НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

Інститут агроекології і природокористування

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

«МОНІТОРИНГ ТРАНСФОРМАЦІЇ АГРОЛАНДШАФТІВ ТА ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ»

Київ – 2020

УДК 631.4 : 631.47: 631.459КП

Методичні рекомендації "Моніторинг трансформації агроландшафтів та прогнозна оцінка продуктивності агроекосистем в умовах змін клімату за даними ДЗЗ". К., 2020. – 20 с.

Викладено методичні рекомендації з моніторингу трансформації агроландшафтів та прогнозної оцінки продуктивності агроекосистем в умовах змін клімату за даними ДЗЗ. Розглянуто супутникові індикатори змін клімату, стану агроландшафтів та продуктивності агроекосистем. Наведено застосування даних ДЗЗ на прикладі вибраних територій дослідження для моніторингу трансформації агроландшафтів.

Методичні рекомендації розроблено в рамках завдання 41.00.02.01.Ф. “ Аерокосмічний моніторинг трансформації агроландшафтів і систем землекористування в умовах змін клімату”

Методичні рекомендації можуть бути використані науковцями, викладачами вищих навчальних закладів, спеціалістами у галузі агрономії, екології, економіки природокористування у процесі використання супутникових даних,підготовки та прийняття управлінських рішень на різних ієрархічних рівнях державних регіональних центральних органів влади та господарювання, у тому числі Міністерства економічногорозвитку і сільського господарстваУкраїни, Міністерства екології та природних ресурсів України.

Автори:

О.Г. Тараріко – головний науковий співробітник,академік НААН, д. с.-г. н.;

Т.В. Ільєнко – завідувач лабораторії аерокосмічного зондування агросфери,к. с.-г. н.

Т.Л. Кучма – старший науковий співробітник, к. с.-г. н.;

Н.І. Адамчук-Чала – старший науковий співробітник, к.б. н.;

О.А. Білокінь – провідний фахівець

Рецензенти:

П.П. Мельник – заст. зав. відділу інституціонального забезпечення природокористування Інституту агроекології і природокористування НААН, д.е.н.,

В.П. Ландін –завідувач сектору природокористування та реабілітації Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, д. с.-г. н.

Розглянуто і затверджено до друку рішенням Вченої ради

Інституту агроекології та природокористування НААН

(протокол № 8 від 25вересня 2020 р.)

© 2020 Інститут агроекології і природокористування НААН

Зміст

Вступ 4

1. Вибір супутникових індикаторів змін клімату, стану агроландшафтів та продуктивності агроекосистем..... 4

1.1. Основні напрямки трансформації агроландшафтів в Україні під впливом змін клімату..... 4

1.2. Супутникові індикатори стану агроландшафтів..... 5

2. Застосування даних ДЗЗ для моніторингу трансформації агроландшафтівна: прикладі вибраних територій дослідження..... 6

2.1. Моніторинг трансформації агроландшафтів на основі даних про наземний покрив..... 7

2.2. Моніторинг продуктивності зональних агроекосистем..... 9

2.3. Моніторинг вологозабезпеченості та температурного режиму .. 10

2.4. Моніторинг проявів процесів ерозійної деградації земель..... 13

2.5. Моніторинг ризиків вітрової ерозії..... 15

2.6. Адаптивні до посушливих явищ та опустелювання агротехнології 17

Висновки 18

Література..... 19

Вступ

«Глобальне потепління на 1,5 градуси» - таку назву має спеціальний звіт Міжурядової групи експертів з питань змін клімату, опублікований у жовтні 2018р. У звіті зазначається, що зростання антропогенних викидів парникових газів вже призвело до потепління на 0,8-1,2° С. Зміни клімату в світі спричиняють перебудову глобальних процесів переносу тепла та вологи на всіх континентах, що характеризується різким збільшенням кількості кризових явищ.

Супутникова інформація є важливим джерелом інформації для оцінювання впливу господарської діяльності на екосистеми та визначення ризиків пов'язаних з глобальними змінами клімату, їх впливу на продуктивність екосистем, а також деградацію земель та опустелювання. Супутникова інформація дає змогу екстраполювати дані спостереженнь на метеорологічних станціях на великі території і забезпечує більш точну оцінку поширення кліматичних і погодних негативних впливів на агроландшафти. Основою для використання дистанційних методів для моніторингу впливу кліматичних змін на агроландшафти і системи землекористування є знання щодо зв´язку структури і стану рослинності, вологозабезпечення, з її спектральними відбивними характеристиками, що дають змогу ідентифікувати типи рослинності та їх стресовий стан за даними аерокосмічного знімання. (Б.В. Виноградов, 1976, Р. Джексон та С. Ідсо, 1981, В.І. Рачкулік та М.В. Ситникова, 1981, В.Я. Кондратьєв, П.П. Федченко, В.В. Козодьоров, 1999, Т.Н. Чимитдожиєв, В.В. Єфременко, 1998, V. Bastianssen, 1998, H. Roerink, 2003, C. Zvart, 2004).

Тому актуальним є наукове обґрунтування основних засад для застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних (ГІС) технологій при моніторингу трансформації агроландшафтів і систем землекористування в умовах змін клімату. Це дає можливість виконувати ці роботи в оперативному режимі на різних адміністративних рівнях для прийняття своєчасних оперативних та стратегічних управлінських рішень з адаптації аграрного виробництва до зміни клімату.

1. Вибір супутникових індикаторів змін клімату, стану агроландшафтів та продуктивності агроекосистем

Індикатор – це показник за допомогою якого здійснюють оцінку зміни певного процесу чи стану об'єкту дослідження. За іншим означенням, індикатор – це доступна для спостереження та вимірювання характеристика досліджуваного об'єкту. За допомогою індикаторів можуть приймати рішення, що ґрунтуються на доказах та зафіксованих спостереженнях, що сприятиме виявленню та визначенню пріоритетів та відстеженню прогресу у досягненні цілей та інформуванню про корекційні дії.

1.1. Основні напрямки трансформації агроландшафтів в Україні під впливом змін клімату

Клімат України досить чутливий до глобальних його змін. Підвищення температури відбувається більш швидкими темпами в порівнянні з глобальними [1,2]. Так, наприклад, за даними Інституту зрошуваного землеробства НААН [3] за останні 35 років у підзоні Сухого Степу спостерігається стійка тенденція підвищення середньорічної температури з 9,3 (1973-1980 рр.) до 11,3°С (2006-2010 рр.), тобто на 2°С. Одночасно зміни середньорічної кількість опадів не мають чіткої закономірності у часі, але спостерігається тенденція збільшення опадів зливового характеру та

посилення вітрового режиму, що підвищує ризики прояву водної ерозії та дефляції ґрунтів [4]. Ці ризики зростають у зв'язку з прогнозованим значним збільшенням площ посіву просапних культур, у т. ч. кукурудзи, соняшнику та сої, а також просуванням їх на північ у зону Полісся з низькою протиерозійною стійкістю ґрунтів [5].

Дуже цікавими в цьому відношенні є результати досліджень зміни льодового режиму річок басейну р. Дніпра [6], як індикатору зміни клімату на території України. Встановлено, що з кінця 80 років XX ст. замерзання річок відбувається пізніше на 6 діб, а скресання – раніше на 13 діб. Тривалість періоду з льодовими явищами зменшилась на 25 діб, а товщина льоду на 8 см, що є досить вагомим доказом суттєвого потепління клімату. Таким чином все актуальнішою стає оперативна просторова оцінка впливу змін клімату не лише на стан агроландшафтів, систем землекористування та посівів, але й моніторинг прояву різноманітних кризових явищ, що досить успішно можна вирішувати за допомогою супутникових спостережень [2,7].

1.2. Супутникові індикатори стану агроландшафтів

Індикатори, тобто кількісні та якісні показники стану екосистем, які можна визначати за супутниковими знімками були узагальнені у таблиці 1. Для кожного з індикаторів визначено тип вхідних даних (назву супутника, просторове розрізнення), запропонований метод просторового аналізу та напрямок оцінювання.

Табл. 1. Індикатори стану агроландшафтів за даними ДЗЗ

п н	Назва групи	Назва індикатора	Вхідні дані	Метод аналізу	Напрямок оцінювання
	Структура екосистеми: пряма оцінка	1. Наземний покрив (динаміка площі різних типів наземного покриву чи біотопів)	Landsat 8 (15-30 м) Sentinel 1,2 (10 м) Proba-V (100 м) Planet (3-10 м) WorldView, Geo Eye, Pleiades (<1 м)	Зміна кількості (обсягу) екосистемної послуги внаслідок зміни площі території, що її забезпечує	● Постачання деревини, продуктів харчування, питної води ● Регуляція клімату: акумуляція CO2
	Структураекосистеми: непряма оцінка	2. Індекси ландшафтної структури: фрагментованість території, ландшафтне різноманіття,	Растрове класифіковане зображення (карта типів наземного покриву чи елементів ландшафту		● Підтримка оселищ ● Збереження біорізноманіття ● Краєвид ● Рекреація
		3. Взаємозв'язок з іншими територіями	Landsat 8 (15-30 м) Sentinel 1,2 (10 м) Proba-V (100 м) Planet (3-10 м) WorldView, Geo Eye, Pleiades (<1 м),	Картографічне накладання шарів для виявлення площ біотопів, наприклад, накладання контуру лісу та карти кутів	● Зменшення негативних наслідків дії надзвичайних ситуацій ● Протидія ерозії ● Стійкість до шкідників

п н	Назва групи	Назва індикатора	Вхідні дані	Метод аналізу	Напрямок оцінювання
			Рельєф території	нахилу схилу дозволяють виявити заліснені яри	● Запилення
	Біофізичнийпроцес: пряма оцінка	4. Концентрації забруднюючих речовин у повітрі	Sentinel 5P (7-23 км) OMI (25 км)	Районування території за критичними значеннями біофізичних параметрів	● Очищення повітря
		5. Вміст вологи у грунті	SMAP (9 км) ASCAT (25 км)		● Регуляція клімату ● Регуляція водного режиму ● Протидія паводкам ● Регуляція температурного режиму (охолодження) ● Регуляція клімату ● Стійкість до пожеж
		6. Температура поверхні	Landsat 8 (15-30м) ASTER (15 м)		
		7. Концентрація хлорофілу 8. Вміст органічних речовин у воді	Sentinel 3, Modis (250-500 м)		● Рекреація ● Постачання питної води ● Очистка води
	Біофізичнийпроцес: непряма оцінка	9. Вегетаційні індекси	NOAA (1 км) Modis (250-500 м) Proba-V (100 м) Landsat 8 (15-30 м) Sentinel 2 (10 м)	Аналіз часових серій; Регресійний аналіз супутникових даних з даними наземних спостережень	● Урожайність ● Постачання продуктів харчування, деревини ● Регуляція водного режиму
		10. Водні індекси			

2. Застосування даних ДЗЗ для моніторингу трансформації агроландшафтівна: прикладі вибраних територій дослідження

Значною перевагою даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і геоінформаційних систем (ГІС) є можливість отримання інформації про стан та динаміку екосистем без втручання в об’єкт дослідження. Космічні знімки сільськогосподарських угідь, отримані в різних діапазонах електромагнітного спектру випромінювання є одними з найбільш оперативних та об’єктивних джерел інформації

про стан рослинності. Вони активно використовуються для вирішення багатьох задач сільського господарства у всьому світі. При здійснені моніторингу необхідну інформацію можна отримувати на одну і ту ж територію з потрібною періодичністю, що дозволяє робити висновки про стан об'єктів моніторингу. Космічні знімки дають можливість визначити значну кількість характеристик об'єктів. Наприклад, за знімком можна оцінити родючість ґрунту (вміст у ньому гумусу), вологість, засоленість, еродованість.

2.1. Моніторинг трансформації агроландшафтів на основі даних про наземний покрив

В останні десятиріччя дослідники багатьох країн, в т. ч. і України, відзначають масштабні втрати лісового покриву спричинені пожежами, вирубками, а також, всиханням деревостанів внаслідок масового ушкодження шкідниками й хворобами лісу. Упродовж останніх років у лісах півночі Житомирської області також спостерігається активізація лісопатологічних процесів, які призводять до всихання соснових насаджень. У багатьох випадках значне всихання деревостанів відбувається швидкими темпами, часто протягом одного вегетаційного періоду.

Динаміку лісового покриву за період з 2001 до 2018рр. було проаналізовано на основі системи супутникового моніторингу за лісовим покривом - Global Forest Watch. Виявлено, що за цей період у Житомирській області втрата лісового покриву охоплює територію, розміром 178 тис.га, це на 15% більше від рівня 2000-го року. З часовому розрізі найвища площа втрати лісового покриву зафіксована у 2016-му році, і становить 26,7 тис.га, що майже у 2,7 разів більше ніж у 2015 році.

У межах Народицького р-ну Житомирської області було втрачено 11,5 тис. га за період 2001-2018 рр. При цьому в останні роки (2016-2018) втрати лісового покриву зросли майже утричі, порівняно з попередніми роками – з 579 га у 2015 р. до 1640 у 2016р. (рис. 1). Ці втрати найбільш ймовірно пов'язані з масштабним спалахом поширення шкідників-короїдом та подальшим застосування лісосанітарних рубок, а також з пожежами, спричиненими посушливими умовами.

З огляду на таку динаміку, особливо впродовж останніх декількох років, об'єктом дослідження було обрано лісові масиви Житомирського Полісся. Урахування втрат екосистемних послуг дозволить більш повно оцінити загрози та наслідки від поширення лісопаталогічних процесів та кліматичних змін у регіоні, а також сприятиме пошуку шляху до пом'якшення негативних наслідків на основі екосистемного підходу. На основі параметрів, отриманих за даними дистанційного зондування, можна зробити висновок про еколого-економічні наслідки втрати лісового покриву конкретної території дослідження.

Дані ДЗЗ дозволяють класифікувати територію дослідження за типами наземного покриву та відстежувати динаміку їх зміни. Так наприклад дані наземного покриву програми Copernicus, розроблені на основі супутникових даних Proba-V (Buchhornetal, 2019), дозволили виявити тринадцять типів біотопів на території природного заповідника "Древлянський" (рис. 2а), а також визначити відсоток площі кожного з них. Фактично половину території займають хвойні ліси, які переважають у північній частині заповідника.

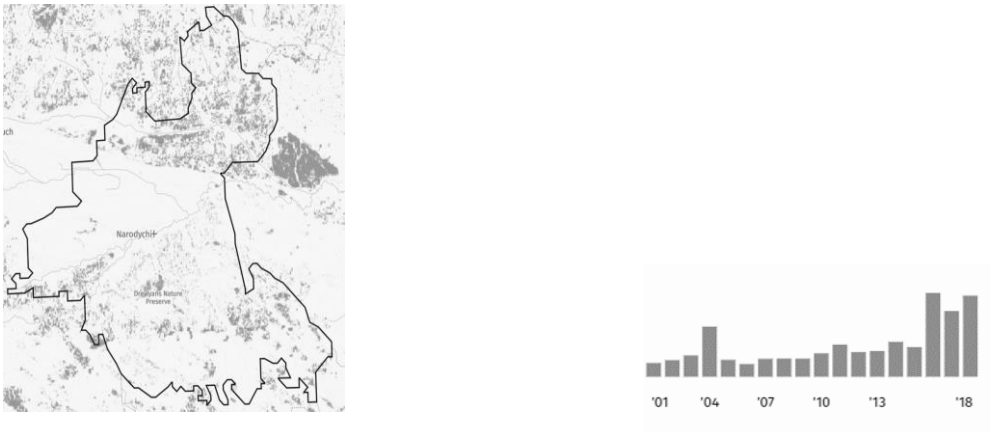
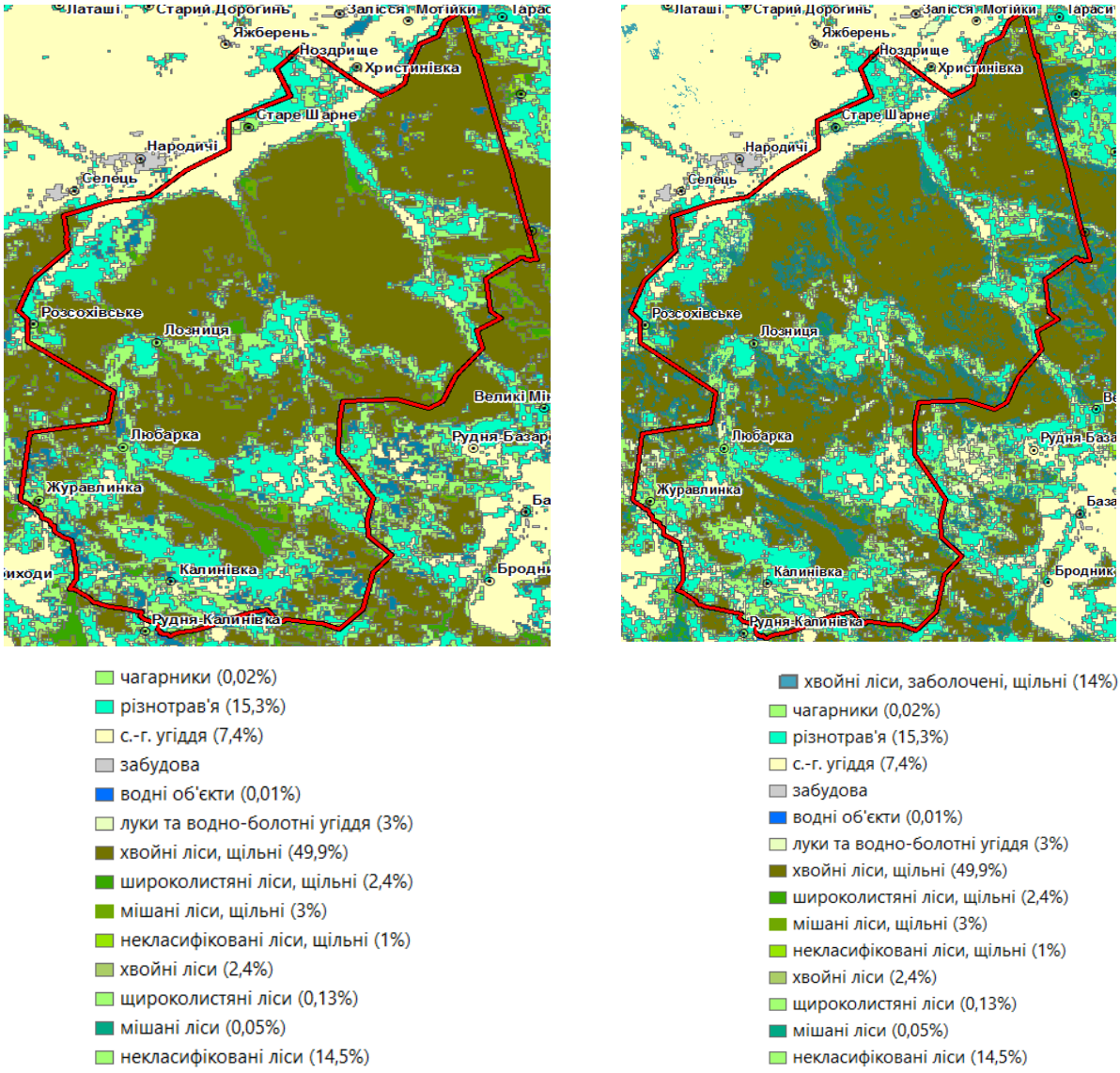


Рис. 1. Динаміка втрат лісового покриву Народицького р-ну Житомирської обл. за даними системи супутникового моніторингу за лісовим покривом - Global Forest Watch.



а б

Рис. 2. Карта біотопів природного заповідника “Древлянський” за даними супутника Proba-V (Buchhornetal, 2019).

Поєднання цих даних з індексом вологості NDWI, розрахованим за даними супутника Landsat 8 дозволило додатково виділити вологі та сухі хвойні і широколистяні ліси, а також заболочені та сухі чагарники, збільшивши до вісімнадцяти кількість типів біотопів на території дослідження (рис. 2б). Також на рис.2б помітно, що північна територія заповідника не є однорідною з точки зору рослинного покриву

та має відносно рівномірно розподілені вкраплення заболочених ділянок. Таким чином поєднання карти наземного покриву та карти спектральних індексів дозволяють методом непрямої оцінки структури ландшафту виявляти екосистемні функції території.

2.2. Моніторинг продуктивності зональних агроекосистем

Для оцінки й прогнозування змін клімату у світовій і вітчизняній практиці широко використовуються кліматичні моделі, матеріали традиційних спостережень на метеостанціях, а також супутникова інформація, яка дозволяє отримувати просторову оперативну оцінку температурного режиму, його впливу на стан рослинності та продуктивність агроекосистем [8,9]. Особливо цінними у цьому відношенні є дані серії супутників NOAA,які знаходяться у вільному доступі починаючи з 1982 р. При їх аналізі на території України за період 1982 - 2018 рр. були застосовані дані SMT (згладжена яскравісна температура усереднена за тиждень) радіометра AVHRR [7]. У результаті для пілотних Чернігівської, Полтавської та Запорізької областей (рис. 3), які відповідно представляють зони Полісся, Лісостепу та Степу, були побудовані графіки динаміки суми усереднених за тиждень температур земної поверхні більше 10 ºС, а також їх алгебраїчні тренди за рік, за сезон і за вегетаційний період (квітень-жовтень) (рис. 4).

Встановлено закономірне підвищення суми цих температур у Чернгівській області за період з 1982 по 2017 р. на 100 ºС, а у Полтавській і Запорізькій областях на 150 ºС. Отже в середньому за рік за 35-річний період у зоні Полісся (Чернігівська обл.) сума ефективних температур підвищувалась до 2,8 ºС, а в зоні Лісостепу (Полтавська обл.) і Степу (Запорізька обл.) до 4,3 ºС.

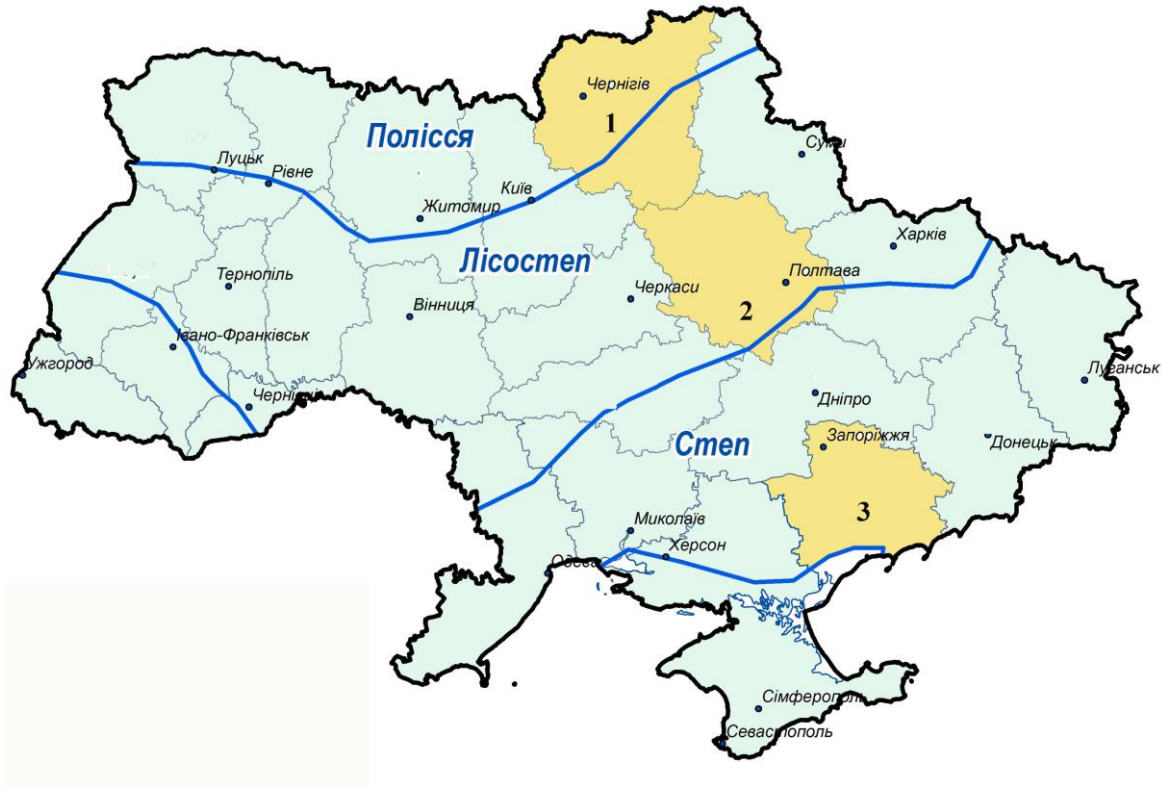


Рис.3.Природньо- кліматичні зони та регіони дослідження: 1- Чернігівська обл., 2- Полтавська обл., 3 - Запорізька обл.

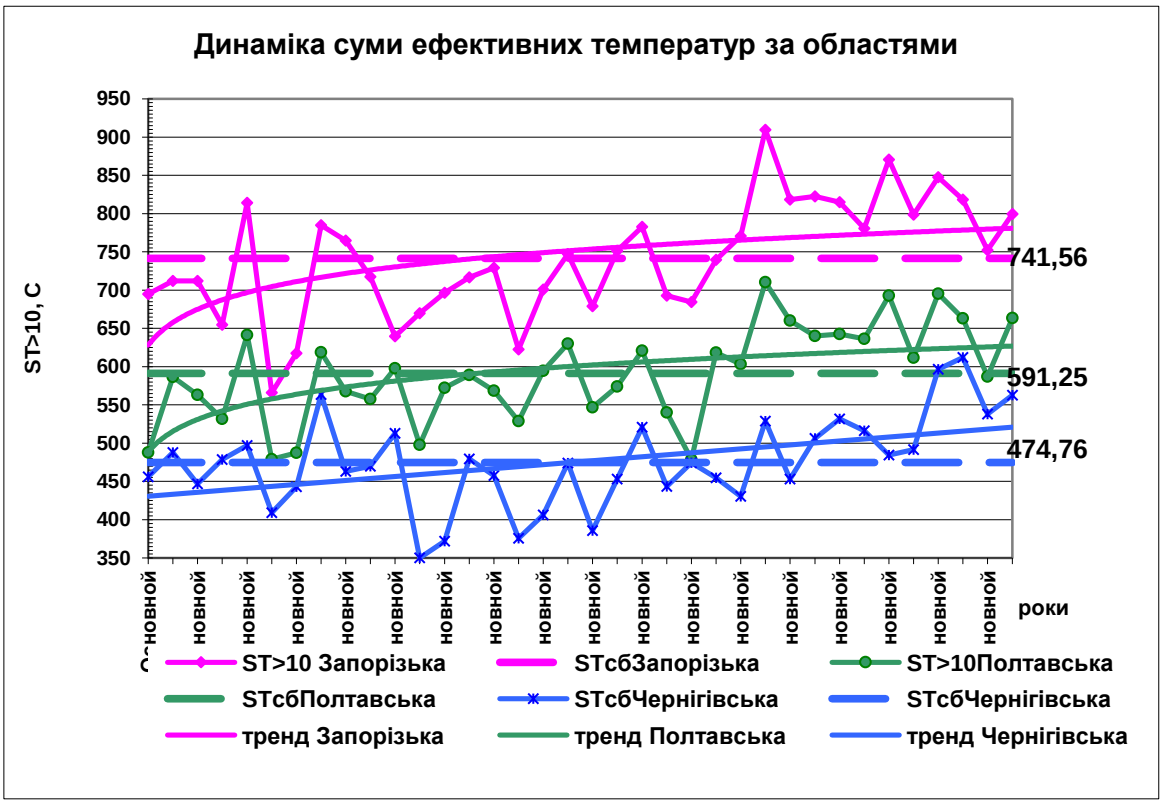


Рис. 4. Динаміка суми усереднених за тиждень ефективних температур на території Чернігівської, Полтавської та Запорізької областей протягом 1982-2017 рр., їх тренди та середньо багаторічні значення.

Таким чином, можна зробити висновок, що підвищення температури наразі позитивно впливає на показник NDVI, тобто на стан рослинності, в зоні Полісся (Чернігівська обл..) і Лісостепу (Полтавська обл.). Для зони Степу (Запорізька обл.) цей зв'язок значно слабший. Актуальним в цьому відношенні е застосування агротехнологій, які позитивно впливають на накопичення вологи в грунті в осінньо–зимовий період, в тому числі таких посівних систем як no-till та strip-till, які сприяють раціональному використанню ресурсів вологи в посівному шарі ґрунту.

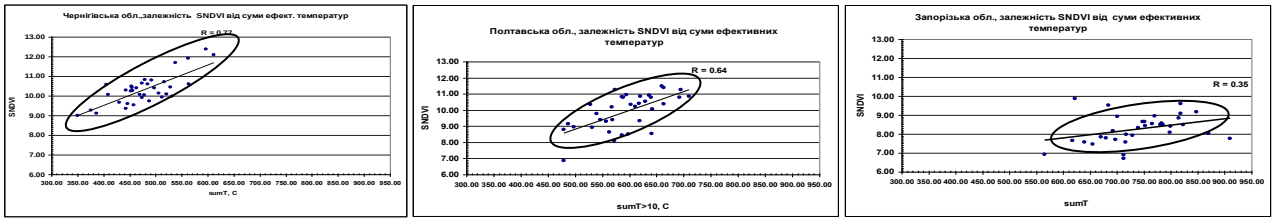


Рис.5. Залежність сумарного NDVI за вегетаційний період від суми ефективних температур на території Чернігівської, Полтавської і Запорізької областей

2.3. Моніторинг вологозабезпеченості та температурного режиму

Супутникові дані середнього та низького просторового розрізнення із щоденною частотою зйомки дозволяють здійснювати моніторинг агроекологічних умов для зростання та розвитку сільськогосподарських культур. Зокрема на основі супутникових даних геопорталів https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer та http://pekko.geog.umd.edu/usda Лабораторією аерокосмічного зондування агросфери Інституту агроекології і природокористування НААН розробляються впродовж вегатаційного сезону аналітичні записки про умови зволоження та стан рослинності на території України.

Зокрема, станом на 17 травня 2020 р. було виявлено, що на всій території України умови зволоження залишалися критичними. Завдяки опадам відбулося деяке покращення умов зволоження поверхневого шару (0-5 см) (рис.6) в порівнянні з 10 травня 2020 р. В кореневовмісному шарі (0-100 см) ґрунту умови залишалися кризовими (рис.7).

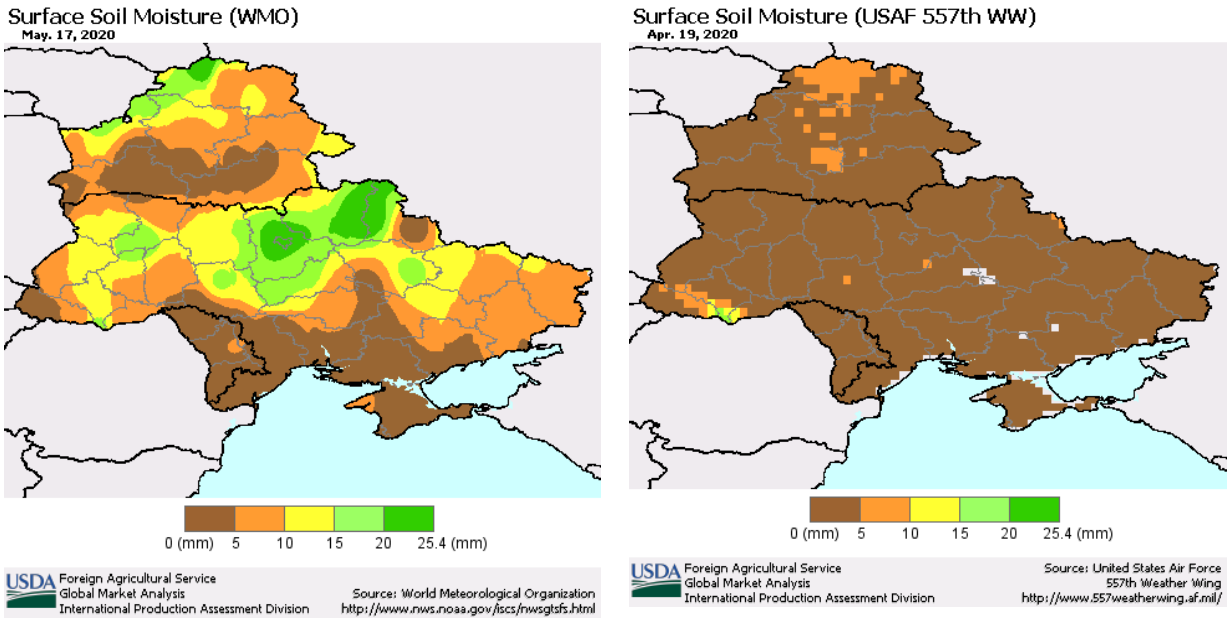


Рис.6. Умови зволоження в поверхневому шарі (0-5 см) ґрунту на 17 травня та 19 квітня 2020 р. (за даними https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer)

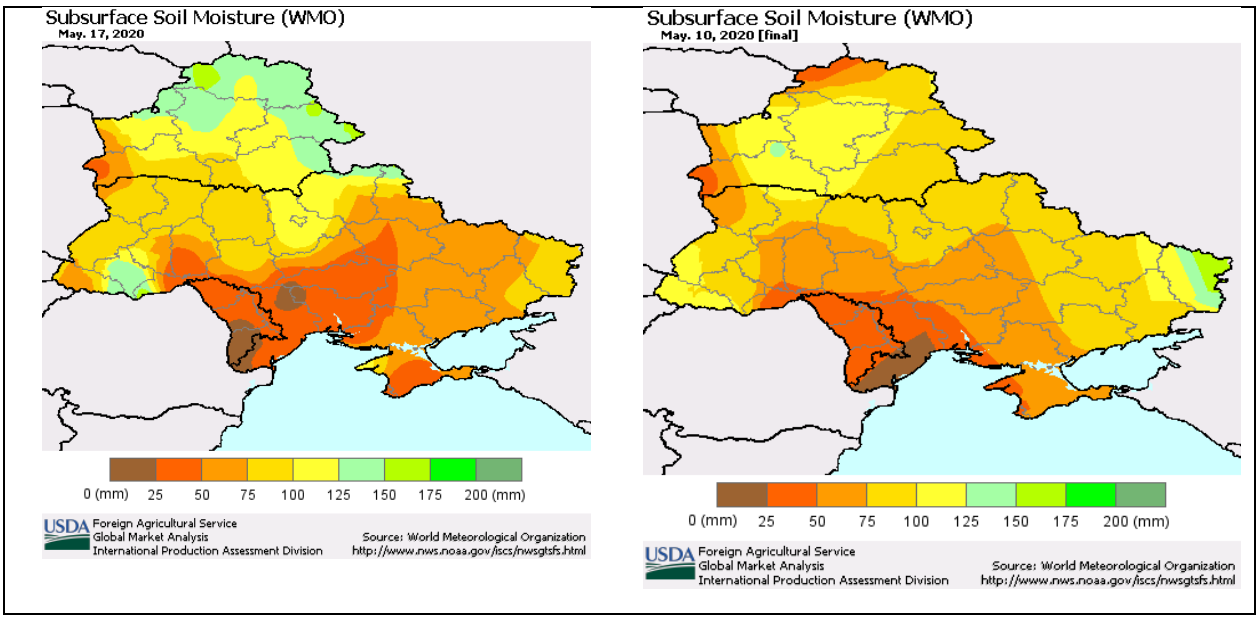


Рис.7. Умови зволоження в кореневовмісному шарі (0-100 см) грунту на 17 травня та 19 квітня 2020 р. (за даними https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer)

Порівняльний аналіз просторового розподілу частки доступної вологи в ґрунті за період з 10 по 17 травня 2020 р. показав, що умови зволоження за цей період дещо покращились (рис.8). Однак аналіз значень частки доступної вологи в ґрунті на 17 травня 2020 р. засвідчив, що для 11 із 25 областей України цей показник не перевищує значення 40% (рис.9). Тобто на території майже половини областей України склались критичні умови зволоження, оскільки частка доступної вологи в ґрунті нижче 40% є стресовою для для розвитку більшості сільськогосподарських культур. Найбільш критичні умови зволоження спостерігалися в Одеській (11%), Миколаївській (13%),

Херсонській (21%) та Кіровоградській (26%) областях. Загалом, в усіх областях 17 травня 2020 р. фіксувалося зниження частки доступної вологи порівняно з початком вегетаційного періоду (15 березня) 2020 року (рис.9). Таким чином, на всій території України, спостерігалися посушливі умови від помірних до критичних.

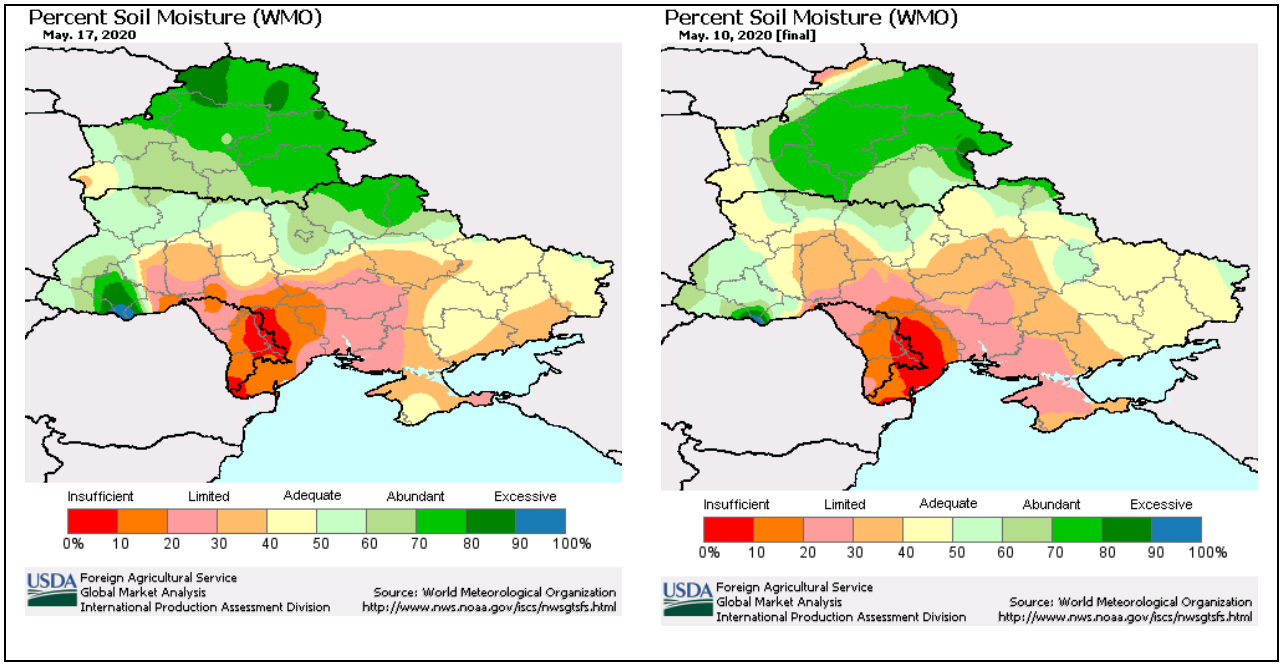


Рис.8. Частка доступної вологи в грунті на 17 травня та 19 квітня 2020 р.

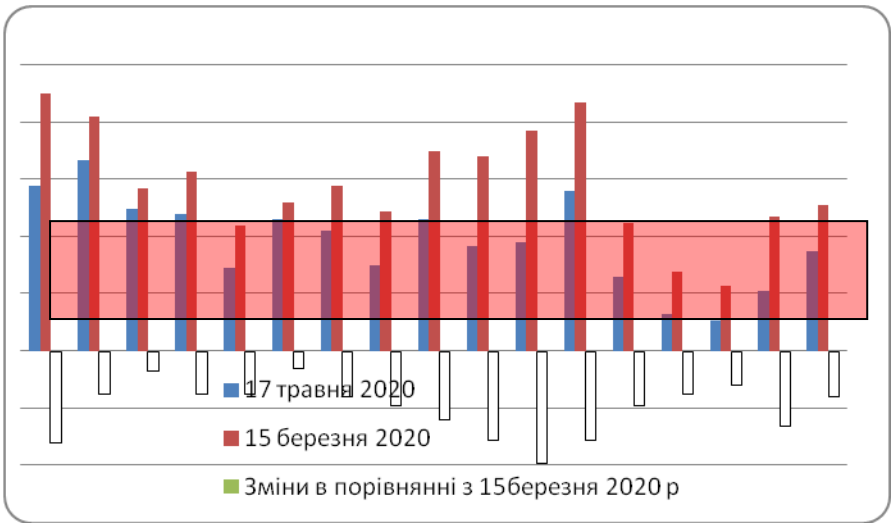


Рис.9. Зміни частки доступної вологи в грунті за період 15 березня - 17 травня 2020 р.

Критична ситуація із запасами ґрунтової вологи мала вплив на стан рослинності. Зокрема, за супутниковими даними за індексом NDVI, в середньому по Україні стан рослинності на 15 травня 2020 р. знаходився дещо нижче (NDVI=0,56) середньобагаторічного (2000-2020) рівня (NDVI =0,6) та трьох попередніх років (NDVI=0,6 на 15 травня 2019 р.) (рис.10).

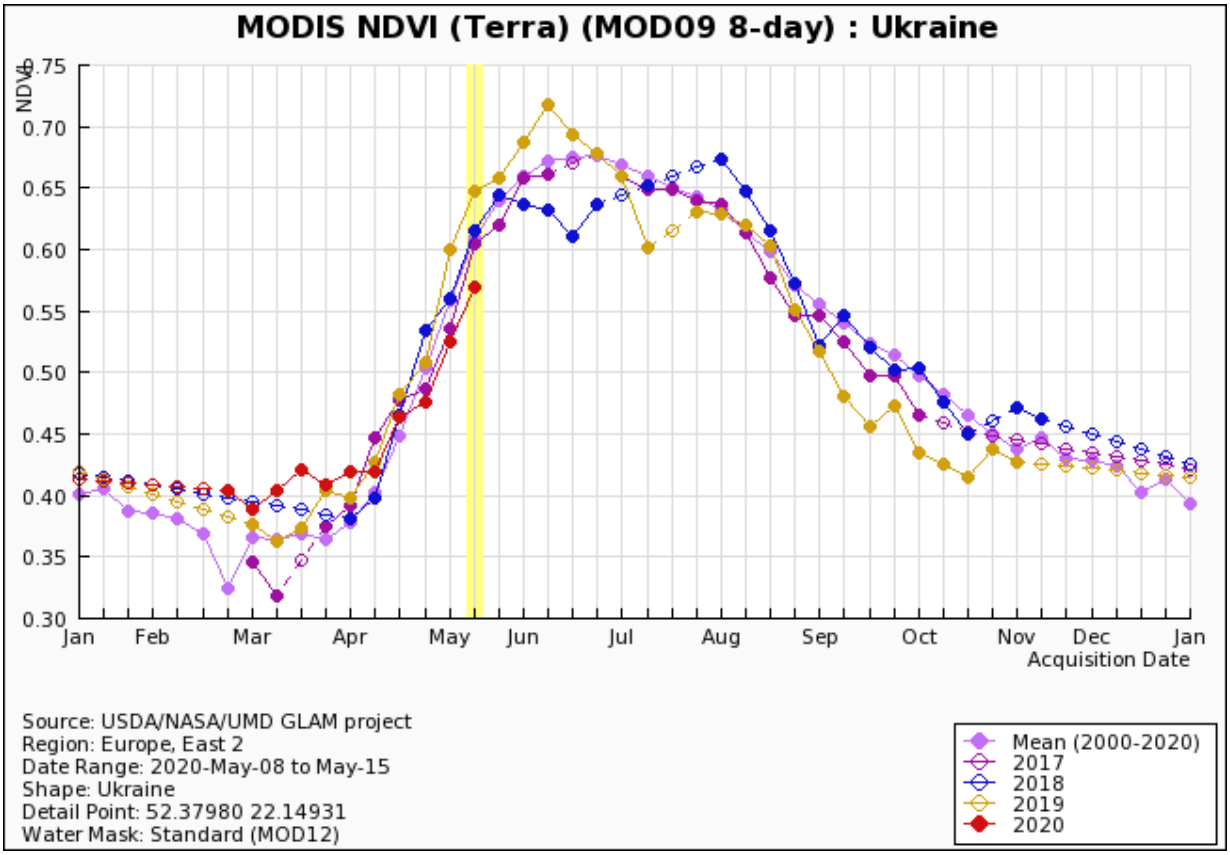


Рис. 10. Динаміка індексу NDVI (**за даними** http://pekko.geog.umd.edu/usda/)
за даними http://pekko.geog.umd.edu/usda/)

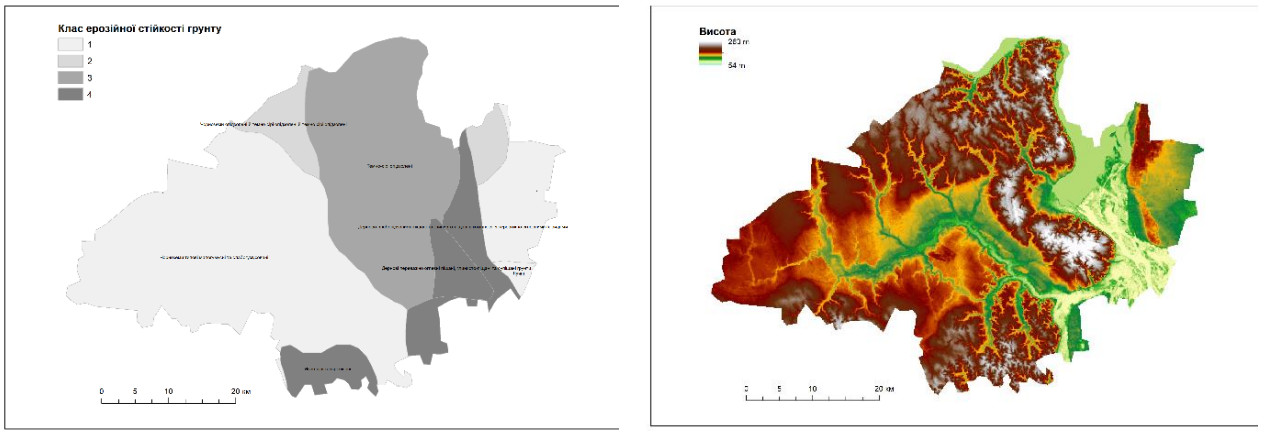
2.4. Моніторинг проявів процесів ерозійної деградації земель

Негативні тенденції щодо деградації та опустелювання земель в Україні, а також виснаження родючості ґрунтів останніми десятиліттями набули глобального характеру, тобто охоплюють сільськогосподарські угіддя у всіх природно-кліматичних зонах. На всіх землях сільськогосподарського призначення, незалежно від форм власності, спостерігається розвиток різноманітних деградаційних процесів. Особливо небезпечним в цьому аспекті є розвиток ерозійної деградації земель, що за різними оцінками поширилася майже на 15 млн га угідь, а разом з дефляційними процесами – на 20–21 млн га, що становить понад половину орних земель. У роки з проявом водної ерозії щорічно втрачається близько 15–20 т/га родючого шару ґрунту, а площа еродованих земель збільшується до 100 тис. га; під час прояву вітрової ерозії, і особливо чорних бур, які можуть охоплювати до 10–12 млн га угідь, втрати ґрунту досягають 50–100 т/га. Кількість втраченого унаслідок ерозії гумусу, азоту, фосфору і калію значно перевищує їх внесення з органічними і мінеральними добривами. Тому спостерігається дегуміфікація та виснаження родючості ґрунтів, що негативно впливає не тільки на поживний режим ґрунту, але й на біорізноманіття [42].

Згідно з підсумковим документом «Майбутнє, якого ми прагнемо» Всесвітнього саміту зі сталого розвитку «Ріо+20», що відбувся у 2012 році, задекларовано досягнення нейтрального рівня деградації земель у світі. Згідно з рішенням XI Конференції сторін Конвенцію про боротьбу з опустелюванням запропоновано таке визначення нейтрального рівня деградації земель: «це стан, коли кількість здорових та продуктивних земельних ресурсів, необхідних для підтримання життєво важливих екосистемних послуг, залишається сталою або збільшується у визначених часових та просторових рамках». Нині обговорюється, що метою і завданням «нейтрального рівня деградації земель» є розроблення та впровадження політики і практики сталого

управління земельними ресурсами для забезпечення таких комплементарних процесів, як: мінімізація поточної деградації земель та запобігання їй у майбутньому; відновлення деградованих та малопродуктивних земель; ренатуралізація деградованих природних та напівприродних екосистем, що забезпечують життєво важливі потреби для людей та підтримують функції довкілля [36,41].

На прикладі території Канівського району Черкаської області, та Миронівського району Київської області досліджено рівень забезпечення послуги контролю ерозії, зокрема водної площинної та яружної ерозії на цих територіях за допомогою методу біофізичного картування. Рівень підтримки функції контролю водної ерозії ґрунтовим покривом у першу чергу залежить від типу ґрунту, відповідно чорноземи мають вищу стійкість до процесів ерозії, а дерново- підзолисті та сірі лісові ґрунти мають властивість інтенсивніше змиватися дощами та зливами. Отже для оцінки екосистемної послуги ґрунтів з контролю водної ерозії у межах району дослідження у якості біофізичних характеристик ґрунту можна використати карту ґрунтових відмін та рельєфу (рис. 11). Карту ґрунтів було перекласифіковано у карту ерозійної стійкості ґрунтів з урахуванням наявних типів ґрунту на території дослідження таким чином: сірі лісові ґрунти – значення 1 (мінімальна стійкість), темно-сірі опідзолені – 2; чорноземи опідзолені – 3; чорноземи типові та лучні – 4 (найвища стійкість).



а б

Рис. 11. Вхідні дані для оцінки екосистемної послуги ґрунтів з контролю водної ерозії

На основі аналізу рельєфу було створено карту довжини схилів (L) та карту кутів нахилу схилів (S) з використанням програмного продукту QGIS 2.18 та за формулою нижче, було розраховано фактор ерозійності рельєфу (LS):

$$LS = L^{0,5} \cdot (0,0011 \cdot S^2 + 0,0078 \cdot S + 0,0111)$$

У результаті було отримано карту рівня ерозійності рельєфу, на якій вищі значення свідчили про високій рівень ерозійної небезпеки, а низькі значення показника LS вказували на ґрунтовий покрив з вищою стійкістю до ерозії.

Поєднавши обидва фактори: тип ґрунту та ерозійність рельєфу, отримали карту регулюючої послуги ґрунтів – контроль водної ерозії (рис. 12).

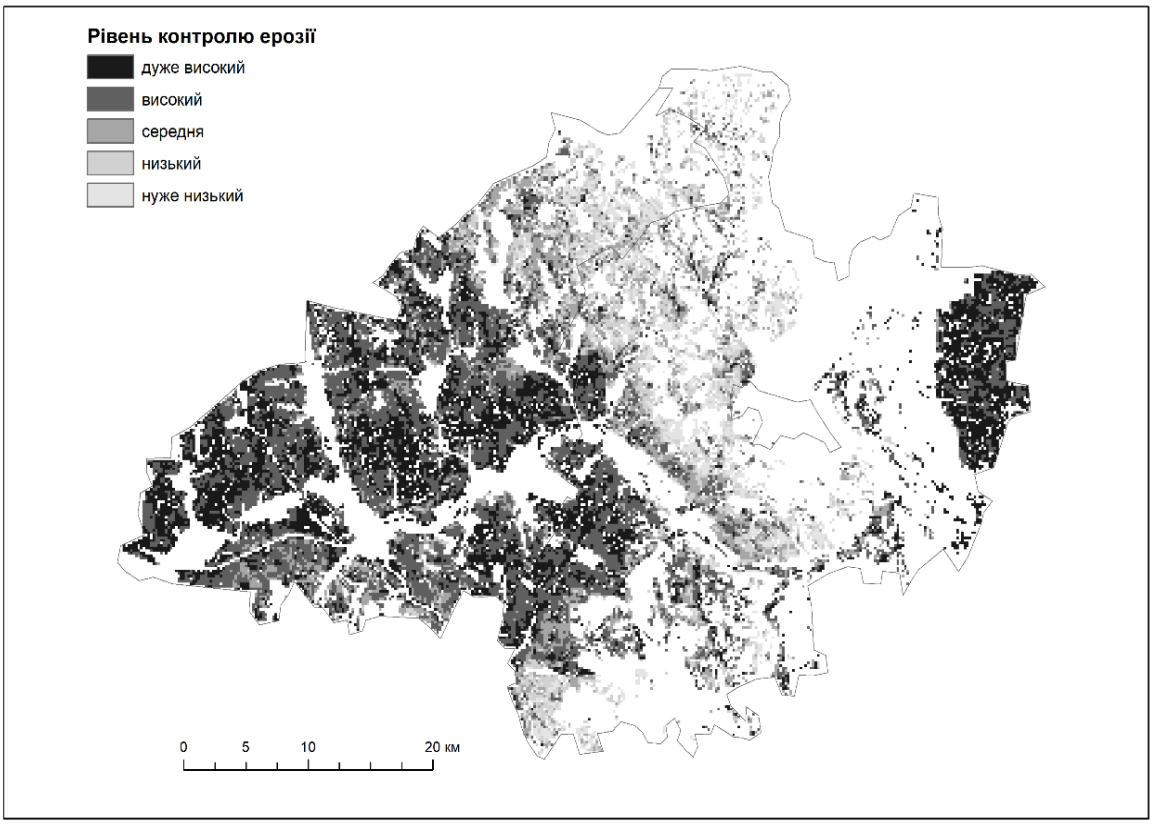


Рис. 12. Карта рівня підтримки ґрунтами послуги з контролю водної ерозії

Як видно з карти на рис. 12, лише 27,8 % ґрунтів у межах району дослідження забезпечують функцію контролю ерозії. На 17,5% території рівень підтримки цієї послуги низькій або дуже низьким, тому тут необхідно впроваджувати ґрунтозахисні заходи. Таким чином, картування екосистемних послуг дозволяє: аналізувати динаміку землекористування та обирати найбільш збалансовану модель організації території як на регіональному, так і на локальному рівні окремого фермерського господарства; виявляти зони збільшення чи зменшення рівня підтримки тієї чи іншої екосистемної послуги та аналізувати, з якими змінами у структурі землекористування вони пов'язані; здійснювати зонування території, що є важливим для виявлення території, що потребують застосування системи протиерозійних заходів.

2.5. Моніторинг ризиків вітрової ерозії

Вітрова ерозія завдає непоправної шкоди грунтам, агроекосистемам та навколишньому природному середовищу загалом. Як правило, катастрофічні пилові бурі (чорні бурі), коли швидкість вітру перевищує 17–18 м/с, проявляються з періодичністю в 5–7 років, а локальні – місцевого та агротехнологічного характеру – майже щорічно. Важливим є просторовий моніторинг цього небезпечного явища, яке може на території Україні поширюватися на площі до 5–6 млн га. Це особливо характерно для зони Степу під час проходження кліматичних фронтів. У епіцентрі таких пилових бур втрати ґрунту досягають 50–100 т/га, знищуються посіви не тільки ярових, але й озимих культур, продуктами дефляції мажуть засипатись лісосмуги, поверхневі водита інші елементи агроландшафту. В умовах радіоактивного забруднення грунтів, а також використання пестицидів навесні забруднене повітря цими компонентами може бути небезпечним для здоровья людини.

Дані космічних знімань є ефективним інструментом оцінювання просторового поширення вітрової ерозії (дефляції) ґрунтів, що показали супутникові знімки на весні 2007 року в зоні Степу (Запорізька, Херсонська, Одеській та інших областей). Актуальним в цьому відношенні були супутникові спостереження прояву вітрової ерозії і на території зоні Полісся 16 квітня 2020 року. Особливо це було помітно на території Київської області та м. Києва. Епіцентр масштабної пилової бурі зафіксовано за допомогою супутникових знімків Sentinel-5PUVAerosolIndex які дозволяють відстежувати концентрацію аерозолів від пилу та попелу (рис. 13).

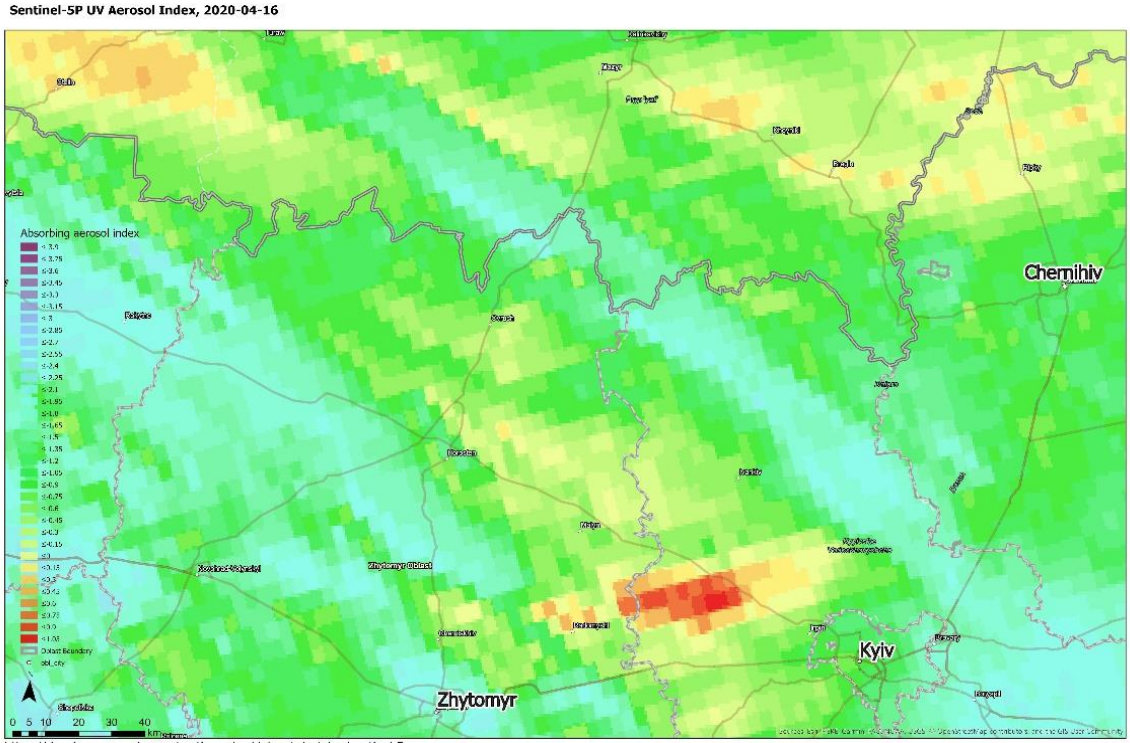
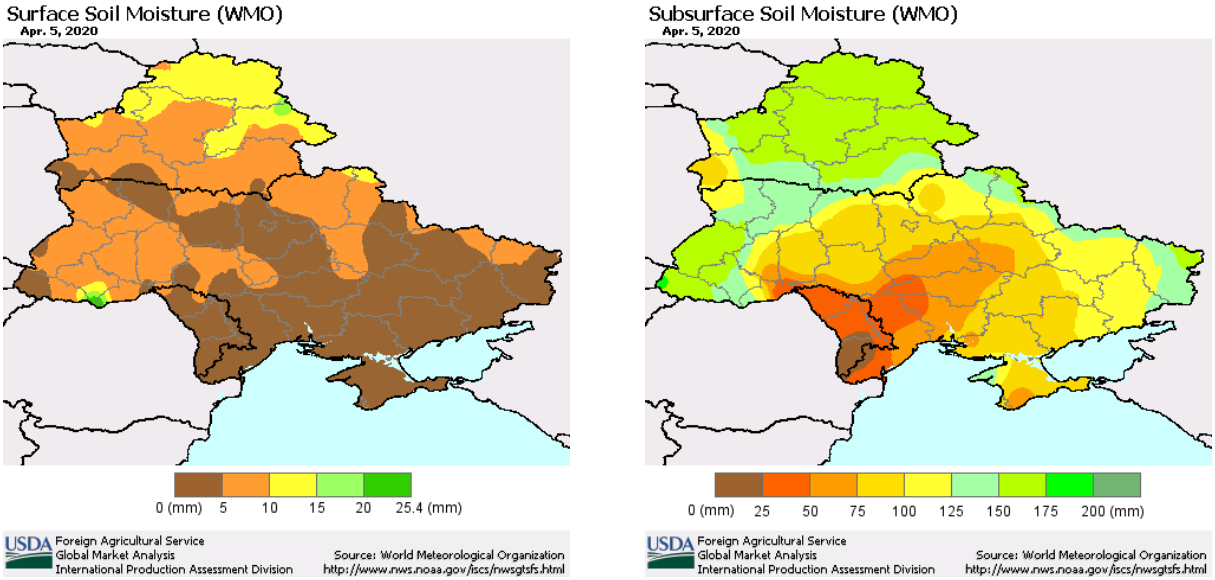


Рис. 13. Епіцентр пилової бури (червоний та жовтий колір) на території Українського і Білоруського полісся на супутникових знімках Sentinel-5P UV Aerosol Index (16. 04 2020р).

На знімку чітко видно зону з дуже високою концентрацією аерозолей, в т. ч. часток ґрунту, на межі Київської (Макарівський та Бородянський райони) і Житомирської областей. Як видно на знімку територія масштабного прояву дефляції поверхні ґрунту охопила Українське і Білоруське полісся, що насамперед спричинено пересушуванням верхнього посівного шару ґрунту, в т. ч. передпосівним його обробітком, легким гранулометричним складом дерново підзолистих ґрунтів, а також поривчастим вітром зі швидкістю, яка місцями досягала 22 м/с. На чорноземах вітрова ерозії виникає вже за швидкості вітру від 15-17 м/с, а на піщаних ґрунтах – від 7- 10 м/с. Безумовно, що в останні роки весняний період, навіть в зоні Полісся, характеризується посушливістю, що збільшує ризики прояву процесів опустелювання, в т. ч. вітрової ерозії, навіть на територіях де вона раніше проявлялась локально тільки на пересушених торфових та глиністо-пісчаних ґрунтах.

Супутникові дані з вмістом вологи у ґрунті, підтвердили, що на всій території України, в т. ч. і в зоні Полісся, на початок квітня 2020 р. спостерігалося значне погіршення умов зволоження поверхневого шару (0-5 см) та зменшення запасів вологи в кореневмісному шарі грунту 0-100 см (рис. 14).



а б

Рис.14. Вміст вологи: а) у верхньому шарі ґрунту (0-5см), б) у шарі ґрунту 0-100 см (джерело даних: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer)

Пилова буря, що відбулася на квітні 2020 р. на території Полісся має ряд екологічних та економічних наслідків, що пов'язані з дефляцією верхнього родючого шару ґрунту під час посівного періоду, коли у ґрунт саме внесли добрива та гербіциди, які внаслідок буревію опинилися у водоймах, на присадибних ділянках та в межах населених пунктів. Це несе загрозу втрати ресурсів, урожаю та здоров'ю населення.

Окрім екологічних та економічних наслідків, варто відзначити унікальність цього явища. Пилова буря такого масштабу вперше фіксується у зоні Полісся. До цього пилові бурі спостерігалися у посушливих південних регіонах України періодично. Однак тепер можна говорити про прояв ознак опустелювання і у зонах Лісостепу та Полісся.

2.6. Адаптивні до посушливих явищ та опустелювання агротехнології

Не зважаючи на те, що застосування представлених нижче сучасних агротехнологій на території України не завжди супроводжується підвищенням урожайності сільськогосподарських культур в порівняні з традиційними, площі їх застосування постійно збільшуються завдяки не тільки скорочення витрат праці, енергозбереження, економного використання ресурсів промислового походження але й збереженню ґрунтів від ерозійної деградації та втрат вологи на не продуктивне фізичне випаровування та поверхневий стік. Це наступні технології:

1.Технологія контрольованого руху техніки (Controlled Traffic Farming) – багаторазове використання технологічної колії з точністю від 2 до 3 см., що сприяє покращенню агрофізичних параметрів ґрунту, підвищенню його водопроникності та протиерозійної стійкості поверхні ґрунту.

2. Технологія смугового обробітку посівного шару ґрунту (Strip Tillage) забезпечує збереження на поверхні ґрунту рослинних решток та його природного стану. Технологія відрізняється підвищеною протиерозійною ефективністю, запобігає втратам вологи на випаровування.

3. Технологія нульовий та мінімальний обробіток (No-Till та Mini-Till) – посівний шар ґрунту не обробляється або обробляється мінімально зі збереженням рослинних решток на поверхні гранту. Відрізняється досить високою противоерозійною

ефективністю, запобігає непродуктивної втратам вологи на випаровування та поверхневий стік.

4.Точна технологія (Precision agriculture) – використовує елементи глобального позиціонування, геоінформаційні системи та супутникові дані. Забезпечує економію агроресурсів промислового походження, зменшує строкатість родючості полів, прогнозування врожайності та змінного нормування.

Висновки

Супутникова моніторингова інформація є ефективними інструментами підвищення ефективності виявлення та оцінки просторового розвитку деградаційних процесів та опустелювання в результаті не тільки водної, але й вітрової ерозії, що забезпечить планування, прогнозування та розробку заходів із удосконалення структури агроландшафтів, підвищення їх протиерозійної стійкості, сталому розвитку агроекосистем та їх адаптації до потепління клімату.

Внаслідок його змін прогнозується збільшення кількості і глибини прояву стихійних метеорологічних явищ, що особливо стосується збільшення кількості опадів зливового їх характеру та посилення вітрового режиму. На фоні значного збільшення площ посіву просапних культур, тобто інтенсифікації агротехногенного впливу на ґрунтовий покрив, можна прогнозувати розширення площ прояву водної ерозії та катастрофічних пилових бурь, які можуть поширитись не тільки в південних регіонах України, але й в зони Лісостепу і Полісся. Все це негативно впливатиме в цілому на екологічний стан агроландшафтів, їх біорізноманіття, водний баланс, стан малих річок, родючість ґрунтів і, як результат, на значне падіння продуктивності агроекосистем. Зниження ризиків прояву цих негативних явищ потребуватиме запровадження системних заходів, в т. ч. більш екологічно досконалої контурної організації території сільськогосподарських угідь в умовах складного рельєфу, запровадження масштабних лісомеліоративних заходів, збереження природних залужених водостоків, запровадження ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту і посіву та приведення у відповідність до рельєфу і типу грунтів структури посівних площ і сівозмін. Актуальною залишається консервація еродованих та деградованих орних земель з переведенням їх у природні угіддя, створення водоохоронних та рекреаційних зон. Запровадження системного підходу у реалізації протиерозійних заходів в умовах потепління клімату, підвищення ризиків прояву ерозійних та посушливих явищ підвищить стійкість агроландшафтів та продуктивність зональних агроекосистем.

Дослідження з використанням даних ДЗЗ мають ряд переваг: оперативність; масштабність (за необхідності можна досліджувати великі площі); комплексність (можливість аналізувати декілька характеристик об’єкту); цілісність (можна досліджувати окремі території регіону, як складову глобального дослідження у продовж певного періоду часу).

Дані космічного знімання підвищують точність, об’єктивність та частоту спостережень, тому їх використовують як елемент, який доповнює, узагальнює та деталізує інформацію традиційної системи моніторингу.

Поряд з перевагами існують певні обмеження у використанні даних ДЗЗ. До основних обмежень належать технічні можливості знімальних систем, інколи складно отримати якісне зображення певної території у необхідний час. Не менш важливим фактором є бюджет дослідження, адже не завжди він може покрити вартість даних супутникового знімання і технічних засобів для їх обробки. Процес обробки та дешифрування знімків достатньо складний, його виконання потребує спеціальної

технічної підготовки. Важливим елементом супутникового агроекологічного моніторингу е тестова мережа наземних полігонів.

Але наразі наявна велика кількість даних різних супутникових систем у вільному доступі, що дозволяє отримувати інформацію про наземний покрив практично на безперервній основі.

Методи ДЗЗ дозволяють відстежувати зміни параметрів довкілля та якісного стану наземних об’єктів, тому можуть суттєвим чином удосконалити методики вартісної оцінки екосистемних послуг. Зв'язок між станом, функцією екосистем та екосистемною послугою може простежуватися за допомогою ряду індикаторів функцій агроекосистем які визначаються за даними ДЗЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Третье, Четвертое и Пятое Национальные сообщения Украины по вопросам изменения климата подготовленные на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции ООН об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола [Электронный ресурс]. – К., 2009. Режим доступу: http:unfccc.int/resource/docs/natc/ukr_nc5rev.pdf

2. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Величко В.А. Космічний моніто- ринг посушливих явищ // Вісник аграрної науки.– 2012.– № 10.– С.16-20.

3. Вожегова Р.А. Адаптація землеробства степової зони до умов підвищення по-сушливості клімату.– 2012 Режим доступу: http://unt.org.ua/adaptats-yazemlerobstva-stepovo-zoni-do-umov-p-dvishchennya-posushlivost-kl-matu.

4. Кононова Н.К. Флуктация циркуляции атмосферы северного полушария за 1899 – 2002 гг. Экстремальные периоды / Н.К. Кононова // Материалы Всемирной конференции по изменению климата. – М., 2002. – С. 411.

5. Вишкваркова О.В. Екстремальні опади та їх кліматичні особливості на території України / О.В. Вишкваркова / Автореферат канд.дис. – Севастополь, 2014. – 15 с.

6. Струтинська В.М. Вплив змін клімату на термічний та льодовий режим річок басейну Дніпра (в межах України) з другої половини ХХ ст.: автореф. дис. канд. географ. Наук: 11.00.07. Київ. нац.ун-т ім. Т.Г. Шевченка. Київ, 2008. 20 с.

7. AVHRR Level 1b Product Guide Ref.: EUM/OPS-EPS/MAN/04/0029 Issue: v3A Date: 21 Jan 2011 / http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/eps-pg/AVHRR/AVHRRPG-6ProdFormDis.htm.

8. Kharin V.V. Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM / V.V. Kharin, F.W. Zwiers // J.Clim.– 2000, 13. – P. 3760–3788

9. Польовий А.М. та ін. Моделювання впливу зміни клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність озимої пшениці в Україні // Укр. Гідрометеорол. Журн. 2007. №2. С. 76-91