характерні синоптичні процеси для зимового сезону. Для більшості станцій, використаних у дослідженні, січень був найхолоднішим місяцем. А для аномально холодних зим середні значення січня і лютого майже однакові, навіть лютий більш аномальний. В середньому січень під час холодних зим нижче свого середньомісячного значення на 3.18°C , лютий — на 4.19°C , грудень — на 2.05°C у порівнянні з середніми значеннями температури повітря у вказані місяці за весь період спостереження. Ранжирування зим, яке базується тільки на середній температурі зими не є вичерпним показником суворості зими.

Певний інтерес становить аналіз стійкості середньомісячних від'ємних зимових аномалій та їх величин.

Найбільш суворою може вважатися зима, коли температури всіх трьох місяців були нижче норми і хоча би в двох зимових місяцях від'ємні відхилення температури від норми 1.5 середньоквадратичних стандартних відхилень σ . Середньоквадратичне відхилення температури грудня, січня і лютого дорівнює відповідно 2.56, 2.80 і 1.97. Але слід зазначити, що у нас менше граничне значення норм середньоквадратичного відхилення у порівнянні з запропонованими у методиці значеннями та результатами, які отримав академік В. Ф. Логінов (Білорусь). Тому у нас виявилось більше років, які можуть подолати граничне значення. До суворих

зим можна з досить достатньою підставою віднести і зими, коли хоча б один із місяців був екстремально холодним (аномалія температури 2σ). Беручи до уваги ці обставини, до суворих зим можемо віднести 1953–1954 (грудень, січень), 1984–1985 (січень, грудень), 1908–1909 (грудень), 1946–1947 (січень, грудень), 1962–1963 (січень), 1963–1964 (січень, грудень), 1927–1928 (грудень) роки.

Розглянемо розподіл зим по фазах глобального потепління клімату. Як відомо, зміни глобальної температури за період інструментальних спостережень мають три 60–70-річні коливання. Максимум першого 60–70-річного коливання припадає на 70-ті, другого — на початок 40-х років минулого століття [74]. Останній максимум, як уже відмічалось вище, спостерігався в кінці 90-х років ХХ–на початку ХХІ ст. Аналіз холодних зим в Україні показав, що сім холодних зим припало на висхідну гілку другого циклу (1910–1945 рр.), шість холодних зим — на спадну гілку другого циклу (1946–1975 рр.), чотири — на висхідну гілку останнього 60–70-річного циклу, тобто на роки, коли відбувалося найінтенсивніше підвищення температури Північної півкулі (1976–2007 рр.). Ці результати показали, що більша кількість холодних зим припала на період потепління Арктики (1910–1945 рр.). Особливо холодні зими відмічалися в роки, коли воно досягало свого максимуму.

Такий розподіл холодних зим за період інструментальних спостережень можна вважати парадоксальним. Холодні зими 1984–1985, 1995–1996, 2002–2003 рр. також припали на період сучасного інтенсивного глобального потепління і потепління у високих широтах. Попереднє потепління клімату, відоме, як потепління Арктики, також супроводжувалось холодною зимою в Україні (1927–1928 рр.).

Розглянемо можливі причини формування холодних зим в Україні. За дослідженнями В. Ф. Логінова

Таблиця 4.9.

Температура зимових місяців і зими в цілому (у випадку холодних зим) за період інструментальних спостережень ($^{\circ}\text{C}$).

Роки	Температура зимових місяців			Середня температура зими
	Грудень	Січень	Лютий	
1953–1954	–3.94	–11.4	–13.5	–9.6
1984–1985	–4.35	–7.42	–12.1	–7.94
1928–1929	–1.94	–7.03	–14.4	–7.8
1908–1909	–5.73	–8.29	–7.8	–7.27
1946–1947	–5.11	–9.94	–5.59	–6.88
1963–1964	–6.1	–7.8	–6.65	–6.85
1962–1963	–3.37	–12.7	–4.43	–6.82
1927–1928	–7.65	–5.12	–7.38	–6.72
1995–1996	–4.86	–8.29	–6.15	–6.43
1986–1987	–3.25	–11.6	–4.16	–6.34
2002–2003	–7.86	–3.71	–7.14	–6.23
1968–1969	–2.79	–8.89	–6.56	–6.08
1923–1924	–1.53	–9.06	–6.68	–5.76
1910–1911	–0.71	–5.89	–10.4	–5.67
1955–1956	1.67	–2.97	–12.3	–5.63
1930–1931	–4.04	–5.21	–7.35	–5.53
1933–1934	–7.61	–5.55	–3	–5.39
Середня температура зимових місяців і зими в цілому	–4.1	–7.7	–8.0	–6.6

переважна кількість холодних зим збіглася з низькими значеннями індексу ПАК в грудні-березні [74]. Ці результати можна пояснити так: низькі значення індексу ПАК відповідають за слабе переміщення теплого і вологого повітря з Північної Атлантики на територію України зимою, а отже сприяють формуванню холодних зим. Виняток склали зими 1908–1909 і 1910–1911 рр., коли значення індексу ПАК було суттєво вище норми. Слід зазначити, що не завжди мінімальне значення індексу ПАК забезпечує відповідні умови для формування холодних зим в Україні. Так в 1936, 1948 рр. спостерігалися низькі значення індексу ПАК, але холодних зим не було.

Теплі зими в самому кінці 80–90-х років минулого століття та перші роки ХХІ ст. припадали на високі значення ПАК, особливо високі значення яких відмічалися в 1989–2000 рр.

При ослабленні ПАК у високих широтах Північної півкулі спостерігалася підвищення тиску. Холодні сухі масиви з Арктики проникають на континенти і викликають суворі зими.

Таким чином, найхолодніша зима 1928–1929 рр. зафіксована в роки, коли потепління у високих широтах Північної півкулі, відоме, як потепління Арктики, досягло максимальних значень. Холодна зима 2002–2003 рр. також спостерігалася в період більш потужного сучасного потепління у порівнянні з епохою попереднього потепління Арктики в 20–40-і роки минулого століття. Вказані зими можна повною мірою віднести до суворих. Сигналом послаблення сучасного потепління може бути 2008 р., коли температура земної кулі була найнижчою за період з 2001 по 2008 р. Ці факти не суперечать гіпотезі про зниження інтенсивності течій системи Гольфстрім під час тривалих епох потепління клімату і, як наслідок, настання фази похолодання клімату в Європі. Часовий масштаб подій, пов'язаних з послабленням Гольфстріму і подальшим похолоданням Європи, ймовірно, за все, може бути більш тривалим, ніж в 60-ті роки минулого століття.

Одним із дискусійних питань є питання впливу сонячної активності на формування аномальних кліматичних явищ, до яких відносяться і холодні зими. Дослідження В. Ф. Логінова показали, що більша частина холодних зим спостерігалася за низької сонячної активності: холодні зими прагнуть “уникнути” максимальних значень сонячної активності в 11-річних циклах, хоча зими 1908–1909, 1968–1969 рр. спостерігалися поблизу максимумів 11-річних сонячних циклів. Це свідчить про те, що для прогнозування холодних зим недостатньо підстав, щоб опиратися на 11-річну сонячну активність.

Більша частина холодних зим спостерігалася на спадних гілках 11-річних циклів (1910–1911, 1923–1924, 1928–1929, 1946–1947, 1953–1954, 1962–1963, 1963–1964, 1984–1985, 1986–1987, 1995–1996 рр.). Особливо непропорційно багато самих

холодних зим відмічалася в наступних 11-річних циклах: 16, 17, 18, 19 і 21 циклах за цюрихською нумерацією (1928–1929, 1939–1940, 1941–1942, 1953–1954, 1984–1985 рр.) [74]. Останні три сонячні цикли входять в четвірку найпотужніших 11-річних сонячних циклів за період спостережень сонячної активності (1749–2010 рр.). Близьким за потужністю був тільки 3-й цикл за цюрихською нумерацією. Максимум цього циклу припав на 1778 р. і склав 154.4 одиниці відносних чисел Вольфа [74]. В той же час холодні зими в Канаді, на Алясці і в Сибіру частіше спостерігалися поблизу, коли був максимум сонячної активності [74, 100]. В наведеній роботі йдеться, що європейська частина колишнього Радянського Союзу знаходиться під впливом інших циркуляційних процесів, ніж інші континентальні райони Північної півкулі. У випадку холодних зим у Північній півкулі на цю територію проникають повітряні маси з півдня Європи, що приводить до формування теплих зим. У випадку теплих зим у Північній півкулі над Центральною Європою розташовується гребінь високого тиску. По його східній периферії на європейську частину країни можуть вторгатися холодні маси повітря з Арктики — формуються холодні зими.

Базуючись на підходах, які використовували для аналізу холодних зим, аналогічно зроблено відбір теплих зим за період інструментальних спостережень, використовуючи ті ж самі вхідні дані. Як і у випадку аналізу холодних зим, до теплих відносять зими, температура яких на 1.94°C вище температури нормальної зими (зима з середньою температурою мінус 3.44°C), число теплих зим 20. Слід зазначити, що в силу додатної (позитивної) асиметрії, теплих зим більше, ніж холодних. В даних розрахунках ми не ставили за мету мати однакові вибірки холодних та теплих зим. Перелік таких зим наведено в табл. 4.10.

З табл. 4.10 видно, що внесок у формування 20 самих теплих зим приблизно однаковий для січня та лютого і дещо відрізняється грудень (більш теплий). Для теплих зим характерна менша мінливість від місяця до місяця, після аномально теплого грудня слідує більша холодні січень та лютий. Зміна температури в зимовий період розвивається за “теплим” сценарієм, немає на території України жодного випадку із 20 за всі три місяці, коли б температура була нижче норми.

Аналіз табл. 10 показує, що більша кількість теплих зим припала на період поточного потепління клімату в Україні (16 із 20 випадків). Одна тепла зима була на початку інструментальних спостережень в Україні (1901–1902 рр.). Три теплі зими припали на роки першого потепління клімату, відомого, як потепління Арктики (1909–1910, 1913–1914, 1914–1915 рр.). Це свідчить про те, що перше потепління відноситься до потепління літнього типу [74], тоді як поточне потепління більш яскраво проявлялося в зимовий період.

Теплі зими в Україні не пов'язані з 11-річним циклом сонячної активності і першим потеплінням Арктики 30-х років. Потепління в холодні періоди в Україні можна пояснити сучасним екологічним впливом сумарної дії ПГ як глобального парникового ефекту, так і парниковим ефектом виключно власними викидами ПГ на досить значних промислових територіях, таких як Донбас.

Шість теплих зим припало на холодний перехідний період — 1946–1975 рр. (1947–1948, 1951–1952, 1958–1959, 1960–1961, 1965–1966, 1974–1975 рр.). Така приблизна кількість і повинна бути при випадковому розподілі. Наведені результати свідчать про не випадковий розподіл зим в епоху поточного потепління клімату. При випадковому (нормальному) розподілі зим на епоху поточного потепління клімату повинно припадати не більше 4 теплих зим, а в реальності їх спостерігалось набагато більше.

Як і у випадку холодних зим, основним предиктором теплих зим є інтенсивність ПАК. Переважна кількість теплих зим за період 1901–2005 рр. спостерігалась при високій інтенсивності ПАК, виняток склала зима 1960–1961 рр. [74]. Даними про інтенсивність ПАК останніх років ми не володіємо.

Розподіл теплих зим за фазами 11-річного сонячного циклу невизначений: теплі зими розподілені на його різних фазах випадковим чином [74].

Отже, поряд з регіональними циркуляційними умовами формування холодних і теплих зим, важливе значення має такий широкомасштабний циркуляційний феномен, як ПАК, яке визначається взаємодією океану та атмосфери. В роботах дослідників було показано, що температура різних холодних місяців року і зими, в цілому має тісний зв'язок з інтенсивністю ПАК [74, 100].

Відомо, що зміна інтенсивності ПАК пов'язана з різними зовнішніми та внутрішніми кліматоутворюючими факторами [74]. Оцінки ролі ряду зовнішніх факторів формування загальної циркуляції атмосфери, а ПАК власне і є одним із важливих її характеристик, досить сильно відрізняються. Особливо запекла дискусія продовжується з питання оцінки ролі таких малих збуджуючих атмосферу факторів, як сонячна активність, зміна швидкості обертання Землі, гравітаційного і магнітного полів Землі. Наявність в зміні глобальних і регіональних характеристик циркуляції і клімату, відомих циклів сонячної активності і полюсного припливу, а також їх обертонів може свідчити про вплив названих факторів на атмосферу і Світовий океан, хоча загальноприйнятих механізмів такого впливу поки не розроблено [74].

Суворі зими на європейській частині колишнього Радянського Союзу, а також у ряді випадків у Сибіру і середній Азії припали на період минулого першого потепління клімату — 1910–1945 рр. (1928–1929, 1930–1931, 1932–1933, 1941–1942 рр.). В Україні найсуворіші зими відмічалися в 1946–1947 рр. Друга тривала епоха суворих зим припала на 60-ті роки, коли спостерігалась “Велика солонна аномалія”: 1962–1963, 1966–1967, 1968–1969 рр. [3]. Пов'язати суворі зими з потужним виверженням вулкану Агунг в 1963 р. не можна, оскільки вулканічний аерозоль призводить до похолодання клімату в теплий період [74].

Не можна виключати настання нової епохи суворих зим у Європі в кінці 20-х років ХХІ ст. Перші провісники таких суворих зим уже з'явилися. Вони, ймовірно за все, пов'язані з інтенсивним таненням арктичних льодів і збільшенням стоків північних річок у Північний Льодовитий океан, що

Таблиця 4.10.

Температура зимових місяців і зими в цілому (у випадку теплих зим) за період інструментальних спостережень (°C)

Роки	Температура зимових місяців			Середня температура зими.
	Грудень	Січень	Лютий	
2006–2007	1.93	2.19	–2.37	0.58
1989–1990	–0.35	–0.87	2.38	0.38
2000–2001	1.47	–0.48	–1.92	–0.31
1965–1966	0.99	0	–2.05	–0.35
1982–1983	1.81	–0.8	–2.07	–0.35
1988–1989	–2.6	–0.47	1.84	–0.41
1901–1902	1.2	–0.85	–1.67	–0.44
1960–1961	3.78	–4.29	–1.63	–0.71
1974–1975	0.58	–0.11	–2.65	–0.73
1913–1914	1.04	–4.46	0.89	–0.84
1947–1948	0.76	0.32	–3.73	–0.88
1951–1952	–0.46	–0.67	–1.95	–1.03
1909–1910	0.1	–2.5	–0.83	–1.08
1914–1915	–1.35	–0.2	–2.38	–1.31
1999–2000	0.51	–4.41	–0.14	–1.35
1958–1959	0.37	–1.36	–3.22	–1.4
1954–1955	–0.8	–2.13	–1.29	–1.41
2004–2005	0.34	–0.12	–4.49	–1.42
2008–2009	–0.64	–3.28	–0.49	–1.47
1993–1994	–0.17	0.55	–4.88	–1.5
Середня температура зимових місяців і зими в цілому	0.42	–1.197	–1.756	–0.84

призводить до опріснення Північної Атлантики, появи нової соляної аномалії та уповільненню течій системи Гольфстрім.

Формування екстремальних теплих літніх сезонів також можуть модулюватися Північною Атлантикою. Прикладом може бути спекотне літо 2010 р. у центральних та східних регіонах України, Білорусі та європейської частини України.

Отже, у випадку виникнення та повторюваності холодних і теплих зим в Північній півкулі та Україні за період інструментальних спостережень *не все можна пояснити впливом парникового ефекту*. Це свідчить про те, що клімат виходить за рамки навіть того, який існував у ХХ ст., *що порушена кліматична рівновага, і це може бути сигналом можливих незворотних змін клімату*.

В табл. 4.11 (для теплого періоду), і табл. 4.12 (для холодного періоду) наведено каталоги (кількості років та у відсотковому відношенні) повторюваності нормальних, теплих, холодних, аномально теплих та аномально холодних років літом та зимою з 1901 по 2013 р. на території України. Каталог може бути використаний для обслуговування різних галузей господарської діяльності. З допомогою каталогу можна визначити, коли і в якому районі спостерігалися ті чи інші аномальні погодні умови. Його можна також використовувати у прогностичних цілях.

На прикладі метеостанції “Київ” було зроблено порівняння середньобаторічних структур температури повітря за різні періоди 1901–1975 рр. та 1976 і 2013 рр. у відсотках, для того щоб визначити частоту відхилень від норми в бік збільшення або зменшення за холодний і теплий періоди. Дані наведені в табл. 4.12а.

Аналіз зими показав, що досить частими стали роки, близькі до норми (середньої багаторічної характеристики клімату) ($\bar{t} - \sigma \leq t \leq \bar{t} + \sigma$). Аномально теплі та аномально холодні роки за порівнюваними періодами залишилися на одному рівні, відрізняються від багаторічного значення на 1%. Отже, потепління зимкладається в норму зі знаком “плюс”. Що стосується аналізу теплого періоду, то кількість теплих років почала зменшуватися на 4%. Відбувається збільшення років з холодним червнем на 8%, липнем — на 1%, та зменшення у серпні на 3%. У теплий період також зросла кількість місяців, які потрапляють в “норму”. Отже, потепління в Україні в минулі роки підсилювалося власним парниковим ефектом, сьогодні із зменшенням інтенсивності промисловості парниковий ефект послабився; можна припустити, що ріст температури повітря уповільниться. Темпи приросту температури можуть знижуватись, а іноді протягом двох–трьох років можуть бути відсутні в зв’язку з накладанням найбільш активних природних факторів: виверженням вулканів і зміни сонячної активності.

Розглянута середньобаторічна структура температури повітря останніх 23 роки, яка може відоб-

ражати частоту виникнення нормальних, теплих, холодних та аномальних років до 2025 р. (табл. 4.12б).

Висновки

Таким чином, визначено регіональний відгук клімату України на його глобальні зміни. Шляхом порівняння вікового ходу річної глобальної температури повітря (у відхиленнях від кліматичної норми) і вікового ходу аналогічних значень регіональної температури на основі незалежних розрахунків авторів підтверджено висновок про загальну закономірність змін глобальної температури повітря і температури повітря в Україні. Але підвищення температури повітря в Україні значніше. Отримано новий результат, що потепління охопило південні широти. Тепер в регіональну криву можна включати всі чотири природні зони України.

Зроблено розрахунки по природних зонах України, що дасть можливість прослідкувати наслідки зміни клімату з урахуванням природних особливостей території. Хід аномалії річної температури по чотирьох природних зонах та регіонах Карпат та Криму повторюють один одного, а також аномалію у глобальному масштабі. Можна зробити висновок, що глобальне потепління перекидає регіональні особливості.

Встановлено підвищення температури повітря для рівнинної території України: в Зоні мішаних лісів та Зоні широколистяних лісів, Лісостепу 0.8–1.0°C; в Степовій зоні на 0.5°C. В кожне десятиліття температура підвищувалось на 0.1°C. В останнє десятиріччя ХХІ ст. по більшості станцій тренд зріс на 0.3°C. Потепління в Україні фіксується майже всіма станціями.

Щодо діагностичної оцінки температурного режиму за період, який збігається з індустріальною епохою, слід відмітити, що значний внесок зробило останнє десятиріччя ХХІ ст. Розрахунки показали, що в “індустріальний період” іде детерміноване зростання температури. Тобто в цей період, крім глобального впливу на клімат України діють регіональний і локальний антропогенний фактори.

Наведені розрахунки аномально теплих та аномально холодних років, аномально теплих місяців та сезонів підтвердили відображені на тренді характерні особливості зміни температури за “інструментальний період” спостережень, а саме: підтверджено генеральну особливість зміни температури в наявності двох суттєвих потеплінь в ХХ ст. — це 20–30-ті роки та 1998–2002 рр.; в зміні температури в Україні в останні роки намітилася тенденція до підвищення температури не тільки в холодну пору року, але і літом. Дуже теплими виявилися 1991, 2000, 2001 рр. В останні роки швидкість зимового потепління уповільнилась.

В дослідженні наведена повторюваність холод-

Таблиця 4.11.

Повторюваність нормальних (близьких до середньої багаторічної характеристики клімату) ($\bar{t} - \sigma \leq t \leq \bar{t} + \sigma$) теплих ($\bar{t} + \sigma < t < \bar{t} + 2\sigma$) холодних ($\bar{t} - 2\sigma < t < \bar{t} - \sigma$) аномально теплих ($t \geq \bar{t} + 2\sigma$), аномально холодних ($t \leq \bar{t} - 2\sigma$) років за весь період інструментальних спостережень (1901–2013 рр.) у літні місяці на території України

	Червень	Липень	Серпень	Червень	Липень	Серпень
	Кількість років			У відсотковому відношенні		
1	2	3	4	5	6	7
Вінниця						
Теплі	15	9	10	13.2	7.9	8.8
Холодні	14	11	10	12.3	9.6	8.8
Аномально теплі	4	7	4	3.5	6.1	3.5
Аномально холодні	2	3	3	1.8	2.6	2.6
Київ						
Норма	79	78	79	69.3	68.4	69.3
Теплі	16	10	10	14	8.8	8.8
Холодні	15	20	20	13.2	17.5	17.5
Аномально теплі	3	6	4	2.6	5.3	3.5
Аномально холодні	1	0	1	0.9	0	0.9
Фастів						
Норма	36	38	38	67.9	71.7	71.7
Теплі	7	5	4	13.2	9.4	7.5
Холодні	7	8	8	13.2	15.1	15.1
Аномально теплі	3	2	2	5.7	3.8	3.8
Аномально холодні	0	0	1	0	0	1.9
Ягогин						
Норма	33	36	40	62.3	67.9	75.5
Теплі	8	4	4	15.1	7.5	7.5
Холодні	10	10	7	18.9	18.9	13.2
Аномально теплі	2	3	2	3.8	5.7	3.8
Аномально холодні	0		0	0		0
Полтава						
Норма	78	78	82	68.4	68.4	71.9
Теплі	13	11	13	11.4	9.6	11.4
Холодні	18	18	16	15.8	15.8	14
Аномально теплі	5	7	3	4.4	6.1	2.6
Аномально холодні	0	0	0	0	0	0
Лубни						
Норма	38	46	53	55.9	67.6	77.9
Теплі	16	5	5	23.5	7.4	7.4
Холодні	14	13	7	20.6	19.1	10.3
Аномально теплі	0	4	2	0	5.9	2.9
Аномально холодні	0	0	1	0	0	1.5
Суми						
Норма	75	84	83	65.8	73.7	72.8
Теплі	18	9	10	15.8	7.9	8.8
Холодні	17	15	15	14.9	13.2	13.2
Аномально теплі	3	6	5	2.6	5.3	4.4
Аномально холодні	1	0	1	0.9	0	0.9
Глухів						
Норма	35	39	38	66	73.6	71.7
Теплі	8	5	5	15.1	9.4	9.4
Холодні	8	6	8	15.1	11.3	15.1
Аномально теплі	2	3	1	3.8	5.7	1.9
Аномально холодні	0	0	1	0	0	1.9
Лебедин						
Норма	31	37	37	58.5	69.8	69.8
Теплі	11	5	4	20.8	9.4	7.5
Холодні	11	8	10	20.8	15.1	18.9
Аномально теплі	0	3	2	0	5.7	3.8
Аномально холодні	0	0	0	0	0	0
Ромни						
Норма	31	36	39	58.5	67.9	73.6
Теплі	13	5	5	24.5	9.4	9.4
Холодні	9	9	8	17	17	15.1
Аномально теплі	0	3	1	0	5.7	1.9
Аномально холодні	0	0	0	0	0	0
Тернопіль						
Норма	75	74	85	65.8	64.9	74.6
Теплі	17	16	15	14.9	14	13.2
Холодні	18	18	9	15.8	15.8	7.9
Аномально теплі	2	4	3	1.8	3.5	2.6
Аномально холодні	2	2	2	1.8	1.8	1.8

Продовження таблиці 4.11.

1	2	3	4	5	6	7
Харків						
Теплі	12	11	12	10.5	9.6	10.5
Холодні	19	13	16	16.7	11.4	14
Аномально теплі	6	7	5	5.3	6.1	4.4
Аномально холодні	0	1	1	0	0.9	0.9
Лозова						
Норма	78	76	80	68.4	66.7	70.2
Теплі	11	15	10	9.6	13.2	8.8
Холодні	18	16	18	15.8	14	15.8
Аномально теплі	6	6	5	5.3	5.3	4.4
Аномально холодні	1	1	1	0.9	0.9	0.9
Кам'янець-Подільський						
Норма	45	47	48	66.2	69.1	70.6
Теплі	10	11	7	14.7	16.2	10.3
Холодні	11	8	8	16.2	11.8	11.8
Аномально теплі	2	1	3	2.9	1.5	4.4
Аномально холодні	0	1	2	0	1.5	2.9
Нова Ушиця						
Норма	33	35	37	62.3	66	69.8
Теплі	8	9	5	15.1	17	9.4
Холодні	10	8	7	18.9	15.1	13.2
Аномально теплі	2	1	2	3.8	1.9	3.8
Аномально холодні	0	0	2	0	0	3.8
Шепетівка						
Норма	67	63	62	74.4	70	68.9
Теплі	11	13	11	12.2	14.4	12.2
Холодні	8	10	11	8.9	11.1	12.2
Аномально теплі	2	2	3	2.2	2.2	3.3
Аномально холодні	2	2	3	2.2	2.2	3.3
Черкаси						
Норма	57	62	65	66.3	72.1	75.6
Теплі	12	7	4	14	8.1	4.7
Холодні	12	12	12	14	14	14
Аномально теплі	5	5	4	5.8	5.8	4.7
Аномально холодні	0	0	1	0	0	1.2
Умань						
Норма	79	81	77	69.3	71.1	67.5
Теплі	13	9	11	11.4	7.9	9.6
Холодні	14	18	19	12.3	15.8	16.7
Аномально теплі	6	6	5	5.3	5.3	4.4
Аномально холодні	2	0	2	1.8	0	1.8
Чернівці						
Норма	74	73	86	64.9	64	75.4
Теплі	15	20	12	13.2	17.5	10.5
Холодні	20	17	11	17.5	14.9	9.6
Аномально теплі	4	2	4	3.5	1.8	3.5
Аномально холодні	1	2	1	0.9	1.8	0.9
Луцьк						
Норма	60	60	63	68.2	68.2	71.6
Теплі	10	12	12	11.4	13.6	13.6
Холодні	13	11	8	14.8	12.5	9.1
Аномально теплі	3	3	3	3.4	3.4	3.4
Аномально холодні	2	2	2	2.3	2.3	2.3
Житомир						
Норма	79	80	82	69.3	70.2	71.9
Теплі	16	12	13	14	10.5	11.4
Холодні	15	15	14	13.2	13.2	12.3
Аномально теплі	3	6	4	2.6	5.3	3.5
Аномально холодні	1	1	1	0.9	0.9	0.9
Івано-Франківськ						
Норма	43	45	47	66.2	69.2	72.3
Теплі	11	10	10	16.9	15.4	15.4
Холодні	10	8	5	15.4	12.3	7.7
Аномально теплі	1	1	1	1.5	1.5	1.5
Аномально холодні	0	1	2	0	1.5	3.1
Львів						
Норма	71	68	72	68.3	65.4	69.2
Теплі	15	13	19	14.4	12.5	18.3
Холодні	15	18	9	14.4	17.3	8.7
Аномально теплі	2	4	2	1.9	3.8	1.9
Аномально холодні	1	1	2	1	1	1.9
Рава-Руська						
Норма	44	44	48	64.7	64.7	70.6
Теплі	11	11	11	16.2	16.2	16.2
Холодні	11	11	6	16.2	16.2	8.8
Аномально теплі	1	1	2	1.5	1.5	2.9
Аномально холодні	1	1	1	1.5	1.5	1.5

Продовження таблиці 4.11.

1	2	3	4	5	6	7
Рівне						
Норма	48	48	46	69.6	69.6	66.7
Теплі	9	8	10	13	11.6	14.5
Холодні	9	9	10	13	13	14.5
Аномально теплі	2	3	2	2.9	4.3	2.9
Аномально холодні	1	1	1	1.4	1.4	1.4
Сарни						
Норма	46	44	46	67.6	64.7	67.6
Теплі	8	8	7	11.8	11.8	10.3
Холодні	11	11	11	16.2	16.2	16.2
Аномально теплі	2	4	3	2.9	5.9	4.4
Аномально холодні	1	1	1	1.5	1.5	1.5
Чернігів						
Норма	61	63	68	67	69.2	74.7
Теплі	16	8	9	17.6	8.8	9.9
Холодні	12	16	10	13.2	17.6	11
Аномально теплі	1	4	3	1.1	4.4	3.3
Аномально холодні	1	0	1	1.1	0	1.1
Семенівка						
Норма	52	38	40	98.1	71.7	75.5
Теплі	0	4	6	0	7.5	11.3
Холодні	0	8	6	0	15.1	11.3
Аномально теплі	1	3	1	1.9	5.7	1.9
Аномально холодні	0	0	0	0	0	0
Ужгород						
Норма	80	74	77	70.2	64.9	67.5
Теплі	17	20	18	14.9	17.5	15.8
Холодні	13	16	14	11.4	14	12.3
Аномально теплі	2	2	3	1.8	1.8	2.6
Аномально холодні	2	2	2	1.8	1.8	1.8
Євпаторія						
Норма	76	86	80	66.7	75.4	70.2
Теплі	16	9	12	14	7.9	10.5
Холодні	18	11	16	15.8	9.6	14
Аномально теплі	3	6	4	2.6	5.3	3.5
Аномально холодні	1	2	2	0.9	1.8	1.8
Керч						
Норма	72	81	81	63.2	71.1	71.1
Теплі	17	11	14	14.9	9.6	12.3
Холодні	20	14	14	17.5	12.3	12.3
Аномально теплі	4	5	3	3.5	4.4	2.6
Аномально холодні	1	3	2	0.9	2.6	1.8
Дніпропетровськ						
Норма	75	80	74	65.8	70.2	64.9
Теплі	12	11	15	10.5	9.6	13.2
Холодні	21	16	20	18.4	14	17.5
Аномально теплі	6	6	4	5.3	5.3	3.5
Аномально холодні	0	1	1	0	0.9	0.9
Комісарівка						
Норма	76	113	75	66.7	99.1	65.8
Теплі	14	0	18	12.3	0	15.8
Холодні	20	0	17	17.5	0	14.9
Аномально теплі	4	1	3	3.5	0.9	2.6
Аномально холодні	0	0	1	0	0	0.9
Кривий Ріг						
Норма	39	44	45	59.1	66.7	68.2
Теплі	12	7	9	18.2	10.6	13.6
Холодні	14	11	8	21.2	16.7	12.1
Аномально теплі	1	4	2	1.5	6.1	3
Аномально холодні	0	0	2	0	0	3
Синельникове						
Норма	33	34	36	62.3	64.2	67.9
Теплі	9	9	7	17	17	13.2
Холодні	9	8	8	17	15.1	15.1
Аномально теплі	2	2	1	3.8	3.8	1.9
Аномально холодні	0	0	1	0	0	1.9
Донецьк						
Норма	41	44	45	60.3	64.7	66.2
Теплі	13	14	9	19.1	20.6	13.2
Холодні	14	8	12	20.6	11.8	17.6
Аномально теплі	0	1	2	0	1.5	2.9
Аномально холодні	0	1	0	0	1.5	0

Продовження таблиці 4.11.

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
Норма	75	80	80	65.8	70.2	70.2
Теплі	19	13	10	16.7	11.4	8.8
Холодні	15	14	20	13.2	12.3	17.5
Аномально теплі	4	5	3	3.5	4.4	2.6
Аномально холодні	1	2	1	0.9	1.8	0.9
Болград						
Норма	44	49	43	64.7	72.1	63.2
Теплі	8	8	8	11.8	11.8	11.8
Холодні	13	8	13	19.1	11.8	19.1
Аномально теплі	3	2	3	4.4	2.9	4.4
Аномально холодні	0	1	1	0	1.5	1.5
Херсон						
Норма	70	82	74	63.1	73.9	66.7
Теплі	16	8	11	14.4	7.2	9.9
Холодні	19	13	21	17.1	11.7	18.9
Аномально теплі	4	7	4	3.6	6.3	3.6
Аномально холодні	2	1	1	1.8	0.9	0.9
Асканія-Нова						
Норма	40	49	47	58.8	72.1	69.1
Теплі	14	9	8	20.6	13.2	11.8
Холодні	14	9	9	20.6	13.2	13.2
Аномально теплі	0	0	2	0	0	2.9
Аномально холодні	0	1	2	0	1.5	2.9

Таблиця 4.12.

Повторюваність нормальних (близьких до середньої багаторічної характеристики клімату) ($\bar{t} - \sigma \leq t \leq \bar{t} + \sigma$), теплих ($\bar{t} + \sigma < t < \bar{t} + 2\sigma$), холодних ($t \leq \bar{t} - 2\sigma$), аномально теплих ($t \geq \bar{t} + 2\sigma$), аномально холодних ($t \leq \bar{t} - 2\sigma$) років за весь період інструментальних спостережень (1901–2013 рр.) у зимові місяці на території України

Характеристика	Місяці					
	Грудень	Січень	Лютий	Грудень	Січень	Лютий
	Кількість років			У відсотковому відношенні		
Вінниця						
Норма	81	79	89	71.1	69.3	78.1
Теплі	18	17	13	15.8	14.9	11.4
Холодні	11	12	6	9.6	10.5	5.3
Аномально теплі	1	1	2	0.9	0.9	1.8
Аномально холодні	3	5	4	2.6	4.4	3.5
Київ						
Норма	79	73	83	69.3	64	72.8
Теплі	14	17	12	12.3	14.9	10.5
Холодні	15	18	13	13.2	15.8	11.4
Аномально теплі	2	1	2	1.8	0.9	1.8
Аномально холодні	4	5	4	3.5	4.4	3.5
Фастів						
Норма	37	35	39	69.8	66	73.6
Теплі	7	10	5	13.2	18.9	9.4
Холодні	7	6	6	13.2	11.3	11.3
Аномально теплі	0	0	1	0	0	1.9
Аномально холодні	2	2	2	3.8	3.8	3.8
Яготин						
Норма	35	36	36	66	67.9	67.9
Теплі	9	8	9	17	15.1	17
Холодні	7	7	5	13.2	13.2	9.4
Аномально теплі	0	0	1	0	0	1.9
Аномально холодні	2	2	2	3.8	3.8	3.8
Полтава						
Норма	80	77	84	70.2	67.5	73.7
Теплі	13	18	13	11.4	15.8	11.4
Холодні	15	12	9	13.2	10.5	7.9
Аномально теплі	3	1	2	2.6	0.9	1.8
Аномально холодні	3	6	6	2.6	5.3	5.3
Лубни						
Норма	48	50	54	70.6	73.5	79.4
Теплі	7	9	6	10.3	13.2	8.8
Холодні	10	5	4	14.7	7.4	5.9
Аномально теплі	1	0	1	1.5	0	1.5
Аномально холодні	2	4	3	2.9	5.9	4.4

Таблиця 4.12а.

Повторюваність нормальних (близьких до середньої багаторічної характеристики клімату) ($\bar{t} - \sigma \leq t \leq \bar{t} + \sigma$), теплих ($\bar{t} + \sigma < t < \bar{t} + 2\sigma$), холодних ($t \leq \bar{t} - 2\sigma$), аномально теплих ($t \geq \bar{t} + 2\sigma$), аномально холодних ($t \leq \bar{t} - 2\sigma$) років за два періоди 1901–1975 рр. та 1976–2013 рр. по метеостанції "Київ"

Характеристика	Місяці					
	Грудень	Січень	Лютий	Грудень	Січень	Лютий
	Кількість років			У відсотковому відношенні		
Вінниця						
Норма	81	79	89	71.1	69.3	78.1
Теплі	18	17	13	15.8	14.9	11.4
Холодні	11	12	6	9.6	10.5	5.3
Аномально теплі	1	1	2	0.9	0.9	1.8
Аномально холодні	3	5	4	2.6	4.4	3.5
Київ						
Норма	79	73	83	69.3	64	72.8
Теплі	14	17	12	12.3	14.9	10.5
Холодні	15	18	13	13.2	15.8	11.4
Аномально теплі	2	1	2	1.8	0.9	1.8
Аномально холодні	4	5	4	3.5	4.4	3.5
Фастів						
Норма	37	35	39	69.8	66	73.6
Теплі	7	10	5	13.2	18.9	9.4
Холодні	7	6	6	13.2	11.3	11.3
Аномально теплі	0	0	1	0	0	1.9
Аномально холодні	2	2	2	3.8	3.8	3.8
Яготин						
Норма	35	36	36	66	67.9	67.9
Теплі	9	8	9	17	15.1	17
Холодні	7	7	5	13.2	13.2	9.4
Аномально теплі	0	0	1	0	0	1.9
Аномально холодні	2	2	2	3.8	3.8	3.8
Полтава						
Норма	80	77	84	70.2	67.5	73.7
Теплі	13	18	13	11.4	15.8	11.4
Холодні	15	12	9	13.2	10.5	7.9
Аномально теплі	3	1	2	2.6	0.9	1.8
Аномально холодні	3	6	6	2.6	5.3	5.3
Лубни						
Норма	48	50	54	70.6	73.5	79.4
Теплі	7	9	6	10.3	13.2	8.8
Холодні	10	5	4	14.7	7.4	5.9
Аномально теплі	1	0	1	1.5	0	1.5
Аномально холодні	2	4	3	2.9	5.9	4.4
Суми						
Норма	75	75	84	65.8	65.8	73.7
Теплі	16	20	12	14	17.5	10.5
Холодні	19	14	11	16.7	12.3	9.6
Аномально теплі	1	1	2	0.9	0.9	1.8
Аномально холодні	3	4	5	2.6	3.5	4.4
Глухів						
Норма	35	35	36	66	66	67.9
Теплі	8	8	8	15.1	15.1	15.1
Холодні	9	8	8	17	15.1	15.1
Аномально теплі	0	0	0	0	0	0
Аномально холодні	1	2	1	1.9	3.8	1.9
Лебедин						
Норма	36	37	35	67.9	69.8	66
Теплі	7	7	9	13.2	13.2	17
Холодні	9	7	6	17	13.2	11.3
Аномально теплі	0	0	1	0	0	1.9
Аномально холодні	1	2	2	1.9	3.8	3.8
Ромни						
Норма	35	37	39	66	69.8	73.6
Теплі	7	8	8	13.2	15.1	15.1
Холодні	9	6	4	17	11.3	7.5
Аномально теплі	0	0	1	0	0	1.9
Аномально холодні	2	2	1	3.8	3.8	1.9
Тернопіль						
Норма	77	79	80	67.5	69.3	70.2
Теплі	20	16	15	17.5	14	13.2
Холодні	10	14	12	8.8	12.3	10.5
Аномально теплі	1	1	2	0.9	0.9	1.8
Аномально холодні	6	4	5	5.3	3.5	4.4
Харків						
Норма	76	75	79	66.7	65.8	69.3
Теплі	16	21	18	14	18.4	15.8
Холодні	17	12	11	14.9	10.5	9.6

Таблиця 4.126.

Повторюваність нормальних (близьких до середньої багаторічної характеристики клімату) ($\bar{t} - \sigma \leq t \leq \bar{t} + \sigma$), теплих ($\bar{t} + \sigma < t < \bar{t} + 2\sigma$), холодних ($\bar{t} - 2\sigma < t < \bar{t} - \sigma$), аномально теплих ($t \geq \bar{t} + 2\sigma$), аномально холодних ($t \leq \bar{t} - 2\sigma$) років за два періоди 1901–2013 рр. та 1991–2013 рр. по метеостанції “Київ”

Холодний період				Теплий період			
Норма (%)				Норма (%)			
Роки	I	II	XII	Роки	VI	VII	VIII
1901–2013	69	64	73	1901–2013	69	69	69
1991–2013	78	70	70	1991–2013	65	61	78
Теплі роки (%)				Теплі роки (%)			
Роки	I	II	XII	Роки	VI	VII	VIII
1901–2013	12	15	11	1901–2013	14	9	9
1991–2013	9	13	18	1991–2013	13	13	9
Холодні роки (%)				Холодні роки (%)			
Роки	I	II	XII	Роки	VI	VII	VIII
1901–2013	13	16	12	1901–2013	13	18	18
1991–2013	4	9	9	1991–2013	18	22	9
Аномально теплі роки (%)				Аномально теплі роки (%)			
Роки	I	II	XII	Роки	VI	VII	VIII
1901–2013	2	1	2	1901–2013	3	5	4
1991–2013	0	4	0	1991–2013	4	4	4
Аномально холодні роки (%)				Аномально холодні роки (%)			
Роки	I	II	XII	Роки	VI	VII	VIII
1901–2013	4	5	4	1901–2013	1	0	1
1991–2013	9	4	4	1991–2013	0	0	0

них і теплих зим на території України. На основі аналітичного опрацювання наукових джерел наведені можливі причини їх формування. Одна із важливих причин формування холодних зим в Європі, в тому числі в Україні, пов'язана з розпрісненням вод Північної Атлантики і з відповідною зміною інтенсивності течій системи Гольфстрім. Саме це могло бути початком сучасного потепління клімату.

Наведено каталоги повторюваності нормальних, теплих, холодних, аномально теплих та аномально холодних років літом та зимою з 1901 по 2013 р. по території України. Дані цих каталогів можуть бути використані в прогностичних цілях ведення господарської діяльності в Україні при сучасному кліматі.

4.2.2 Просторово-часові закономірності зміни опадів на території України за період інструментальних спостережень

Протягом 1900–2013 рр. деякі зміни торкнулися такої характеристики клімату, як опади. Кількість атмосферних опадів збільшилась на 0.5–1.0% на більшій частині території континентів у середніх і високих широтах Північної півкулі. Єдиної і спільної закономірності в змінах кількості опадів на земній кулі не відмічено, що пояснюється значною неоднорідністю атмосферних полів у різних фізико-географічних зонах та різноманітністю факторів і умов, які призводять до їх утворення і випадання. Відомо, що річна кількість атмосферних опадів на Землі збалансована випаровуванням і становить 1 130 мм. Немає підстав вважати, що з потеплінням глобального клімату зміниться цей баланс, тому що досить велику частину займають океани та моря, тобто запас води на Землі необмежений. У глобальному масштабі дефіциту вологи не може бути. Але слід зазначити, що може відбутися перерозподіл опадів між різними ча-

стинами земної кулі. За такий перерозподіл відповідає циркуляція атмосфери, яка зазнає змін [62].

На території України норма опадів складає 580–600 мм/рік. Це наполовину менше середньої глобальної кількості і становить одну третину від середнього значення для відповідного помірного поясу. Опади — дуже мінлива величина і в просторі і часі, кожен регіон України має свої особливості режиму зволоження. Південь і південний схід — регіон недостатнього режиму зволоження; північ, північний захід і гірські райони Карпат — регіон надмірного зволоження. Найкращою ситуацією в умовах потепління клімату щодо зміни режиму зволоженості на нашій території є збереження того стану, який склався наприкінці ХХ ст., з повільним вирівнюванням розподілу опадів по території України, збільшення опадів на 10–20% у південних і південно-східних районах та їх зниження у північно-західних районах [62].

Було розглянуто наявність тенденцій опадів у період максимального глобального потепління за середніми місяцями зими, весни, літа та осені. Ці дані свідчать лише про значну мінливість опадів як у часі, так і в просторі.

К. Т. Логвіновим, М. Б. Барабаш [73] було проведено дослідження опадів на періодичність. За їхніми даними розгляд коливань опадів у часі наступний: у зміні річних сум опадів є декілька основних періодів, причому їх тривалість на станціях, які розглядалися досить близька: 9–11, 13–14, 18–19, 21–22 і 27–28 років. Досліджувати цим способом періодичність змін елементів з періодом понад 30 років не є можливим, тому що існує обмеженість використаного ряду спостережень (близько 80–100 років). Збіг тривалості періодів у зміні кількості опадів на різних станціях, розташованих на значній відстані одна від одної, свідчить про спільні причини цих змін, якими можуть бути багаторічні цикли в змінах сонячної активності (11 років,

22 роки), вулканічної діяльності або коливань атмосферної циркуляції з періодом близько 28 років, які викликані іншими причинами. Періоди змін опадів із вказаною вище тривалістю виявляються і при аналізі сезонних величин [73]. Отже, на території України найбільш яскраво виражені 11–22-річні цикли. Ця закономірність зберігається і зараз. Не зважаючи на те, що періодичність в рядах опадів має в основному діагностичне значення, у всьому світі опади при глобальному потеплінні не прогножуються. Немає такої закономірності, коли при зростанні температури підвищуються опади. Але періодичність в рядах опадів все ж таки може давати уявлення і про можливі коливання кількості опадів у найближчому майбутньому. Тобто квазіперіодичні коливання кількості опадів у часі поки є основною їх закономірністю. Але це припущення надалі може не зберегтися за умов подальшого розвитку глобального потепління.

Попередні дослідження [18, 62] показали, що на відміну від температури в багаторічному ході опадів немає вираженої тенденції. Тренд або трошки підвищується, або знижується. Бувають і піки, і тут же йде зниження (рис. 4.6).

Не змінюється і середньомісячна кількість опадів. Але слід зазначити, що при підвищенні температури збільшуються стихійні опади.

Одночасний розгляд зміни глобальної температури повітря і річної кількості опадів в Україні показує, що зв'язок між цими двома змінними не є лінійним. Це ускладнює прогнозування тенденції режиму зволоження на майбутнє. Прогнозування тенденції змін опадів на майбутнє з допомогою закономірностей, які отримані шляхом аналізу емпіричних рядів спостережень за опадами не завжди однозначне.

Висновки

На підставі викладеного можна констатувати таке. У рядах опадів виявлено не стільки детерміновані зміни, скільки коливання з різними періодами часу. Основні з них 11–12-річні і кратні йому 22, 24. Тобто режим зволоження знаходиться в межах кліматичної норми. Водночас у середині місяця мінливість опадів залишається значною, з високою ймовірністю випадання сильних дощів протягом доби, особливо в теплий період року.

4.2.3. Кліматичні умови початку XXI ст.

Як уже зазначалось, характерним для клімату XXI ст. є зростаюча кількість погодніх і кліматичних аномалій, все частіше говориться про те, що те чи інше атмосферне явище або атмосферні умови за місяць і навіть сезон не відмічалися за весь період спостережень або відмічалися дуже рідко. Аномалії не обмежуються високими і помірними широтами, вони охоплюють і низькі широти — субтропіки і тропіки, виникають в обох півкулях. Потепління кліматичної системи є безсумнівним, оскільки воно фіксується спостереженнями за підвищенням середньорічних температур повітря та океану, поширеним таненням снігів та льодовиків та підняттям середнього рівня Світового океану [46]. У доповіді ВМО за 2000–2010 рр. експерти відмічають безпрецедентне нагрівання поверхні Землі в XXI ст. Клімат у деяких країнах побив рекорди самих високих температур на планеті. Температура вище норми зафіксована практично у всіх країнах. ВМО відмітила, що екстремальні кліматичні явища, такі як паводки, суворі засухи, снігові бурі, були зареєстровані у багатьох частинах світу. Організація Об'єднаних Націй визнала прискорення потепління на Землі [46, 110]. Дуже мало ймовірно, що ситуація, яка склалася в кліматичній системі, найближчим часом різко зміниться.

На початку XXI ст. термічний режим залишиться залежним від антропогенного росту концентрації вуглекислого газу в атмосфері. На сьогодні не має цілковитой достовірності ні одного іншого природного чи антропогенного фактора, ймовірні зміни якого могли б викликати коливання термічного режиму протягом 50-ти останніх років. З огляду на специфічні кліматичні особливості першого десятиріччя XXI ст., слід звернути на це особливу увагу. Для спрощення процедури аналізу регіональної температури в перше десятиріччя XXI ст. по території України наведено середні узагальнені дані відхилення температури повітря (Δt , °C) від кліматичної норми за всіма місяцями з 2001 по 2013 р. (табл. 4.13).

Усі річні аномалії в XXI ст. були позитивними. За окремими сезонами та місяцями ситуація буде іншою. В цілому, щорічна зима і за окремими місяцями має додатну аномалію. Останні 12–13 років лише в окремих місяцях спостерігається від'ємна

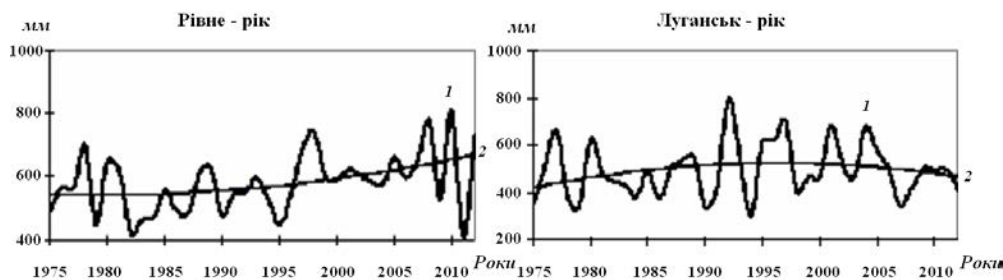


Рис. 4.6. Багаторічний хід опадів (мм) за період 1975–2012 рр. на окремих станціях України: 1 — п'ятирічні дані, 2 — тренд

аномалія. Як видно з табл. 4.13, додатна аномалія перекриває три-, п'яти- і дванадцятирічні природні цикли коливаль. Дані таблиці також свідчать про досить стрімкий процес потепління клімату в Україні з початку XXI ст. До цього потрібно адаптуватися, готуватися і розуміти, що по-іншому не буде при таких умовах і темпах підвищення температури у найближчі 10–25 років.

В умовах сучасного клімату що стосується опадів початку XXI ст. в Україні, то сума опадів за місяцями та за рік відносно близька до стандартної кліматичної норми, лише простежується перерозподіл кількості опадів за окремі місяці та сезони. На рис. 4.7, 4.8 наведено кількість опадів (% норми) у періоди 2001–2005 та 2006–2010 рр. за середніми місяцями, де візуально добре видно збільшення кількості опадів у жовтні.

Висновки

Таким чином, оцінка температурного режиму XXI ст. в Україні свідчить про значну його аномальність відносно кліматичної норми. В більшості місяців спостерігається позитивна аномалія температури. Від'ємна аномалія температури повітря відмічається лише в грудні. Це говорить про активізацію процесу потепління клімату в Україні, особливо в Степовій зоні в першій половині XXI ст.

4.2.4. Інформація про екстремальні кліматичні явища в XXI ст. на території України

Як правило, поряд з вивченням мінливості середніх величин кліматичних параметрів не менш вагоме, а навіть більше значення мають дослідження екстремальних характеристик клімату. На початку XXI ст. проблема вивчення стихійних метеорологічних явищ стала більш актуальною у зв'язку зі значним збільшенням кількості випадків та тривалості цих явищ, що пов'язано зі змінами у кліматичній системі, зумовленими як природними, так і антропогенними факторами. Така ситуація викликає занепокоєння світового співтовариства, окрім значних матеріальних втрат, вона може призвести до зміни соціально-економічних та екологічних умов життєдіяльності людини.

За своєю природою екстремальні події можна умовно поділити на дві групи. Перша — це екстремальні явища в масштабах синоптичних процесів, тобто, які мають порядок від годин до доби у часі, від десятків до сотень кілометрів на великих територіях. До них відносяться урагани, смерчі, паводки та інші локальні явища — це сильні зливи та дуже сильні дощі, дуже сильні снігопади, сильний вітер, шквали, великий град, сильні хуртовини, сильна ожеледь. Вони призводять до екстремальних ситуацій, травм, посттравматичних стресів, інших порушень здоров'я. Друга група — це екстремальні події у місячних часових і регіональних територіальних масштабах (сезонні засухи, аномальні холодні зими і т. п.). Вони призводять до так званих непрямих наслідків впливу на життя і здоров'я людини. Прикладом непрямих наслідків можуть бути засухи весняно-літнього періоду в зернових районах України. Одними з таких років були 2003, 2009 рр., які показали уразливість сільського господарства до погодних умов. Це, в свою чергу, вплинуло на посилення соціальної напруги серед населення.

Особливості географічного положення України, синоптичних процесів та велика різноманітність кліматичних умов сприяють частому виникненню стихійних метеорологічних явищ і зумовлюють надзвичайну складність їх у просторі і часі. Стихійні метеорологічні явища зазвичай спостерігаються у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив.

Змістовні дослідження стихійних явищ проведені В. І. Осадчим, В. М. Бабіченко в УкрНДГМІ [93, 104]. За аналізом публікацій цих авторів можна зробити висновок, що одночасно з підвищенням температури кількість стихійних явищ з року в рік збільшується, іноді вони мають катастрофічний характер. Було взято дані з монографії [104] і доповнено даними за останніх 2 роки. Проведено порівняння переліку стихійних явищ на території України, частота яких зазнала зміни за п'ятиріччя (1984–1990 рр.), з якого почалося чітке збільшення стихійних явищ, і за період 2006–2012 рр. В період найбільш інтенсивного потепління відбулося зростання частоти стихійних явищ і у порівнянні з минулими роками змінилося співвідношення стихійних явищ (рис. 4.9).

Кількість стихійних явищ збільшилась на 7–15%, крім такого явища, як сильний туман (33%) (рис. 4.9). До цього часу стихійні явища вивчалися з огляду синоптичних умов, які викликало це стихійне явище. Але об'єктивно слід вивчати особливо попередні фактори й умови, які привели до стихійного явища, у тому числі антропогенні фактори регіонального масштабу, тобто коли порушується екологічна рівновага, забудова пойми, відбувається деградація ґрунтового покриву, вирубка лісів та ін.

Нема підстав очікувати зменшення негативно-го впливу несприятливих гідрометеорологічних умов і явищ. Враховуючи екологічну ситуацію країни, існуючу щільність населення, за подальшої еміграції результат впливу метеорологічних стихійних явищ може бути значнішим, ніж був раніше.

Використовуючи аналіз сучасної динаміки температури повітря в Україні, проаналізувавши довгоперіодні регіональні закономірності (тренд), зроблена спроба дати емпірико-статистичний (кліматичний) прогноз на наступні 15–20 років на основі емпіричних даних.

Таблиця 4.13.

]Відхилення температури повітря (Δt , °C) від кліматичної норми з 2001 по 2013 р. за всіма місяцями по території України

2001 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 5.0	1.7	3.1	2.0	-1.0	-1.5	4.4	2.2	0.2	1.2	0.1	-5.3	1.0
2002 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 2.2	6.1	4.6	0.6	1.0	0.3	4.0	1.2	0.6	-0.4	1.8	-5.9	1.3
2003 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 1.4	-3.2	-0.9	-1.8	2.9	-0.2	0.5	0.6	0.3	-0.5	1.3	0.9	0.1
2004 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 2.5	2.0	3.2	0.2	-1.8	-1.1	0.1	1.0	0.2	1.1	0.8	2.3	0.8
2005 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I -0.5	-0.7	-1.9	1.4	1.4	0.7	1.3	1.4	1.8	1.1	0.3	1.8	0.6
2006 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I -2.6	-1.9	-0.4	0.5	0.6	0.9	0.6	2.6	1.1	1.6	0.6	0.9	0.4
2007 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 7.4	0.7	4.7	-0.1	2.7	2.3	2.4	3.3	0.9	1.8	-1.4	1.2	2.2
2008 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 3.7	5.7	4.4	2.2	-0.1	1.4	2.1	3.3	0.3	3.5	1.9	2.9	2.6
2009 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 2.9	3.7	2.2	2.7	0.0	2.0	2.5	1.0	2.8	1.3	3.0	0.1	2.0
2010 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I -2.5	1.0	1.6	2.3	2.5	3.1	4.7	5.1	0.7	-1.8	5.7	-2.0	1.7
2011 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 3.9	-1.1	1.3	1.8	1.5	2.9	2.7	1.4	2.1	-0.5	0.5	4.7	1.8
2012 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I 2.0	-6.0	2.8	3.2	3.1	2.4	4.0	2.3	2.5	1.9	3.1	-2.8	1.5
2013 р.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Pik
I -1.5	-3.6	-1.0	1.6	3.7	3.4	1.4	1.5	-1.5	1.6	4.2	1.9	1.1

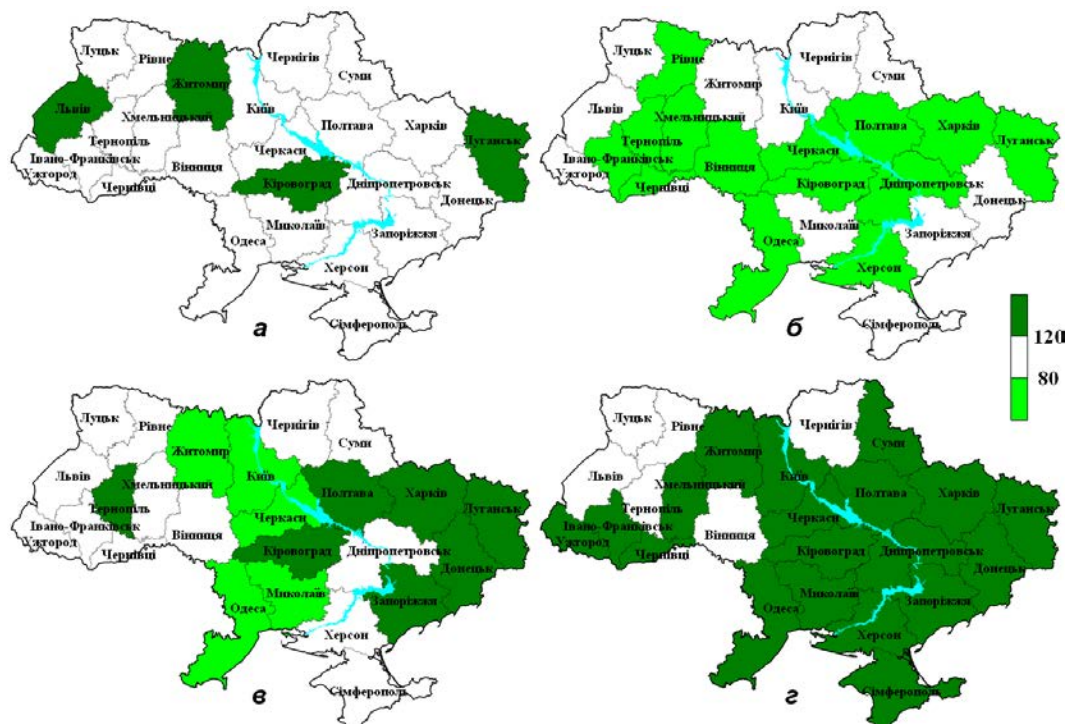


Рис. 4.7. Кількість опадів (% норми) у період 2001–2005 рр. за середніми місяцями сезону: а — січень, б — квітень, в — липень, г — жовтень (відсоток опадів менше норми: < 80%; відсоток опадів в межах норми: 80–120%, відсоток опадів більше норми: > 120%)

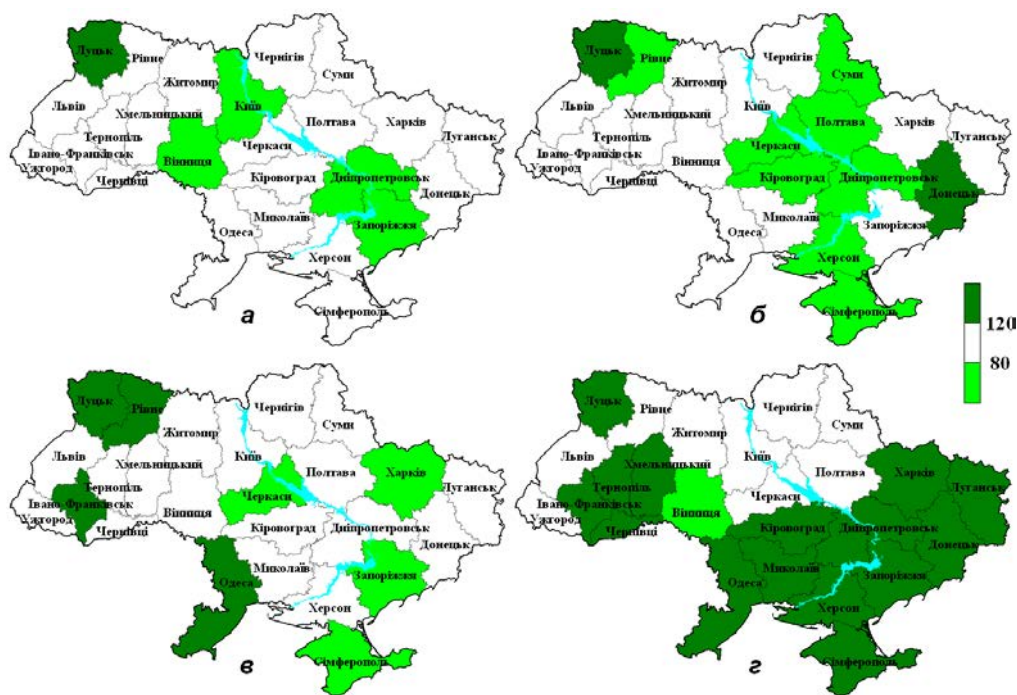


Рис. 4.8. Кількість опадів (% норми) у період 2006–2010 рр. за середніми місяцями сезону: а — січень, б — квітень, в — липень, г — жовтень (відсоток опадів менше норми: < 80%; відсоток опадів в межах норми: 80–120%, відсоток опадів більше норми: > 120%).

Висновки

Використовуючи накопичені досвід і знання, а також власні розрахунки про частоту стихійних явищ в Україні, зроблено висновок, що в найближчі два десятиріччя не слід очікувати зменшення негативного впливу несприятливих гідрометеорологічних умов і стихійних явищ. Їх збільшення прогнозується на 7–11%. Враховуючи екологічну ситуацію в Україні, наслідки впливу метеорологічних стихійних явищ можуть бути значніші, ніж були раніше.

Зміни глобального клімату це є сукупність його регіональних змін різних часових і просторових масштабів. У зв'язку з цим розробка прогнозів (сценаріїв) зміни клімату в конкретному регіоні повинна здійснюватися з урахуванням глобальних змін і мікропроцесів на всій земній кулі. В довгоперіодних процесах (процесах кліматичного масштабу) атмосфера виступає як єдина система, всі частини якої тісно взаємодіють одна з одною. Внаслідок взаємодії еволюція однієї частини атмосфери визначається не тільки її власним станом, але і станом окремих частин, тобто довгоперіодні атмосферні процеси неминуче глобальні [3, 4, 76, 99, 106].

Таким чином, зміни клімату в Україні відбуваються на фоні глобальних змін, пов'язаних з природними та антропогенними факторами. Відповідно, що і причини зміни регіонального клімату одночасно глобальні і регіональні не тільки за масштабом, але і посилюються регіональним парниковим ефектом. У зв'язку з цим діагноз і прогноз зміни

клімату в Україні повинні здійснюватися в контексті глобальних змін в атмосфері, гідросфері, криосфері, літосфері та біосфері. Слід відмітити, що припущення про можливе потепління клімату у зв'язку з посиленням антропогенного фактора з'явилося “у світі” і конкретно на території України тоді, коли він ще себе практично не проявив. Про це свідчать роботи К. Т. Логвінова, М. Б. Барабаш [70, 73]. На сьогоднішній час під егідою ВМО і ЮНЕП розроблено декілька можливих сценаріїв таких змін [109]. Всі вони вказують на глобальне потепління клімату в XX і на початку поточного XXI ст. Прогнозується швидкість змін глобальної температури в XXI столітті близько 0,3°C за десятиріччя. Через вплив інших факторів ріст температури, звичайно, не буде постійним [109].

Необхідно зазначити, що існуючі прогнози (сценарії) зміни клімату мають експериментальний характер. Це пов'язано з тими обставинами, що фізичні основи прогнозів ще недостатньо розроблені. Суттєві невизначеності розроблених сценаріїв змін клімату пов'язані з недостатнім розумінням: джерел і стоків ПП; ролі хмарності, яка суттєво змінює амплітуду кліматичних змін; ролі океанів, що визначають особливості змін клімату; ролі полярних льодових щитів, які визначають ріст рівня моря. Величина заереєстрованого глобального потепління близька до тієї, яку дають прогностичні кліматичні моделі, але вона суттєво не відрізняється від величини природної мінливості. Ця обставина вказує на те, що не можна однозначно стверджувати, що сучасне потепління пов'язано тільки з ростом ПП в атмосфері.

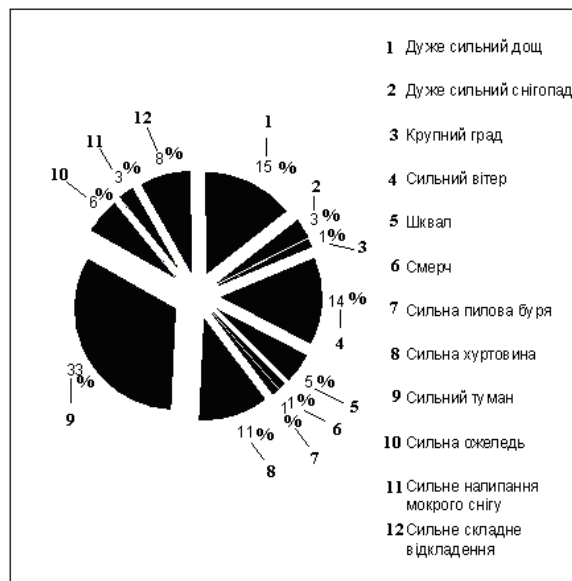


Рис. 4.9. Збільшення частоти стихійних явищ у порівнянні з кінцем XX ст. на території України [68]

4.3. Прогнозовані зміни клімату

На фоні загального потепління різко зростуть внутрішньорічні (міжсезонні) і міжрічні коливання температури й опадів. Для Північної півкулі найбільш ймовірні величини потепління до кінця століття сягатимуть 3.0–5.0°C, що дещо перевищує значення показників глобального потепління. Континентальні поверхні будуть нагріватися швидше, ніж океанічні, а температура високих широт суттєво більше підніметься, ніж у нижніх [110].

Основний механізм, який відповідає за довгоперіодні кліматичні аномалії, визначається взаємодією системи «океан–атмосфера». В цій системі виникають автоколивання. Останні можуть модулюватися зовнішніми періодичними або квазіперіодичними джерелами, такими як сонячна активність, вулканічна діяльність.

Як зазначалось у попередніх розділах, в останні роки одним із основних предикторів приймається антропогенна діяльність, яка призводить до зміни газового та аерозольного складу атмосфери, а також властивостей підстильної поверхні, що відповідальна насамперед за формування трендових складових у змінах клімату. Якщо викиди ПГ протягом XXI ст. продовжаться на теперішньому рівні або перевищать його, це призведе до подальшого потепління і спричинить численні зміни у глобальній кліматичній системі, які, дуже ймовірно, будуть серйознішими і глибшими, ніж відповідні зміни клімату у XX ст.

За оцінками, в найближчі 20–50 років прогнозується зміна глобального клімату в напрямі потепління. При цьому в найближчі 10–15 років прогнозується перехідний період, в якому на фоні загального потепління різко зростуть внутрішньорічні

(міжсезонні) та міжрічні коливання температури та опадів, тобто аномально сильні морози взимку на фоні аномально спекотного літа при дуже нестійкій погоді весною та восени. П. М. Хомяков на основі своїх дослідів робить висновок: потепління, що спостерігається, не є тривалим та відбувається на фоні глобального похолодання. Похолодання переломить тенденцію до потепління, але в довгостроковій перспективі [76].

Для розробки прогнозів найбільш вірогідної зміни, тобто сценаріїв глобального і регіонального клімату, можна використовувати статистичні і динамічні моделі. Серед статистичних підходів найбільш простим є метод екстраполяції часових рядів, який визначається стаціонарністю ряду і величиною квазіперіодичної варіації, що зумовлена зовнішніми і внутрішніми факторами. Привабливість методу екстраполяції періодичності (циклічності) полягає в тому, що він дозволяє передбачити клімат з деякою завчасністю. Хоча метод і не виділяє роки екстремальних кліматичних явищ, але він дозволяє передбачити систематичні тенденції зміни клімату. Доступність інформації в даний момент не є критичним обмеженням для таких прогнозів. В останні роки теоретичні і емпіричні періодичності описані в багатьох працях [3, 4, 51, 60, 74, 76, 89], і хоча внесок цих періодичностей в загальну мінливість кліматичних характеристик не дуже великий, використання їх в довгоперіодних прогнозах має під собою певне фізичне підґрунтя.

В рамках Всесвітньої програми досліджень клімату був організований безпрецедентний за своїми масштабами і кількістю учасників проект з аналізу прогнозів клімату за допомогою моделей загальної циркуляції атмосфери та океану — CMIP (Coupled Model Intercomparison Project). Основу даного про-

екту складають розрахунки клімату ХХ століття для заданих концентрацій парникових газів та аерозолів, отриманих в результаті спостережень та вимірів а також розрахунків зміни клімату в ХХІ столітті для різних сценаріїв зміни цих концентрацій. Всього в проєкті взяло участь більше двох десятків моделей загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО), розроблених у відомих дослідницьких центрах світу, багато з яких представили результати ансамблевих розрахунків (від різних початкових умов) для кожного типу чисельного експерименту [110]. Для території України розроблення сценаріїв клімату на довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей виконано колективом науковців УкрНДГМІ [92] та в наукових дослідженнях М. І. Кульбиди [65].

Практичний інтерес становлять кліматичні прогнози, які можна отримати осередненням гідрометеорологічних даних по території, а не для окремих станцій. При цьому достовірність такого передбачення зменшується у міру збільшення періоду екстраполяції, оскільки з часом зв'язки минулого з майбутнім потроху розмиваються за рахунок включення нових факторів або зміни характеру їх дії.

Прогноз, розроблений з допомогою лінійної екстраполяції, повинен постійно уточнюватися. Необхідно також брати до уваги, що такий антропогенний фактор клімату, як ПГ, який забезпечує висхідний тренд температури за останні десятиріччя, не є єдиним. Висхідний тренд температури може бути трансформований за рахунок безперервного росту вмісту в атмосфері аерозолів антропогенного походження, а також короткоперіодичного, але здебільшого дуже потужного викиду в атмосферу аерозолів природного (вулканічного) походження. Потрібно враховувати зміну припливу радіації за рахунок сонячної активності та наявності інших циклів [74]. Якщо в кліматичній системі протягом тривалого періоду часу діє деякий фактор (наприклад, викиди в атмосферу ПГ), то безумовно, можна зробити припущення, що можуть бути деякі наслідки впливу цього фактора виходячи з фізичної природи зазначеного явища. Найбільш помітним є фактор зміни складу атмосфери повітря в глобальному масштабі.

Найбільш близькими до реальних виявилися зміни температури повітря, розраховані за вибірками тривалістю 20 і 30 років.

На думку вчених [4, 25, 26, 44, 51, 60, 86, 89], сучасні методи інтерпретації зміни клімату базуються на порівнянні спостережень за змінами переважно даних минулого століття з результатами розрахунків по моделях загальної циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО), в яких послідовно враховуються ті антропогенні і природні зовнішні впливи, які спостерігаються. При цьому використовуються статистичні критерії, які дозволяють встановити, чи містять спостереження ознаки очікуваної реакції на зовнішні впливи, які

помітно відрізняються від проявів внутрішньо-кліматичної мінливості. Головна увага приділяється аналізу змін температури повітря в атмосфері, у поверхні суходолу та океану. Можливість проаналізувати мінливість інших змінних у ряді випадків обмежена недостатнім фізичним розумінням кліматичної системи і недоліками системи спостережень, які не дозволяють отримати достатньо точну інформацію (це відноситься, наприклад, до кількості опадів). Там, де таке обмеження існує, вчені пропонують теоретичне моделювання. Слід зазначити, що в Україні досить розвинута система спостережень за кліматом. Україна має велику мережу інструментальних спостережень, дані якої після експертної оцінки ЦГО доцільно використовувати не тільки у прогнозах погоди, але і в кліматичних прогнозах. Крім того, з часу виходу в світ відомостей про глобальне потепління, дослідження в Україні мають свою історію. Реалістичні сценарії клімату до 2010 року для України побудовані у 1985 році М. Б. Барабаш [21], П. Я. Гройсманом [43]. Вони виконані на підґрунті методичних підходів К. Т. Логвінова, було досліджено структурний зв'язок між глобальною і регіональною температурою повітря. Перегляд та аналіз їх показав, що на сьогоднішні сценарії потребують уточнень. Нещодавно опубліковано ряд досліджень М. Б. Барабаш, М. І. Кульбиди, Л. О. Єлістратової [11, 20, 67, 104], присвячених найбільш реалістичним сценаріям зміни клімату майбутнього, які базуються на емпірико-статистичних розрахунках та існуючих довідникових матеріалах і є адаптованими для конкретного регіону України з урахуванням одночасного приросту температури у глобальному і регіональному масштабах. У зв'язку з активізацією глобального та особливо регіонального (Україна) потепління у ХХІ ст. потрібно деяке корегування прибавок температури повітря.

Прогнозування клімату як багаторічного режиму погоди на найближчі 30 років — це справа, що закладена в самій класичній кліматології. Безумовно, цінність багаторічних даних про клімат безперечна. Дійсно для розробки сучасного напрямку теорії клімату, що включає в себе прогноз зміни клімату, спостереження за метеорологічними елементами має не просто важливе значення, а вирішальне. Відомо, що похибки математичного моделювання складаються у ряд похибок. По-перше, це похибки самої моделі, які обумовлені тим, що реальний об'єкт вона описує схематично. По-друге, будь-яка математична обробка інформації має стандартні похибки, тобто перехід до обчислювальної схеми, як правило, пов'язаний з певними відхиленнями від математичної моделі. По-третє, це похибки самих вихідних даних результатів спостережень за метеорологічними величинами (елементами). Тому навіть найзадовільніша математична модель не може дати кінце-

вий результат або прогноз з точністю більшою, ніж точність вимірів метеорологічних величин.

Якщо прогнозувати клімат на тривалий період близько 30 років, то регіональну побудову моделі потрібно робити на основі емпірики. Це дасть змогу виключити похибки, пов'язані з гіпотетичним включенням факторів, для яких не можна визначити розрахункову похибку. Слід ще раз наголосити, що це стосується прогнозу змін клімату на найближчий час. При прогнозуванні на більш тривалий період часу потрібно розглядати більшу кількість предикторів, кожен з яких може увійти в модель з похибками, які перекриють величину прогнозних змін. Виходячи з вказаного, найбільш реалістичною може бути модель клімату, що базується на даних багаторічних спостережень метеорологічної мережі, які мають похибки не більше 2%.

Таким чином, достовірність висновків, отриманих на основі емпірики, також не буде перевищувати похибку вимірювань і похибку розрахунків. Емпірико-статистична модель є відображенням реальних подій, інтегральним відображенням всіх процесів, які відбуваються на території України і прилеглих регіонів, а також глобального масштабу, це закладено в даних спостережень. Крім того, для наукового аналізу потрібно додатково застосовувати висновки дослідників, які висунуті на основі різних гіпотез.

Для розробки успішних емпірико-статистичних оцінок клімату України в майбутньому має значення вибір тривалості часового періоду, який може слугувати за аналог клімату України на майбутні 15–20 років. Слід зазначити, що фізично обґрунтовані лише результати розрахунків за моделями загальної циркуляції, усереднені за досить великі проміжки часу, близько 25–30 років. У міру зменшення інтервалу усереднення достовірність модельних оцінок скорочується і може стати досить низькою, якщо мова йде про одне–два десятиліття. Разом з тим для розробки стратегій адаптації до змін клімату найбільший інтерес становлять прогнози саме на такі невеликі проміжки часу. Критеріями, які визначають можливість побудови емпіричної моделі клімату України, є коефіцієнти кореляції між глобальною і регіональною температурою повітря (Україна), а також стабільність на різних інтервалах часу. Значення коефіцієнтів кореляції розраховувались за згладженням методом послідовного п'ятирічного осереднення рядів за весь період з 1900 по 2012 р. (R), а також окремо за 1900–1949 рр. (r_1), 1950–2012 рр. (r_2), 1911–1940 рр. (r_3), 1980–2012 рр. (r_4) (табл. 4.14).

Дані табл. 4.14 свідчать, що, в цілому, за весь період спостережень на території України існував зв'язок між глобальною і регіональною температурою повітря. В першу половину XX ст. та в період першого глобального потепління на території України значущий зв'язок між глобальною і регіональною температурою був відсутній. В другій половині XX ст., в XXI ст.

“індустріальний період” та в другий етап глобального потепління середньорічна температура виявилась достатньо добре зв'язана з глобальною температурою. Потрібно відмітити, що отримані параметри зв'язку регіональної і глобальної температури повітря значною мірою залежать від того, яким чином відбувається згладжування вихідних рядів температури. Якщо замість послідовного 5-річного використовувати 11-річне, то розрахункові значення коефіцієнтів кореляції між рядами будуть помітно збільшуватися, але при цьому довжина незалежної вибірки зменшиться настільки, що висновки статистичного аналізу не можна вважати цілком обґрунтованими.

Для умов потепління глобального клімату невеликого масштабу ($1.0^\circ \pm 0.2^\circ\text{C}$) була складена характеристика найбільш імовірної зміни клімату України до 2030 р., яка правомірна тільки для невеликого періоду часу (не більше 30 років). Для цього використовувався метод інструментальної змінної (М. І. Будико, К. Я. Вінніков, П. Г. Гройсман) [42, 43]. Слід зазначити, що ми були досить обережними в коефіцієнтах прибиавок до варіантів сценарію. У зв'язку з стрімким зростанням температури повітря в Україні потрібно зробити уточнення до запропонованих раніше сценаріїв.

При подальшій наявності зв'язку, який наближається до лінійного, досить реалістичне уявлення про клімат найближчого майбутнього можна отримати, використовуючи статистичні характеристики, розраховані за період, який межує з прогнозованим. Таким чином, для побудови сценарію клімату до 2030 р. можна використовувати усереднені багаторічні дані температури повітря за період 1980–2010 рр. (базовий сценарій), якому властиві найактивніші процеси потепління клімату в глобальному і регіональному масштабах (це математичне сподівання). Важливим є те, що цей період можна вважати найбільш статистично і фізично обґрунтованим для одержання модельних оцінок змін (переважно приросту температури повітря стосовно базового сценарію). З точки зору класичної кліматології, оптимально стійку середню норму можна отримати за 50–100 років і екстраполювати її на відповідні періоди вперед. Така процедура правомірна для стаціонарного клімату. Але збільшення темпів приросту температури буде спонукати до перерахунків “норми” після терміну її введення через 20–30 років. Безумовно успішність емпірико-статистичного прогнозу клімату зменшується у міру збільшення періоду екстраполяції, оскільки з часом зв'язки між минулим і майбутнім можуть послаблятися; тому треба робити послідовні уточнення у міру накопичення даних та враховувати ці розрахунки.

Емпірико-статистичне моделювання сценарію клімату України за температурою повітря на основі традиційних методів, які прийняті в сучасній кліматології.

Послідовно виконувались такі завдання:

- Усереднення за площею середньої місячної і річної

Таблиця 4.14.

Коефіцієнти кореляції між глобальною і регіональною температурою повітря за 1900–2013 рр., а також для першої 1900–1949 рр. (r_1), другої половини XX ст. та перших років XXI ст. “індустріальний період” 1950–2012 рр. (r_2), першого 1911–1940 рр. (r_3) і другого етапу потепління 1980–2012 рр. (r_4)

R	r_1	r_2	r_3	r_4
0.47	0.02	0.73	0.23	0.85

температури повітря (°C) за природними зонами (1951–2013 рр.) і по території України в цілому з метою зменшення різноманітних мікрокліматичних неоднорідностей території. Таке площинне усереднення є важливим для вивчення наслідків зміни клімату України за природними зонами.

- Для зменшення в ряду природної часової мінливості проведені розрахунки аномалії температури за місяцями, за теплий і холодний періоди, за рік відносно кліматичної норми (1961–1990 рр.), яка рекомендована (ВМО).
- Виявлення домінуючої тенденції на основі побудови трендів у віковому масштабі за 113 років, в “індустріальний період” (1951–2009 рр.), у період інтенсивного глобального потепління (1976–2013 рр.), а також в останні 18 років (1995–2013 рр.).
- Дослідження кореляційного зв’язку між глобальною і регіональною температурою повітря по Україні за 113-річний період спостережень, а також у період першого і другого глобального потепління.
- Вибір періоду — аналога в ряду інструментальних спостережень за температурою повітря для характеристики клімату в найближчий період (до 2030 р.).
- Побудова базового сценарію клімату України на декілька десятиріч вперед на основі математичного сподівання, розрахованого за період, який межує, з тим, що прогнозується (1980–2010 рр.).

Отже, побудова емпірико-статистичного сценарію зміни температури повітря для території України базується на відносно високому коефіцієнті кореляції між глобальною і регіональною (Україна) температурою повітря. Найбільш значущим ($r > 0.85$) він був у період 1980–2010 рр. Зроблено висновок, що на значному часовому інтервалі з початку і впродовж XX ст. зв’язок двох змінних зберігався, тому логічно припустити, що 100-річний позитивний зв’язок проявиться і на короткому інтервалі часу.

За наявності наближеного лінійного зв’язку між глобальною та регіональною температурою повітря уявлення про клімат майбутніх десятиріч можна отримати, використовуючи статистичні характеристики, розраховані у період, який межує з прогнозованим. Таким чином, для побудови сценарію клімату до 2030 р. базою є усереднені багаторічні дані температури повітря у період 1980–2010 рр. за місяцями і за рік. Умовною назвою його буде базовий сценарій температури повітря, який може бути дійсним до 2030 р. (табл. 4.15).

Таким чином, запропоновано 4 версії емпірико-статистичних сценаріїв клімату України з урахуванням коефіцієнта приросту по десятиріччях.

- Перший, оптимістичний, — за умови стабілізації клімату України на найближчі три десятиріччя (за відсутності приросту температури).
- Другий, тривожний, — за умов збереження у перші три десятиріччя XXI ст. темпів приросту температури, які спостерігались за період 1980–2010 рр. (0.15–0.2°C за десятиріччя) табл. 4.15. Його слід вважати найбільш імовірним (або базовим).
- Третій, песимістичний, — за умов збільшення темпів приросту до 0.3°C і більше за десятиріччя.
- Четвертий, катастрофічний — за умов збільшення темпів приросту температури понад 0.4°C за десятиріччя.

Постає питання про корегування базового сценарію, який у загальних рисах характеризує клімат України на межі XX і XXI ст., а саме про величину змін температурних показників сценарію на 2–3 десятиріччя вперед або у першій половині XXI ст. Часові межі дії індексів, як і базового сценарію, залежать від збереження інерції кліматичної системи у глобальному масштабі на умовах стабілізації викидів ПГ в атмосферу. Таким чином, пропонується обережний підхід до оцінок змін клімату в майбутньому, який базується на фактичних спостереженнях за кліматом України та на гіпотезі впливу на клімат антропогенного фактора. Крім того, чергування періодів зниження та підвищення сонячної активності також потребує додаткових розрахунків та уточнень. Деякі дослідники стверджують, що 24-й період спаду сонячної активності призведе до зниження приросту температури повітря після 2010 р. [96].

Слід зазначити, що процес потепління не завжди буде відбуватися по зростаючій, інколи внаслідок існування природної періодичності на 3–5...10 років може уповільнитися через квазіперіодичність в рядах місячних, сезонних, річних температур. Таким чином, декілька років процес потепління буде відбуватися з меншою інтенсивністю, але зниження річної температури поки не очікується. Інші і більш складні закономірності можуть спостерігатися за сезонами і окремими місяцями. Але така схема розвитку термічного режиму не є універсальною. Сучасна наука не може досконало визначити на 10–20 років вперед особливості змін і коливань клімату в окремі місяці в кожному конкретному пункті або регіоні України. Але загальна картина прогнозів для України на 15–25 років, які давалися раніше, справдилася всупереч різним сумнівам і критичним зауваженням на адресу кліматичних прогнозів глобального і регіонального (для території України) характеру.

Висновки

На основі вивчення багатьох інформаційних джерел, які стосуються побудови сценарію клімату майбутнього, зроблено висновок, що різноманітність

Таблиця 4.15.

Базовий сценарій режиму температури повітря (°C) до 2030 р.

Природні зони	Δt , °C за 10 років	Δt , °C за 60 років
Зона мішаних лісів	0.2	1.6
Зона широколистяних лісів	0.2	1.5
Лісостепова зона	0.3	1.8
Степова зона	0.1	0.8
Крим	0.01	0.1
Регіон Карпат	0.1	0.6

факторів, які діють у глобальній кліматичній системі через численні лінійні та нелінійні, прямі та зворотні зв'язки, ускладнюватимуть прогнозування стану системи, якщо його здійснювати, опираючись лише на фактори зміни складу атмосферного повітря за рахунок ПП. Тому більш реалістичним можна вважати сценарій, розрахований на основі емпірико-статистичних даних.

Достовірність запропонованого емпірико-статистичного сценарію зумовлюється його реалістичністю, оскільки він базується на кліматичних нормах, середніх багаторічних характеристиках, які отримано за вихідною інформацією, що пройшла

незалежний експертний контроль у підрозділах геофізичної обсерваторії та УкрНДГМІ. Крім того, слід зазначити, що при прогнозуванні клімату інформацію необхідно доводити до максимальної досконалості; для цього потрібно постійно її переглядати та уточнювати кожні 5–10 років. Також поряд з існуючими довідниковими матеріалами слід розглядати прогнози, що попереджають про динамічний розвиток процесів у кліматичній системі, які нормативні документи не відображають, тобто це своєрідні “поправки” до нормативних документів. Це особливо потрібно враховувати при плануванні та веденні господарської діяльності в країні.

Література — див. розділ 4, підрозділи 4.4–4.7

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 можливості 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. Сахацького, 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 ТМ та ETM+ з супутників Landsat 4, 5 та Landsat 7

Landsat 4, 5 / ТМ				Landsat 7 / ETM+			
Номер каналу	Просторове розрізнення, м	Початок, нм	Кінець, нм	Номер каналу	Просторове розрізнення, м	Початок, нм	Кінець, нм
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_{λ} — 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

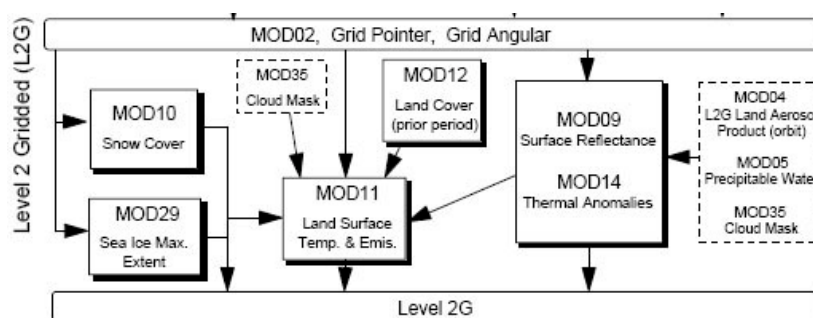


Рис. 4.11. Формування температури наземної поверхні (LST) за даними з супутника TERRA/MODIS

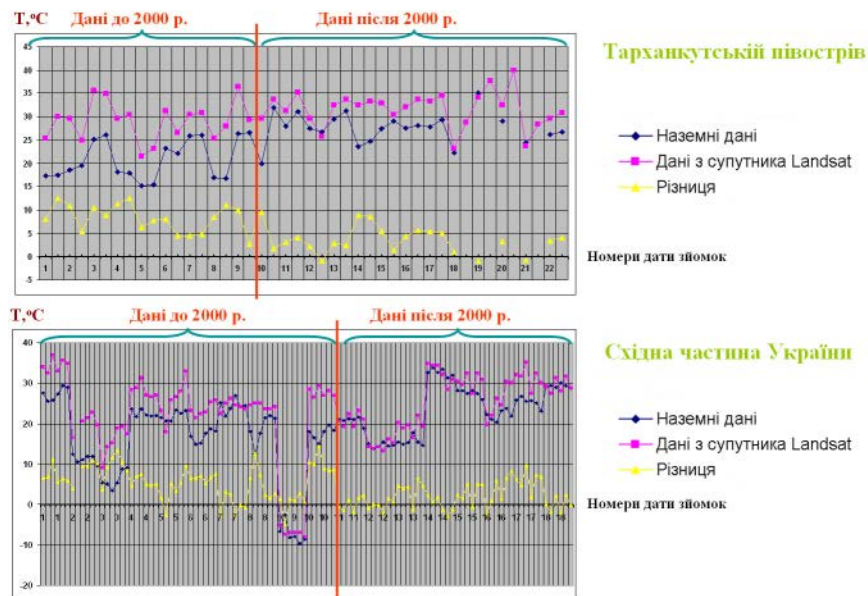


Рис. 4.12. Хід температури за наземними та супутниковими даними Landsat 4, 5

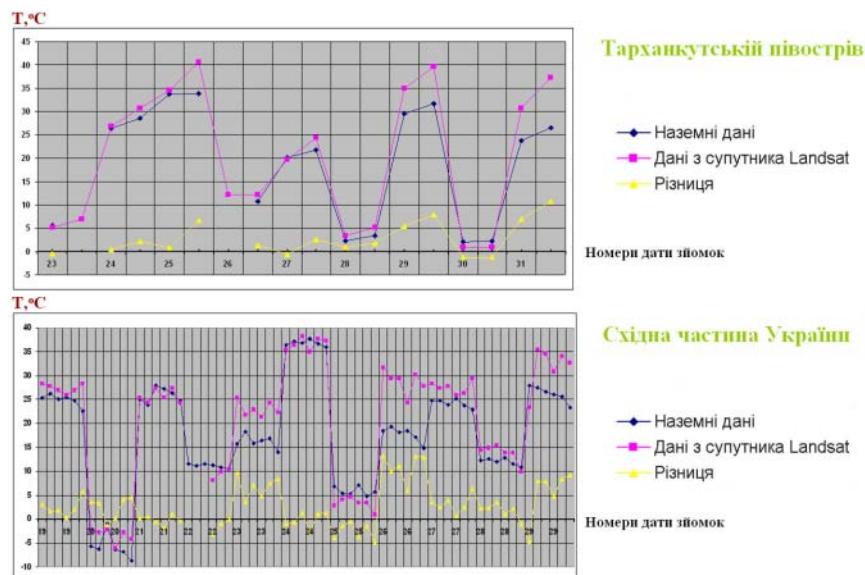


Рис. 4.13. Хід температури за наземними та супутниковими Landsat 7 даними

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°C, для осені мінус 0.2°C, та для весни — 2.4°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-

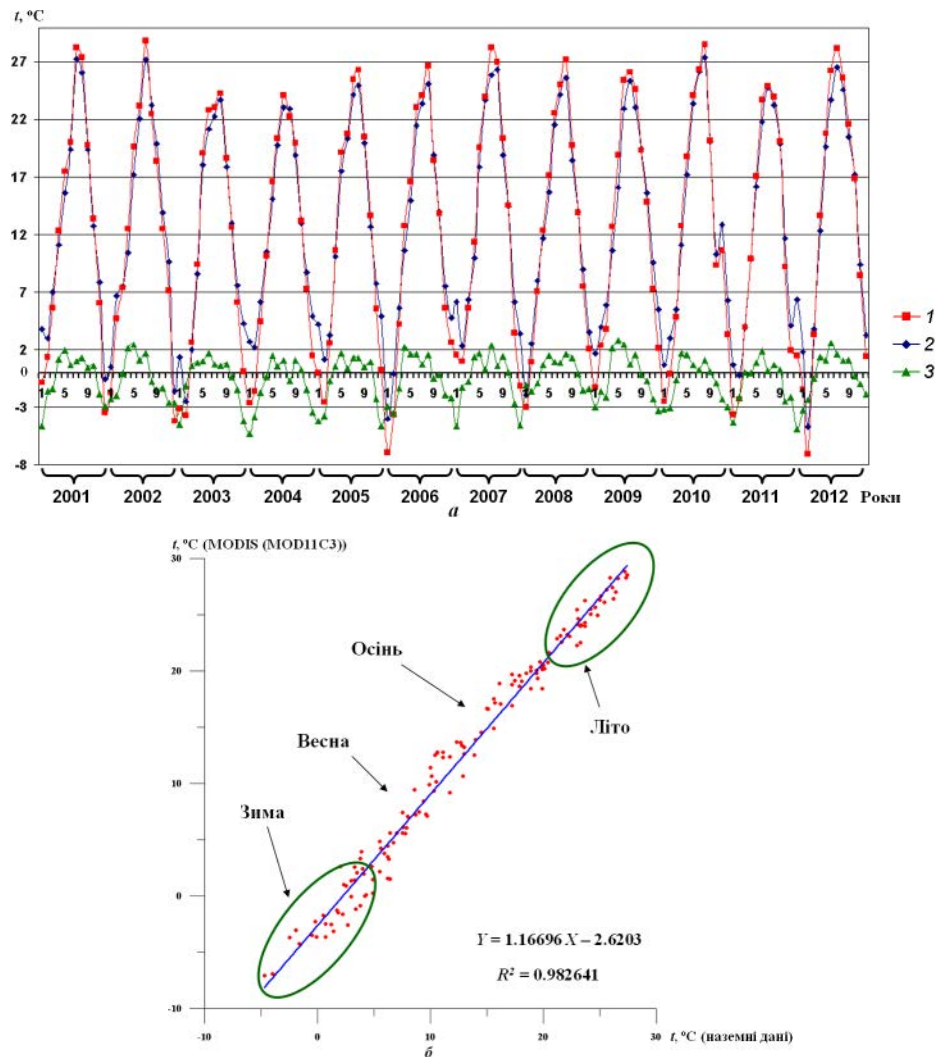


Рис. 4.14. Зіставлення наземних місячних значень температури за даними метеостанції «Євпаторія» та температури земної поверхні за даними продукту MOD11C3: а) графік наземних та супутникових даних температури та їх розходження; б) рівняння регресії та коефіцієнт кореляції.

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 відграють 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, багатовікове 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 обчислена 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 води. 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 води, 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

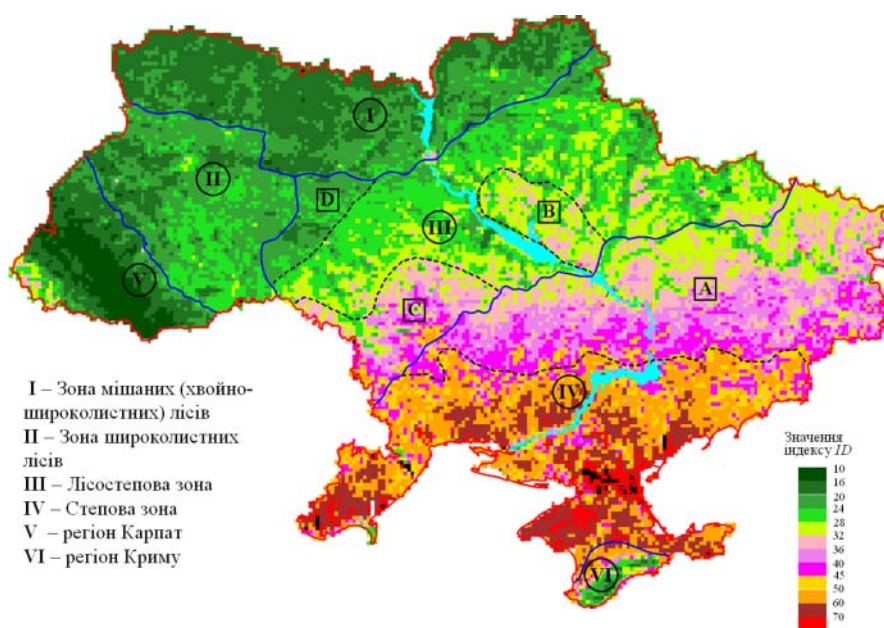


Рис. 4.15. Моніторинг земного покриття на основі використання індексу посухи ID на території України за 2007 р.

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°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; $0.6\text{--}0.7$ — недостатнє зволоження (дуже сухо); $0.8\text{--}0.9$ — сухо (посуха не інтенсивна); $1.0\text{--}1.2$ — недостатня вологість; $1.3\text{--}1.6$ — помірна вологість; > 1.7 — надмірна вологість [62].

Значення ГТК вираховувалось 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 доквіля 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:

$$ID = (Td + Tn) / NDVI \quad (4.6)$$

де Td — денна температура; Tn — 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 загибелі 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 враховують 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 сьйва, 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 антициклону 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 антициклону, 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

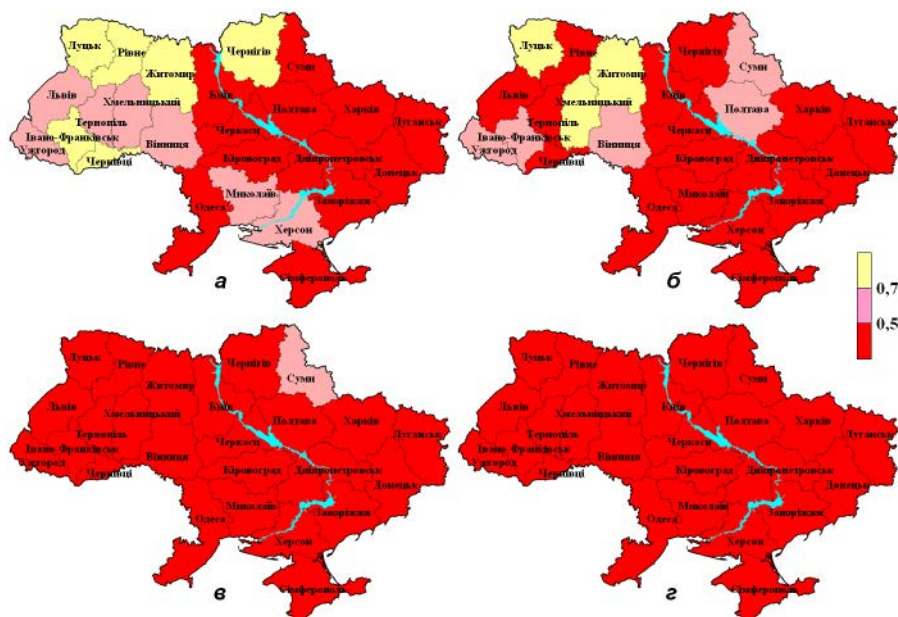


Рис. 4.17. Показники ГТК за 2009 р. (ГТК): а) травень–червень; б) червень–липень; в) липень–серпень; г) травень–вересень

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-

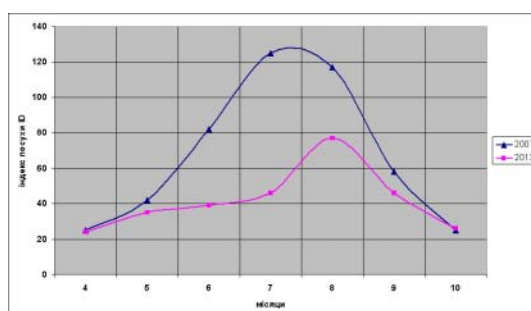


Рис. 4.18. Графік розподілу індексу посухи ID (Index of Drought) для обраного об'єкта за 2007 та 2013 рр. (О. І. Сахацький, О. А. Апостолов [102])

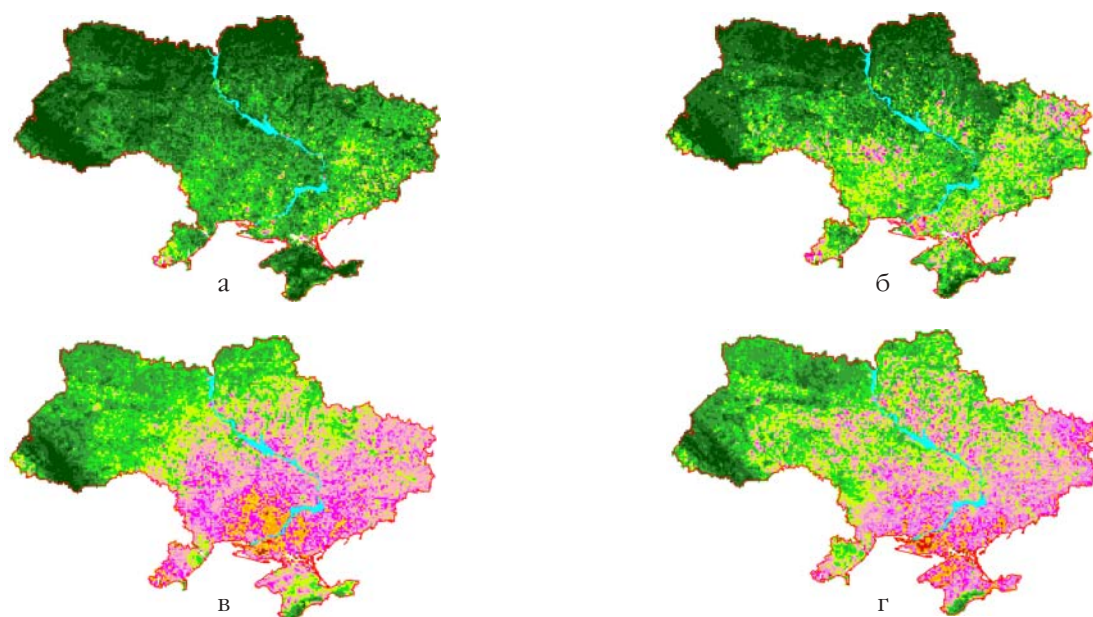


Рис. 4.19. Порівняння значень індексу посухи ID за весняними місяцями: а — квітень 2007 р., б — квітень 2013 р., в — травень 2007 р., г — травень 2013 р.

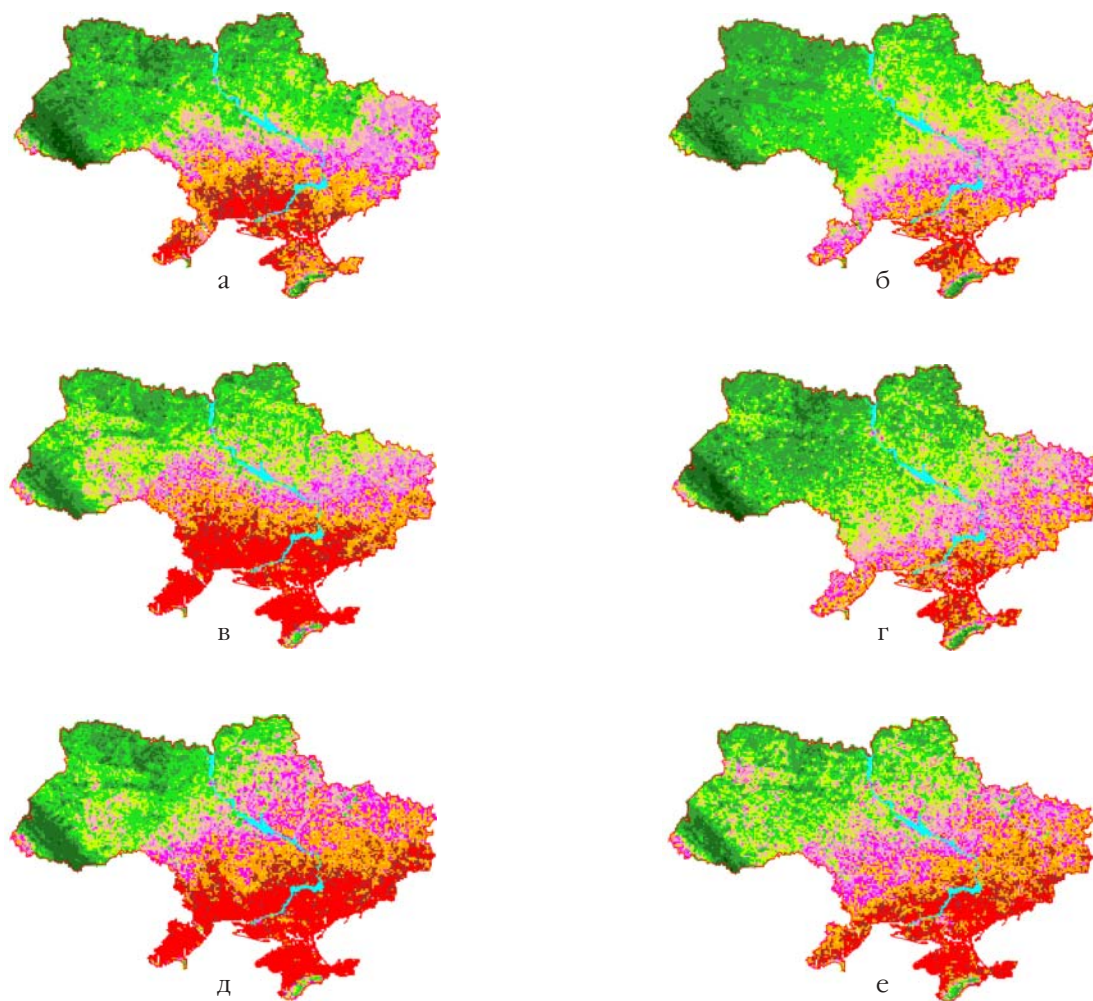


Рис. 4.20. Порівняння значень індексу посухи ID за літніми місяцями: а — червень 2007 р., б — червень 2013 р., в — липень 2007 р., г — липень 2013 р., д — серпень 2007 р., е — серпень 2013 р.

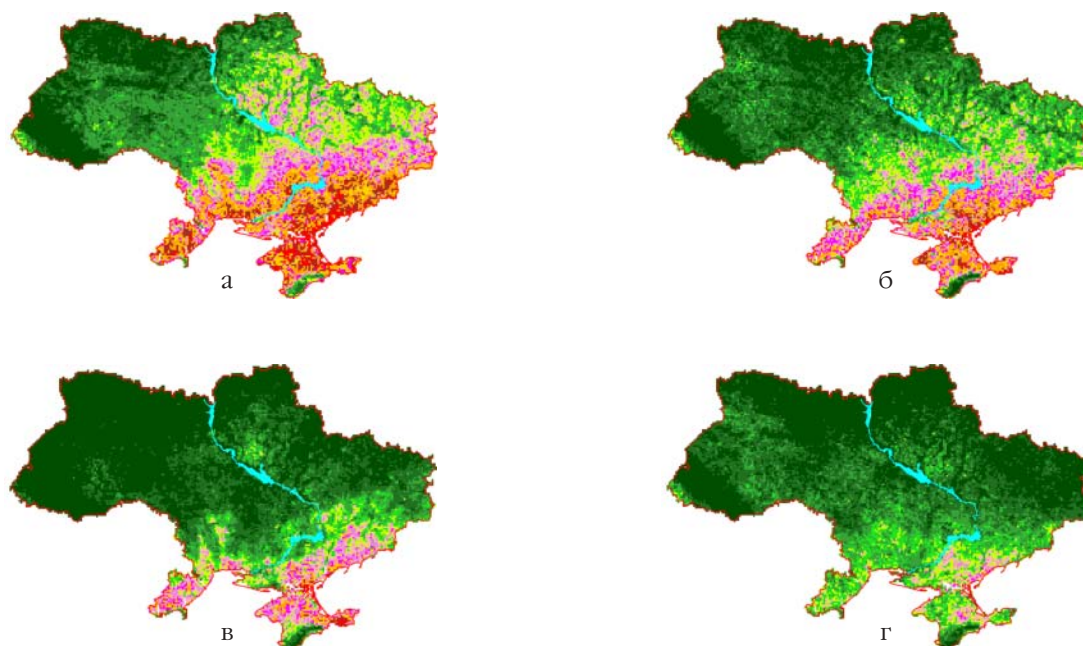


Рис. 4.21. Порівняння значень індексу посухи ID за осінніми місяцями: а — вересень 2007 р., б — вересень 2013 р., в — жовтень 2007 р., г — жовтень 2013 р.

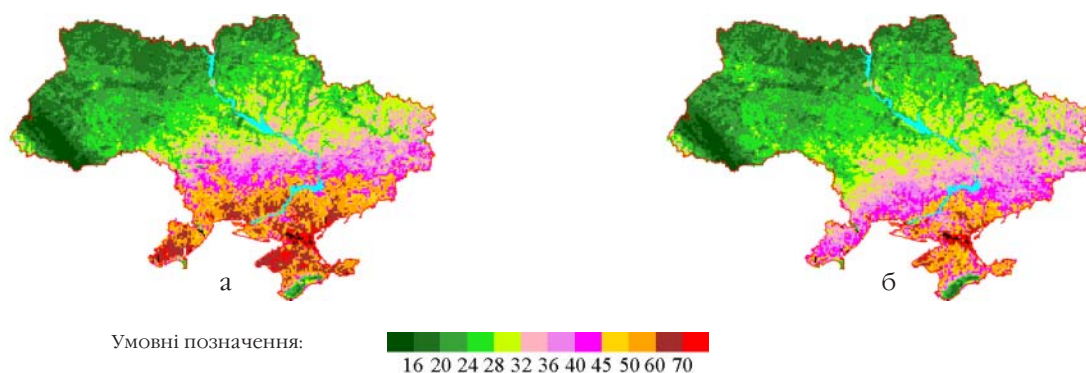


Рис. 4.22. Порівняння усереднених значень індексу посухи ID за період з квітня по жовтень 2007 та 2013 р.: а — за 2007 р., б — за 2013 р.

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 умов 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-широколистих) 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 посівних 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-широколистих) 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 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 CO_2 на продуктивність (при всіх інших рівних умовах) призведе до 10–50 % набирання в накопиченні сухої речовини більшості видів рослин при подвоєнні концентрації CO_2 . Збільшення концентрації CO_2 призведе до росту інтенсивності фотосинтезу в рослинах [76]. Підвищення концентрації CO_2 , за оцінками багатьох вчених [76], вплине на якість врожаю. Високий рівень CO_2 зазвичай знижує вміст азоту в листках, стеблах і плодах. При підвищеному вмісту 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 ПГ 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 ПГ;
- розробка оцінок і прогнозів впливу господарської діяльності на клімат і, навпаки, клімату на господарську діяльність;
- розробка СНП 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 XX і з початку XXI 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

- Агрометеорологічний огляд по території України за 2011–2012 сільськогосподарський рік / За ред. М. І. Кульбиди, Т. І. Адаменко. — К., 2012. — 39 с.
- Агрометеорологічний огляд по території України за 2012–2013 сільськогосподарський рік / За ред. М. І. Кульбиди, Т. І. Адаменко. — К., 2013. — 39 с.
- 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.
- Анисимов О. А. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI в. / О. А. Анисимов, В. А. Лобанов, С. А. Ранева // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 10. — С. 20–30.
- Бабиченко В. М. Температура воздуха на Украине / В. М. Бабиченко [и др.] / Л.: Гидрометиздат, 1987. — 396 с.
- Бабиченко В. Н. Стихийные метеорологические явления на Украине и в Молдавии / В. Н. Бабиченко / Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 224 с.
- Балабух В. О. Регіональні особливості розподілу небезпечних і стихійних конвективних явищ погоди при переміщенні на Україну циклонів і фронтів з північною складовою наприкінці XX ст. // Матеріали Міжнар. конф. “Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища-2002”. Ч. 1. — Одеса, 2003. — С. 31–36.
- Балабух В. О. Зміна розподілу небезпечних і стихійних конвективних явищ погоди наприкінці XX 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.
- 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.
- Барабаш М. Зміна глобального клімату і проблема опустелювання в Україні / М. Барабаш, М. Кульбіда, Т. Корж // Наук. зап. Тернопіл. держ. пед. ун-ту. Сер. Географія. — 2004. — № 2. — ч.1 — С. 82–88.
- Барабаш М. Сценарії режиму температури повітря в перші десятиріччя XXI ст. за фізико-географічними зонами України / М. Барабаш, Л. Ткач // Водне господарство. — 2005. — № 3. — С. 47–54.
- 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.
- Барабаш М. Б. Изменение частоты стихийных явлений в Украине на фоне глобального и регионального изменения климата к началу XXI ст. / М. Б. Барабаш, Н. П. Гребенюк, О. Г. Татарчук // Материалы Международ. науч. конф. — Санкт-Петербург. — 2002. — С. 564–565.
- Барабаш М. Б. Изменения и колебания климата / М. Б. Барабаш, Е. И. Тарасова // Климат Полтавы / под ред. В. Н. Бабиченко. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — С. 184–189.
- Барабаш М. Б. Изменения и колебания климата / М. Б. Барабаш, Е. И. Тарасова // Климат Кишинева / под ред. В. Н. Бабиченко. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — С. 184–189.
- Барабаш М. Б. Связь циркуляционных процессов с температурой воздуха зимой / М. Б. Барабаш, Е. И. Тарасова // Тр. УкрНИГМИ. — 1983. — Вып. 196. — С. 52–60.
- Барабаш М. Б. К характеристике атмосферных процессов зимой на Украине / М. Б. Барабаш, О. Г. Татарчук // Тр. УкрНИГМИ. — 1986. — Вып. 216. — С. 88–95.
- 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.
- 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.: Гидрометеиздат, 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. Будыко М. И. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата / М. И. Будыко // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 4. — С. 39–50.
 27. Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем / М. И. Будыко. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 351 с.
 28. Будыко М. И. Климат и жизнь / М. И. Будыко. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 472 с.
 29. Будыко М. И. О происхождении ледниковых эпох / М. И. Будыко // Метеорология и гидрология. — 1968. — № 11. — С. 3–12.
 30. Будыко М. И. О термической зональности Земли / М. И. Будыко // Метеорология и гидрология. — 1961. — № 11. — С. 7–14.
 31. Будыко М. И. Полярные льды и климат / М. И. Будыко // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1962. — № 6. — С. 3–10.
 32. Будыко М. И. Современное изменение климата / М. И. Будыко. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 47 с.
 33. Будыко М. И. Эволюция биосферы / М. И. Будыко. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 484 с.
 34. Будыко М. И. Глобальное потепление / М. И. Будыко, К. Я. Винников // Метеорология и гидрология. — 1976. — № 7. — С. 16–26.
 35. Будыко М. И. Закономерности влагооборота в атмосфере / М. И. Будыко, О. А. Дроздов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1953. — № 4. — С. 167–170.
 36. Будыко М. И. О причинах изменений влагооборота / М. И. Будыко, О. А. Дроздов // Вод. ресурсы. — 1976. — № 6. — С. 35–44.
 37. Булыгина О. Н. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России / О. Н. Булыгина [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.: Гидрометеиздат, 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.: Гидрометеиздат, 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. Щепаченко, Р. Василишин, Ю. Марчук]. — Корсунь-Шевченківський: ФОП 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 УкрНДІГМІ. — 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. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — М.: Гидрометеиздат, 1984. — 559 с.
56. Израэль Ю. А. Роль стратосферных аэрозолей в сохранении современного климата / Ю. А. Израэль, И. И. Борзенкова, Д. А. Северов // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 1. — С. 5–14.
57. Израэль Ю. А. Проблема антропогенных выбросов криптона-85 в атмосферу / Ю. А. Израэль, 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 СМІР 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. Агrometeorologічні 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 CO₂ та CH₄ 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. И. Особенности дистанционного зондирования Земли при исследовании глобальных и региональных изменений климата / В. И. 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 протязі 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 XX 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 ХХІ 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.: Гидрометеиздат, 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 ХХІ 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/vol2/395-407.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>

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

Дані правила складено на основі “Вимог ВАК до наукової статті, опублікованої у фаховому виданні” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а також “Положення про електронні наукові фахові видання” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Журнал є електронним науковим фаховим виданням, яке розповсюджується в мережі Інтернет у вільному доступі.

Журнал висвітлює нові дані науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати експериментальних досліджень, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо. Розглядаються переважно об’єкти України, а також інших країн, якщо вони становлять загальнонауковий інтерес.

Журнал має такі розділи:

- наукові основи дистанційного дослідження Землі;
- методи і засоби оброблення та інтерпретації аерокосмічної інформації;
- використання інформації дистанційного дослідження Землі.

Видання орієнтовано на широке коло фахівців, практиків, науковців, викладачів, інженерів, аспірантів, студентів.

Редакція розглядає представлені матеріали з дотриманням авторських прав і етичних норм наукової публікації (Додаток 1).

Редакція приймає матеріали, які надаються українською, російською або англійською мовами.

Представлення рукописів

Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua або ж на альтернативних електронних носіях за адресою: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олеса Гончара, 55-Б, редакція журналу “Український журнал дистанційного зондування Землі”. Якщо об’єм графічних матеріалів перевищуватиме ліміт електронної

пошти, їх надсилають окремими листами з позначкою “Додаток до листа (назва листа)”.

До рукопису додають акт експертизи установи, де виконана робота, відомості про авторів (ім’я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступень та вчене звання, повна офіційна назва установи, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (див. Додаток 2) у форматі JPEG/PDF або паперові примірники.

Загальні вимоги

Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати основні результати досліджень, а не перелік питань розглянутих у статті. Рекомендується розбити матеріал статті на розділи (вступ, висновки і т. ін.). У кінці рукопису розміщують список використаних джерел, а після нього — назву статті, ініціали та прізвища авторів, резюме а також ключові слова двома мовами (російською та англійською, українською та англійською, або ж українською та російською відповідно до мови, якою написана стаття).

Оформлення рукопису

Формат документу — Word-97–2003. Гарнітура — Times New Roman. Кегль — 10–12 пунктів. Розмір сторінки — А4.

Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Виключка (вирівнювання) — по ширині, або по лівому краю.

Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення — не менше 300 dpi/inch у масштабі сторінки, кольорова модель CMYK/RGB.

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті (без аббревіатур, звичайне накреслення)
- Ініціали та прізвище автора (авторів). Ініціали відділяють проміжками (пробілами)
- Повна офіційна назва установи (установ), де виконано роботу, місто, країна (якщо автори працюють у різних установах перед назвою установи і після прізвища ставлять однукову цифру (верхній індекс))
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед ним та після прізвища ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті
- Ключові слова мовою статті
- © (знак авторського права), ініціали та прізвища авторів, рік
- Текст статті
- Список літератури
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме (abstract), а також ключові слова (keywords) двома мовами окрім мови статті

Текст

Пробіли (проміжки). Слова, ініціали, скорочення, знаки математичних операцій, тире ($\kappa\epsilon$, $\times$, $c.$, $p.$, *i t. in.*, *мкм*, *Д. І. Менделєєв* тощо) відділяють пробілами (але лише одним!). За правилами правопису проміжок обов'язовий після будь-якої крапки, адже крапка — ознака нового слова. Цією нормою де-факто часто нехтують між ініціалами, а між “і т. д...” і т. п.” — практично завжди. За нормами правопису не відділяють пробілами тире між цифрами (наприклад: 25–40 м), а також дефіс. Не ставлять пробіли усередині скобок, лапок, перед комою, крапкою, двокрапкою.

Не слід робити абзацний відступ за допомогою пробілів або табулятора! Для набору слів врозрядку користуйтеся не пробілами а міжлітерним інтервалом (Формат / Шрифт / Інтервал / Разреженный). Не набирайте текст увімкнувши Caps Lock.

Прізвища. Нагадуємо, що в текстах написаних українською мовою чоловічі українські та інші слов'янські прізвища відмінюються як відповідні іменники, а жіночі на приголосний та **о** — ні. Порівняйте: *...у роботі Марії Сенник — Василя Сенника, ...дякуючи Надії Балій — Михайлові Балієві, ...за Ніною Байко — за Андрієм Байком*. Отже роблячи посилання на автора, який Вам відомий лише за ініціалами і прізвище якого закінчується на приголосний або на **о**, Вам доведеться дізнатися про його стать.

Формули треба набирати у редакторі

Microsoft Equation, і не вставляти їх у текст у вигляді таблиць або зображень. Будь ласка, не користуйтеся програмою Math Type. Не використовуйте у формулах замість відповідних символів грецької абетки схожі за накресленням латинські або кириличні символи (наприклад: k , κ , κ замість κ (каппа), x замість χ (хі)), а замість знака множення ($\times$) літеру x . Формулам треба присвоювати наскрізну нумерацію.

Таблиці. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Формат — MS Word. Заголовки рядків і стовпців повинні бути якомога стислими, скорочень (окрім загальноприйнятих) треба уникати. Довгі і складні заголовки рекомендується оформити у зносках до таблиці. Усі таблиці повинні мати номери (якщо їх більше однієї) і заголовки (назви). Посилання на них у тексті обов'язкове.

Ілюстрації

Усі рисунки потрібно пронумерувати (якщо їх більше одного). Посилання на них у тексті обов'язкове.

Ілюстрації (знімки, схеми, діаграми) вмонтовують у документ Word і *представляють окремими файлами у форматі TIFF* з розрізненням не менше 300 dpi на дюйм у масштабі публікації (формат публікації — A4). Рисунки повинні мати умовні знаки — “прямокутнички” з цифрою поряд.

Назву рисунка та пояснення умовних позначень треба винести до тексту.

Підписи під рисунками повинні виглядати так:

Рис. 1. Назва рисунка (якщо у рукописі лише один рисунок, слово “Рис.” не пишуть)

1 — пояснення умовного знака під номером 1; 2 — пояснення умовного знака під номером 2; 3 — пояснення умовного знака під номером 3 і так далі.

Графіки мають бути виконані з використанням графічних редакторів, які щонайменше відповідають рівню MS Excel. Не представляйте виконані від руки та відскановані матеріали.

Література

Посилання на літературне джерело у тексті подають у квадратних скобках. У скобках указують порядковий номер роботи що цитується у списку літературних джерел. *Список літератури роблять за алфавітом.*

За алфавітним порядком спочатку ідуть джерела українською та російською мовами, а після — згідно латинської абетки — англійські — у порядку латинського алфавіту.

Бібліографічний опис документів складають згідно стандарту бібліографічного опису документів ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. (*Стандарт легко можна знайти у Інтернеті*).

При скороченні слів користуються ДСТУ 3582-97

“Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” та ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. При створенні опису іноземною мовою дотримуються також вимог ГОСТ 7.11-78 “Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках в библиографическом описании произведений печати”.

Бібліографічні описи складають *de visu*, безпосередньо за оригіналами видань.

Роботи одного і того ж автора наводять у хронологічному порядку. Роботи одного і того ж самого автора у разі наявності співавторів розміщують у алфавітному порядку з урахуванням прізвища другого автора.

ДОДАТОК 1

Авторські права і етичні норми наукової публікації

Передаючи матеріали до редакції, автор гарантує наявність у нього авторських прав на рукопис і дає згоду на публікацію тексту і метаданих статті (включаючи прізвища та ініціали авторів, місця їх роботи і e-mail автора для кореспонденції) в журналі, що має на увазі поширення в друкованому варіанті, розміщення електронних копій в мережі Інтернет на сайтах журналу і спеціалізованих наукових баз даних (у тому числі наукометричних), переклад іноземними мовами. При цьому за автором зберігається право використання опублікованого в журналі матеріалу в особистих (наукових, викладацьких) цілях. Але відтворення опублікованої інформації третіми особами в будь-якому вигляді, включаючи переклад іншими мовами, можливе лише з дозволу редакції з обов'язковим зазначенням повного бібліографічного посилання.

При поданні рукопису до редакції автори гарантують відсутність у них раніше опублікованих або поданих на розгляд в інші наукові видання матеріалів з аналогічним змістом. В іншому випадку автори повинні надати редактору інформацію щодо попередньої публікації даних, що містяться в статті.

ДОДАТОК 2

Авторська згода

(документ має бути підписаний відповідальним автором публікації)

Автори, направляючи рукопис у редакцію “Українського журналу дистанційного зондування Землі”, погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист і використання рукопису (переданого до редакції журналу матеріалу, в т. ч. такі охоронювані об'єкти авторського права як фотографії автора, рисунки, схеми, таблиці тощо), в тому числі на відтворення у пресі та в мережі Інтернет; на поширення; на переклад рукопису на будь-які мови; експорту та імпорту примірників журналу зі статтею авторів з метою розповсюдження, на доведення до загального відома. Зазначені вище права автори передають редакції без обмеження терміну їх дії і на території всіх країн світу без обмеження, в т. ч. на території України.

Автори гарантують наявність у них виняткових прав на використання переданого редакції матеріалу. Редакція не несе відповідальності перед третіми особами за порушення даних авторами гарантій. За Авторами зберігається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і освітніх цілях. Права на рукопис вважаються переданими Авторами редакції з моменту підписання до друку випуску журналу, в якому він публікується. Передрук матеріалів, опублікованих у журналі, іншими фізичними та юридичними особами можливий тільки зі згоди редакції, з обов'язковим зазначенням випуску журналу, в якому було опубліковано матеріал.

Я (відповідальний автор) підтверджую, що я достатньою мірою брав участь у розробці концепції/дизайну цієї роботи, аналізі даних, а також написанні рукопису для прийняття відповідальності за це. Я ознайомлений з остаточним варіантом рукопису і затвердив його для публікації. Жодного рукопису з аналогічним змістом не було опубліковано під моїм авторством і не розглядається для публікації в інших виданнях. Я також ознайомлений з вищенаведеними умовами опублікування рукопису та приймаю їх.

Дата, підпис

Адреса редакції: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олесь Гончара, 55-Б

Редакція “Українського журналу дистанційного зондування Землі”

Тел.: +380 44 486 94 05, 484 04 85; факс: +380 44 486 94 05, 486 1430. www.ujrs.org.ua

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ

Данные Правила составлены на основе “Требований ВАК Украины к научной статье, опубликованной в научном издании” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а также “Положения об электронных научных изданиях” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Журнал является электронным научным изданием, которое распространяется в сети Интернет в свободном доступе.

В журнале публикуются новые данные науки и практики, теоретические разработки, научные обобщения, результаты экспериментальных исследований, дискуссионные вопросы, новые концепции, гипотезы и т. п. Рассматриваются преимущественно объекты Украины, а также других стран, если они представляют общенаучный интерес.

Журнал имеет следующие разделы:

- научные основы дистанционного исследования Земли;
- методы и средства обработки и интерпретации аэрокосмической информации;
- использование информации дистанционного исследования Земли.

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов, практиков, ученых, преподавателей, инженеров, аспирантов, студентов.

Редакция рассматривает материалы публикаций с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации (Приложение 1).

Редакция принимает материалы, которые представляются на украинском, русском и английском языках.

Представление рукописей

Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua, или на альтернативных электронных

носителях по адресу: Украина, 01601, г.Киев, МСП, ул. Олеса Гончара, 55-Б, редакция журнала “Украинский журнал дистанционного зондирования Земли”.

К рукописи прилагается акт экспертизы учреждения, где выполнена работа, сведения об авторах (учреждения, должности, научные степени и ученые звания), а также “Авторское соглашение” за подписью ответственного автора (см. Приложение 2) в формате JPEG/PDF. В случае принятия статьи на почтовый адрес редакции высылаются отпечатанные экземпляры рукописи и сопроводительных документов.

Общие требования

Статья может быть написана на украинском, русском или английском языках и должна иметь резюме (abstrakt), а также ключевые слова. Аннотация должна содержать основные результаты исследований, а не перечень вопросов, рассмотренных в статье. Рекомендуется разбить материал статьи на разделы (введение, выводы и т. д.). В конце рукописи размещают список использованной литературы, а после него — название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме и ключевые слова на двух языках (русском и английском, украинском и английском, или на русском и украинском соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи

Формат документа — Word-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch, цветовая модель CMYK/RJB.

Размер страницы — А4. Текст форматируют без переносов, абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки.

Структура рукописи:

- УДК
- Название статьи (строчными буквами)
- Инициалы и фамилия автора (авторов). Инициалы отделяют пробелами
- Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна

Если авторы работают в разных учреждениях перед названием учреждения и после фамилии ставят одинаковую цифру (верхний индекс)

- Электронный адрес или тел/факс ответственного автора. Перед ним и после фамилии ставят астериск (звездочку)

- Резюме на языке статьи
- Ключевые слова на языке статьи
- © инициалы и фамилии автора/авторов. Год
- Текст статьи
- Список литературы
- Название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме (abstrakt), а также ключевые слова на двух языках (русском и английском; русском и украинском, украинском и английском соответственно).

Текст

Пробелы. Слова, инициалы, сокращения, знаки математических операций, тире (кг, с., р., и т. д., км, Д. И. Менделеев и тому подобное) отделяют пробелами (но лишь одним!). Согласно правилам правописания пробел обязателен после любой точки, ведь точка — это признак нового слова. Этой нормой де-факто часто пренебрегают между инициалами, а между “и т. д., и т. п.” — увы! — практически всегда. Пробелом не нужно отделять тире между цифрами (например: 25–40 м), а также дефис. Не делают пробел в середине скобок, кавычек, перед запятой, точкой, двоеточием.

Не нужно делать азачный отступ с помощью пробелов или табулятора! Для набора слов вразрядку пользуйтесь не пробелами а межбуквенным интервалом (Формат / Шрифт / Интервал / Разреженный). Не набирайте текст включив Caps Lock.

Фамилии. Напоминаем, что в текстах написанных по-украински мужские украинские и прочие славянские фамилии склоняются как соответствующие существительные, а женские на согласный и **о** — нет. Сравните: ...у роботі Марії Сенник — Василя Сенника, ...дякуючи Надії Балій — Михайлові Балієві, ...за Ніною Байко — за Андрієм Байком. Итак, если вы пишете по-украински, ссылаясь на автора, который Вам известен лишь по инициалам и фамилия которого заканчивается на согласный или **о**, Вам придется разузнать мужчину ли это или женщина.

Таблицы. Формат таблиц — MS Word. По возможности форматируйте таблицы в книжной ориентации. Размер кегля в таблицах можно

уменьшить до 9 пунктов. Заголовки в таблицах делайте как можно более краткими, сокращений (кроме общепринятых) нужно избегать. Длинные и сложные заголовки рекомендуется оформлять в качестве сносок к таблице. Все таблицы должны иметь номера (если их больше одной) и заголовки. Ссылки на них в тексте обязательны. Не вставляйте таблицы как изображения!

Формулы следует набирать в редакторе Microsoft Equation, и не вставлять их в текст в виде изображений. Формулам надо присваивать сквозную нумерацию.

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

Иллюстрации

Все рисунки нужно пронумеровать (если их больше одного). Ссылки на них в тексте обязательны.

Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вставляют в документ Word и представляют отдельными файлами в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi на дюйм в масштабе публикации. Рисунки должны иметь условные знаки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. *Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.*

Подписи под рисунками должны выглядеть так:

Рис. 1. Название рисунка (если в рукописи только один рисунок слово “Рис.” не пишут).

1 — пояснение условного знака под номером 1; 2 — пояснение условного знака под номером 2 и т. д.

Графики должны быть выполнены с использованием графических редакторов, которые, по крайней мере, отвечают уровню MS Excel. Не представляйте выполненные от руки и отсканированные материалы.

Литература

Ссылки на литературный источник в тексте подают в квадратных скобках. В скобках указывают порядковый номер работы, цитируемый в списке литературных источников. *Список литературы делают по алфавиту.* В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — англоязычные — в порядке латинского алфавита. *Библиографическое описание документов составляют по стандарту библиографического описания документов ДСТУ ГОСТ 7.1:2006* (ГОСТ без труда можно отыскать в Интернете).

При сокращении слов пользуются ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” а также ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. Библиографическое описание составляют de visu, непосредственно в соответствии с оригиналом издания.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Авторские права и нормы научной публикации

Передавая материалы в редакцию, автор гарантирует наличие у него авторских прав на рукопись и дает согласие на публикацию текста и метаданных статьи (включая фамилии и инициалы авторов, места их работы и e-mail автора для корреспонденции) в журнале, что подразумевает распространение в печатном варианте, размещение электронных копий в сети Интернет на сайтах журнала и специализированных научных баз данных (в том числе наукометрических), перевод на иностранные языки. При этом за автором сохраняется право использования опубликованного в журнале материала в личных (научных, преподавательских) целях. Но воспроизведение опубликованной информации третьими лицами в любом виде, включая перевод на другие языки, возможно только с разрешения редакции с обязательным указанием полной библиографической ссылки. При представлении рукописи в редакцию авторы гарантируют отсутствие ранее опубликованных ими или представленных на рассмотрение в другие научные издания материалов с аналогичным содержанием. В противном случае авторы должны предоставить редактору информацию о предыдущей публикации данных, содержащихся в статье.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Авторское соглашение (документ должен быть подписан ответственным автором публикации)

Авторы, направляя рукопись в редакцию «Украинского журнала дистанционного зондирования Земли», соглашаются с тем, что редакции передаются права на защиту и использование рукописи (переданного в редакцию журнала материала, в т. ч. такие охраняемые объекты авторского права как фотографии автора, рисунки, схемы, таблицы и т. д.), в том числе на воспроизведение в печати и в сети Интернет; на распространение; на перевод рукописи на любые языки; экспорта и импорта экземпляров журнала статье авторов с целью распространения, на доведение до всеобщего сведения. Указанные выше права авторы передают редакции без ограничения срока их действия и на территории всех стран мира без ограничения, в т. ч. на территории Украины. Авторы гарантируют наличие у них исключительных прав на использование переданного редакции материала. Редакция не несет ответственности перед третьими лицами за нарушение данных авторами гарантий. За авторами сохраняется право использования опубликованного материала, его фрагментов и частей в личных, в том числе научных и образовательных целях. Права на рукопись считаются переданными авторами редакции с момента подписания в печать выпуска журнала, в котором он публикуется. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, другими физическими и юридическими лицами возможно только с согласия редакции, с обязательным указанием выпуска журнала, в котором был опубликован материал.

Я (ответственный автор) подтверждаю, что я в достаточной степени участвовал в разработке концепции/дизайна этой работы, анализе данных, а также написании рукописи для принятия ответственности за это. Я ознакомлен с окончательным вариантом рукописи и утвердил его для публикации. Ни одна рукопись с аналогичным содержанием не была опубликована под моим авторством и не рассматривается для публикации в других изданиях. Я также ознакомлен с вышеуказанными условиями опубликования рукописи и принимаю их.

Дата, подпись

Адрес редакции: Украина, 01601, г. Киев, МСП, ул. Олесь Гончара, 55-Б, Редакция «Украинского журнала дистанционного зондирования Земли». Тел.: + (38044) 486 9405, 484 04 85; факс: + (38044) 486 9405, 486 1430. www.ujrs.org.ua/ujrs, E-mail: info@ujrs.org.ua