

УДК 551.534.7:

РАДІАЦІЙНО-ТЕПЛОВІ РЕСУРСИ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2050 Р. ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН КЛІМАТУ

Польовий А. М., д-р геогр. наук, акад. АНВШ України, проф.
Шаблій О. В., ст. викл.

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, apolevoy@te.net.ua*

Розглядаються показники радіаційно-теплогового режиму в Степовій зоні України за період 1986 – 2005 рр. в порівнянні з очікуваними їх змінами, розрахованими за двома сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 на період 2015 – 2050 рр. Сценарій RCP4,5 – це сценарій стабілізації викидів парникових газів в атмосферу, сценарій RCP8.5 – це сценарій з дуже високим рівнем викидів парникових газів. Для характеристики радіаційних і теплових ресурсів за період 1986 - 2005 рр. (базовий період) у Степовій зоні України та їх зміни на період 2021 – 2050 рр. були проведені розрахунки середніх багаторічних величин першої групи факторів навколишнього середовища: тривалості світлої пори доби, сумарної сонячної радіації за добу, інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми ФАР, радіаційного балансу рослинного покриву, температурного режиму. Відзначається, що до 2050 р. в Степовій зоні буде спостерігатись підвищення надходження сонячної радіації за обома сценаріями порівняно з середніми багаторічними значеннями, що спричинить підвищення температурного режиму.

Ключові слова: сонячна радіація, фотосинтетично активна радіація, фотосинтетичний потенціал, температура, сума температур.

1. ВСТУП

Кліматичний режим кожного регіону формується на закономірностях розподілу радіаційного, теплового та водного балансів і впливу атмосферної циркуляції. Різноманітність і величезна кількість кліматоутворювальних факторів зумовлюють стан клімату з дуже ускладненим спектром коливань, в яких детермінований характер мають гармоніки річного та добового ходу. Наприкінці минулого і початку поточного століття науковцями відзначаються значні зміни кліматичних умов на всій Земній кулі через потепління. Сучасний клімат характеризують високі темпи зміни глобального волого-температурного режиму в значній товщі атмосфери та збільшення повторюваності небезпечних явищ погоди, які наносять значний збиток суспільству. Змінюється клімат Землі, відбувається глобальна антропогенна зміна функціонування рослинності. Це призводить до необхідності вирішення проблем досліджень, аналізу і прогнозу зміни кліматичних ресурсів у зв'язку зі змінами клімату. Тому ресурсний підхід до вивчення впливу кліматичних змін на забезпечення гідрометеорологічної безпеки – базові умови у вирішенні проблеми життєзабезпечення в динамічно стійкому суспільстві – досить важливий [1-4].

Сільське господарство є найбільш чутливою галуззю економіки до коливань та змін клімату.

Враховуючи інерційний характер сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже зараз виникає необхідність у прийнятті своєчасних рішень щодо складних проблем, зумовлених змінами клімату.

Важливою ланкою проблеми зміни глобального клімату є оцінка агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та вплив цих змін на їхню продуктивність. Під впливом зміни клімату змінюються агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур, що вимагає прийняття своєчасних та адекватних рішень для адаптації сільського господарства до майбутніх змін. За своїм географічним положенням, структурою народного господарства, станом довкілля Україна є однією з країн, для яких соціально-економічні наслідки зміни клімату можуть бути незворотними. Тому зміна кліматичних умов потребує подальшого дослідження.

Кліматичні зміни на майбутнє розраховуються з використанням кліматичних моделей. Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, які використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. В останній час для нових кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative

Concentration Pathways – RCP). Це сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [1 - 7].

У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі продовольча безпека України буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до змін клімату.

Основними кліматичними характеристиками є надходження сонячної радіації, середньомісячна температура повітря та сума опадів. Особливості зміни радіаційного та вологотемпературного режимів є доброю характеристикою тих змін клімату, які спостерігаються.

Завданням дослідження є виявлення впливу можливих змін клімату на показники радіаційного та температурного режимів на період з 2021 по 2050 роки в Степовій зоні України.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Дослідженнями особливостей різних процесів в атмосфері, за яких відбувається зміна радіаційно-температурного режиму підстильної поверхні, займається широке коло дослідників, серед яких слід відзначити Ю. А. Израеля, В. Ф. Логінова, А. М. Тарко, В. М. Волощука, С. М. Степаненка, А. М. Польового та ін. Відзначається, що особливо велику роль в зміні клімату під час потепління відіграє зміна великомасштабної атмосферної циркуляції, оскільки вона охоплює всі складові погодних умов. Світовими вченими визнано той факт, що зміна клімату наприкінці минулого та в поточному столітті активізувалась [1 - 6].

Останнім часом для нових кліматичних розрахунків використовується набір різних сценаріїв. Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року: $2,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP2.6; $4,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP4.5; $6,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP6.0 і $8,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2,6); два сценарії стабілізації (RCP4,5 і RCP6,0) і сценарій з дуже високим рівнем викидів парникових газів (RCP8,5) [1, 2].

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішими факторами сільськогосподарського виробництва. Рослинний покрив перетворює сонячну радіацію в інші види – хімічну, теплову енергію, а також обмінюється власним довгохвильовим випромінюванням з атмосферою та ґрунтом, і є важливим фактором формування термічного режиму посівів та

інших елементів фітоклімату.

Фотосинтетична діяльність рослин залежить від багатьох факторів, серед яких одним із головних є сонячна радіація як первинне джерело усіх біологічних і фізичних процесів, які відбуваються в рослинах. За даними Х. Г. Тоомінга, роль сонячної радіації в житті рослин багатостороння і визначається вона не тільки закономірностями зміни елементів фотосинтетичної діяльності рослин у залежності один від одного, але й під впливом змін агротехнічних заходів, густоти рослин, норм і термінів зрошення та норм і термінів живлення [7 - 9].

За біологічною дією на рослини діапазон короткохвильової радіації поділяється на ультрафіолетову, фотосинтетично активну (ФАР) та ближню інфрачервону (БІЧР) радіації. Для фізіологічних процесів, які визначають життєдіяльність рослин, найбільше значення має короткохвильова радіація з довжиною хвиль меншою за $4,0 \text{ мкм}$.

У процесі фотосинтезу використовується частина короткохвильової радіації, яка знаходиться в інтервалі $\lambda = 0,38 \dots 0,71 \text{ мкм}$ і зветься фотосинтетично активною радіацією (ФАР). Процес трансформації поглиненої рослиною енергії світла в хімічну енергію органічних (і неорганічних) сполук називають *фотосинтезом*.

ФАР – найважливіший фактор продуктивності рослин. Інтенсивність ФАР вимірюється інструментально або розраховується за даними про надходження прямої, розсіяної чи сумарної радіації [7 - 9].

Поглинання і пропускання ФАР регулює *листовий індекс* – відношення сумарної площі листової поверхні посіву до площі поля. Поглинання ФАР збільшується зі збільшенням площі листя. За даними А. А. Ничипоровича найбільше поглинання ФАР спостерігається при значенні листового індексу 4 та площі листя $40000 \text{ м}^2/\text{га}$. Характеристикою продуктивності фотосинтезу є чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ), тобто кількість органічної речовини, яка формується на 1 м^2 за добу.

Загалом вплив сумарної радіації на врожай визначається за особливостями динаміки характеристик урожайності та ознак сумарної радіації [6, 7].

Другою суттєвою складовою формування продуктивності сільськогосподарських культур є тепловий режим. Методів оцінки впливу термічних умов на формування врожайності багато – це термофізіологічні індекси, метеорологічні еквіваленти, суми температур за різні проміжки часу, тривалість міжфазних періодів, тощо.

3. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основним завданням дослідження є оцінка впливу можливих змін клімату на зміну радіаційно-теплогового режиму в Степовій зоні України. Ця робота є продовженням досліджень, які викладені в роботах [1, 2].

Для розрахунків можливих змін клімату використовувались два сценарії групи RCP: RCP4,5 – це сценарій, який передбачає стабілізацію викидів парникових газів в атмосферу, RCP8,5 – це сценарій, який передбачає дуже високий рівень викидів парникових газів.

Одним із методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-яких метеорологічних величин є порівняння цих величин із середніми багаторічними даними.

Для характеристики середніх багаторічних значень радіаційних і теплових ресурсів за період 1986 – 2005 рр. (базовий період) в Степовій зоні України та їх зміни на період 2015 – 2050 рр. були проведені розрахунки середніх багаторічних величин першої групи факторів навколишнього середовища: тривалості світлої пори доби, сумарної сонячної радіації за добу, інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми ФАР, радіаційного балансу рослинного покриву, температурного режиму.

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Аналіз метеорологічних показників виконувався в одній з агрокліматичних зон України – Степовій зоні, яка для деталізації характеристик по території поділяється на дві підзони: Північний Степ і Південний Степ. Для виявлення змін сучасних агрокліматичних умов були використані дані метеорологічних станцій Степової зони України. В якості часового масштабу прийнято інтервал у 30 років, через те, що стан клімату характеризується середніми значеннями, які властиві для такого інтервалу.

Для характеристики радіаційного режиму розглядалися такі показники: сумарна сонячна радіація, інтенсивність фотосинтетично-активної радіації (ФАР), сума ФАР та радіаційний баланс рослинного покриву.

Порівняльна характеристика величин сонячної радіації наводиться в табл. 1. Із розрахунків видно, що динаміка надходження сонячної радіації як за даними середніх багаторічних значень, так і за розрахунками за двома сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 відрізняється кількісними показниками в різні періоди.

Як вже було сказано, Степова зона України поділяється на дві підзони: Північний Степ і

Південний Степ.

В Північному Степу надходження сумарної сонячної радіації в середньому за базовий період становило 334,25 Вт/(м²·д). За сценаріями, до 2050 року очікується збільшення надходження сонячної радіації. При чому за сценарієм RCP8,5 зростання буде більш відчутним і перевищуватиме середню величину базового періоду на 70,4 Вт/(м²·д).

Розраховані за сценаріями показники сонячної радіації за період із температурами повітря вище 5 °С у Північному Степу були майже однаковими впродовж усього періоду вегетації і коливались від 310 Вт/(м²·д) на початку періоду до 435 Вт/(м²·д) в 11 декаду вегетації, коли досягли максимальних значень. Слід відзначити, що до червня за сценаріями розрахунками надходження сонячної радіації вище, ніж за базовий період. Починаючи з червня до першої декади серпня, надходження сумарної радіації за сценаріями співпадатиме із середніми значеннями за базовий період.

У Північному Степу коливання інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря вище 5 °С відзначається більш різкими коливаннями в базовий період, особливо в травні, червні та липні місяцях. Розраховані величини інтенсивності ФАР за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 відзначатимуться меншими коливаннями та будуть мати майже однакові значення 0,32 кал/(см²·хв).

Сумарне надходження ФАР у Північному Степу в середньому сягає 17,69 кал/(см²·період). За обома сценаріями змін клімату до 2050 року очікуватиметься збільшення ФАР до 27,0 кал/(см²·період).

В зоні Південного Степу відзначаються деякі відмінності в динаміці надходження сумарної сонячної радіації за середніми багаторічними значеннями від інших районів. До 11-ї декади вегетації надходження сумарної радіації було значно нижчим, ніж розраховане за сценаріями.

Після 11-ї декади до кінця періоду розраховані за сценаріями значення сумарної радіації будуть співпадати з середніми за базовий період. В цілому сумарна радіація за розрахунками за сценаріями буде очікуватись відповідно 462 та 469 Вт/(м²·д).

У Південному Степу динаміка інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря вище 5 °С показує, що в цій зоні в базовий період її значення поступово зростали від 0,08 кал/(см²·хв) на початку періоду до

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика показників сонячної радіації за період з температурою повітря вище 5 °С за природно-кліматичними зонами

Показники сонячної радіації	Степова зона	
	Північний Степ	Південний Степ
Середня за період сумарна сонячна радіація за декаду (1986 – 2005 рр.), Вт/(м ² д)	334.25	341.6
Сценарій RCP4,5 до 2050 р.	397.4	462.2
Різниця	63.2	150.6
Сценарій RCP8,5 до 2050 р.	404.7	469.9
Різниця	70.4	158.3
Інтенсивність ФАР (1986 – 2005 рр.), кал/(см ² ·хв)	0.171	0.208
Сценарій RCP 4,5 до 2050 р.	0.243	0.272
Різниця	0.07	0.06
Сценарій RCP 8,5 до 2050 р.	0.305	0.356
Різниця	0.13	0.15
Сума ФАР наростаючим підсумком (1986-2005 рр.), ккал/(см ² ·період)	17,69	17,86
Сценарій RCP4,5 до 2050 р.	27.51	38.23
Різниця	7.02	11.03
Сценарій RCP8,5 до 2050 р.	27.50	38.34
Різниця	9.81	21.14
Радіаційний баланс рослинного покриву (1986-2005 рр.), кал/(см ² ·добу)	116.08	119.7
Сценарій RCP4,5 до 2050 р.	183.4	208.6
Різниця	67.3	88.9
Сценарій RCP 8,5 до 2050 р.	172.8	199.2
Різниця	56.7	79.5

0,27 кал/(см²·хв) в десятю декаду, тобто до початку червня. Далі впродовж 7 декад коливання не спостерігались, а з сімнадцятої декади до кінця періоду почалось поступове зменшення інтенсивності ФАР.

Сумарне надходження ФАР в Південному Степу в базовий період сягало 17,86 ккал/(см²·період). У період до 2050 року за обома сценаріями очікуються суми ФАР 38,2 ккал/(см²·період).

В період до 2050 року буде спостерігатись збільшення радіаційного балансу за сценарієм RCP4,5 до 208 кал/(см²·д) та до 199 кал/(см²·д) за сценарієм RCP8.5.

Підвищення складових радіаційного режиму впродовж всього періоду з температурами повітря вище 5°С до 2050 року спричинить підвищення витрат тепла на випаровування та надходження тепла в ґрунт, що сприятиме зміні температурного режиму підстильної поверхні.

Аналіз змін температурного режиму по території України виконувався за ті самі періоди, що і показники радіаційного режиму: 1986-2005 рр.

та 2021-2050 рр.

В якості основних кліматичних та агрокліматичних характеристик температурного режиму були використані:

- дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15 °С навесні та восени;
- тривалість періоду з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15 °С;
- суми позитивних температур повітря за період з температурами вище 0, 5, 10, 15 °С;
- середня температура повітря січня, липня та їхня амплітуда.

Для сільськогосподарського виробництва важливу роль відіграє період з температурами повітря вище 5 °С, оскільки більшість зернових культур мають біологічний мінімум температури для розвитку саме 5 °С. Розглянемо, як зміняться терміни настання дат переходу температури повітря через 5 °С навесні і восени, розраховані за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5, у порівнянні з середніми багаторічними термінами.

Середня багаторічна тривалість періоду з температурами повітря вище 5 °С в обох

підзонах становила відповідно 213 та 236 днів. Розрахунки за обома сценаріями показали, що навесні перехід температури повітря через 5 °С в Степовій зоні співпадає з датами базового періоду. Слід відзначити, що у Південному Степу за сценарієм RCP4,5 терміни переходу наставатимуть пізніше на 13 днів. Восени терміни переходу температури повітря через 5 °С будуть співпадати з середніми багаторічними.

Тривалість періоду з температурами вище 5 °С зменшиться, в Північному Степу – до 210 днів. У Південному Степу за сценарієм RCP4,5 тривалість періоду зменшиться до 215 днів, за сценарієм RCP 8,5 залишиться на рівні середнього багаторічного і становитиме 234 дні.

У зв'язку зі зміною тривалості періоду з температурами повітря вище 5 °С зміняться і суми температур у разі реалізації обох сценаріїв.

Період з температурами повітря вище 10 °С важливий для сільськогосподарського виробництва при вирощуванні більшості теплолюбних культур.

Аналіз таблиці 2 також показав, що за середніми багаторічними даними (1986-2005 роки) дати переходу температури через 10 °С навесні в Північному Степу – 17 – 19 квітня, в Південному Степу – всередині другої декади квітня. Восени ці дати відзначались у Північному Степу – 7 жовтня, а в Південному Степу – 19 жовтня. Тривалість періоду з температурами повітря вище 10 °С зростала до 186 днів у Південному Степу.

Розрахунки настання дат переходу температури повітря через 10 °С за сценаріями RCP4,5; та RCP8,5 навесні показують, що вони будуть наставати пізніше в Північному Степу – на 4 дні, у Південному Степу за першим сценарієм вони наставатимуть раніше на 4 дні, за другим сценарієм пізніше на 6 днів. Восени дати переходу температури повітря через 10 °С у Південному Степу будуть співпадати із середніми багаторічними, за обома сценаріями, і лише в Північному Степу ці дати будуть незначно відхилятися від середніх багаторічних: за першим сценарієм на 3 дні пізніше, за другим сценарієм на два дні раніше середніх багаторічних. Тривалість періоду з температурами повітря вище 10 °С за обома сценаріями у Степовій зоні буде однаковою, або нижчою ніж у базовий період.

Як видно з табл. 3, в разі реалізації будь-якого сценарію в районі Північного Степу суми температур вище 5 °С залишаться майже на рівні середніх багаторічних і становитимуть відповідно 2800 та 3010 °С. В Південному Степу середні багаторічні суми становили 3690 °С. За сценарієм RCP4,5 вони очікуються на рівні середніх багаторічних, за сценарієм RCP8,5 – вищими на 100 °С. У Північному Степу очікувані суми будуть майже однакові з середніми багаторічними і становитимуть 3040 – 3090 °С. І тільки в Південному Степу очікувані суми температур вище 10 °С будуть вищими за обома сценаріями

Таблиця 2 – Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5, 10, 15 °С та тривалість періодів з цими температурами

Період	Дати переходу температури повітря через межі						Кількість днів з температурою повітря рівною або вище		
	Навесні			Восени					
	5 °С	10 °С	15 °С	15 °С	10 °С	5 °С	5°С	10 °С	15 °С
Північний Степ									
1986-2005 рр.	1.IV	17.IV	15.V	15.IX	7.X	30.X	213	173	123
Сценарій RCP4,5	3.IV	21.IV	15.V	19.IX	10.X	29.X	210	172	136
Сценарій RCP8,5	1.IV	21.IV	12.V	15.IX	5.X	27.X	210	172	135
Південний Степ									
1986-2005 рр.	21.III	15.IV	12.V	25.IX	19.X	11.XI	236	186	136
Сценарій RCP4,5	3.IV	11.IV	12.V	20.IX	20.X	10.XI	215	181	131
Сценарій RCP8,5	22.III	21.IV	11.V	28.IX	20.X	10.XI	234	182	134

Таблиця 3 – Характеристики температурного режиму за різними сценаріями

Період	Сума активних температур вище				Температура повітря, °С		
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	січень	липень	амплітуда
Північний Степ							
1986–2005	3409	3356	3010	2372	-4,0	22,1	26,1
RCP 4,5	3410	3325	3041	2570	-3,0	22,3	25,3
Різниця	-1	31	-31	-198	1	-0,2	0,8
RCP 8,5	3510	3380	3090	2571	-4,4	22,5	26,9
Різниця	-101	-24	-80	-199	-0,4	-0,4	-0,8
Південний Степ							
1986–2005	3819	3690	3322	2707	-1,9	23,7	25,6
RCP 4,5	3900	3683	3464	2732	0,1	23,9	23,8
Різниця	-81	7	-142	-25	1,8	-0,2	1,8
RCP8,5	3999	3798	3413	2894	-0,9	24,2	25,1
Різниця	-180	-108	-91	-187	1	-0,5	0,5

і становитимуть відповідно 3460 – 3410 °С (табл. 3).

Дати переходу температури повітря через 15 °С навесні в базовий період спостерігались у Північному Степу 15 травня, а у Південному Степу – 12 травня.

Восени, навпаки, вони наставали пізніше і були відповідно 15 вересня та 25 вересня. Тривалість періоду з температурами повітря вище 15 °С становила 125 – 136 днів.

Суми температур вище 15 °С теж зростали і становили в Північному Степу 2372 °С, в Південному – 2707 °С.

В разі реалізації сценарію RCP4,5 на період до 2050 року в Північному Степу очікується зростання сум температур до 2570 °С, в Південному Степу суми температур залишаться на рівні середніх багаторічних.

В разі реалізації сценарію RCP8,5 у Північному Степу очікується така ж сума, як і за першим сценарієм, тобто 2570 °С. В Південному Степу за другим сценарієм сума зростає значно більше, ніж за першим сценарієм і становитиме 2890 °С.

Ще однією з кліматичних характеристик термічного режиму є середні температури найхолоднішого і найтеплішого місяця (січень, липень). Як видно з табл. 3, в базовий період найвища температура в січні спостерігалась у Південному Степу -1,9 °С. В липні найвища температура спостерігалась теж у Південному

Степу і становила 23,7 °С. У відповідності з найвищими та найнижчими температурами повітря змінювалось і значення амплітуди температур. Так, у Північному Степу вона становила 26,1 °С, у Південному Степу – 25,6 °С. Розрахунки за обома сценаріями показують, що у січні в Степовій зоні температура зростає більше як на 1 °С, а в липні буде на рівні базового значення, або незначно вище. У зв'язку з підвищенням температури в січні, амплітуда температур зменшиться на 1 – 1,8 °С.

5. ВИСНОВКИ

Таким чином, порівняння середніх багаторічних показників радіаційно-теплого режиму та показників, розрахованих за даними кліматичної моделі, згідно з сценаріями Репрезентативної траєкторії концентрацій викидів парникових газів RCP4,5 та RCP8,5, встановило, що в Степовій зоні України очікується збільшення показників радіаційного режиму, яке, в свою чергу, спричинить поступове збільшення температури повітря, особливо за сценарієм RCP8,5. Потепління сприятиме підвищенню температури в зимові місяці та влітку, що зменшить амплітуди температури повітря. Крім того, зростання ресурсів тепла призведе до кращого теплозабезпечення сільськогосподарських культур, що даватиме змогу розширити ареал розповсюдження теплолюбних культур. Внаслідок

зростання надходження сум сонячної радіації в Південному Степу зростуть і суми температур за різні проміжки часу. Але зростання буде незначним і не перевищуватиме 200 °С.

ПОДЯКИ

Робота виконана в контексті реалізації задач міжнародного проекту “Адаптивне навчальне середовище для забезпечення компетенцій в галузі впливу місцевих погодних умов, якості повітря та клімату на економіку та соціум – ЕСОІМПАСТ”, 561975-EPP-1-2015-1-FI-EPPKA2-SVHE-JP, в рамках програми Європейського Союзу ERASMUS+.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: «Екологія», 2011. 694 с.
2. Кліматичні зміни та їх вплив на сфері економіки України / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: Вид. «ТЕС», 2015. 520 с.
3. Антропогенные изменения климата // под ред. М. И. Будыко. Ю. А. Израэля. Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. 405 с.
4. Волощук В. М. Основні закономірності сучасного потепління клімату на території України і його екологічні наслідки // Україна та глобальні процеси: географічний вимір. Київ – Луцьк, 1998. Т.3. С. 202 – 208.
5. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия / под ред. В. М. Котлякова. Москва: «Геос», 2000. 262 с.
6. Гребенюк Н., Корж Т., Яценко А. Нове про зміну глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХІ ст. // Водне господарство України. 2002. № 5-6. С. 56-62.
7. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Ленинград: Гидрометеоздат, 1977. 200 с.
8. Будаговский А. И., Росс Ю. К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов // в кн. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. Москва: Наука, 1966. С. 51 – 58.
9. Полевой А. Н. Прикладное моделирование и прогнози-

- рование продуктивности посевов. Ленинград: Гидрометеоздат, 1988. 318 с.
10. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса: ТЕС, 2012. 628 с.

REFERENCES

1. Stepanenko S. M., Pol'ovyy A. M. (Eds). *Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na haluzi ekonomiky Ukrainy* [Assessment of impact of climate change on industries in Ukraine]. Odessa: «Ekolohiya» Publ., 2011. 694 p.
2. Stepanenko S. M., Pol'ovyy A. M. (Eds). *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy* [Climate change and its impact on sectors of the economy in Ukraine]. Odessa: «TES» Publ., 2015. 520 p.
3. Budyko M. I. Izrayel Yu. A. (Eds). *Antropogennyye izmeneniya klimata* [Anthropogenic climate change]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 405 p.
4. Voloshchuk V. M. Basic regularities of current global warming on the territory of Ukraine and its environmental impacts. *Ukrayina ta hlobal'ni protsesy: heohrafichnyy vymir* [Ukraine and global processes: the geographical dimension]. Kyiv – Lutsk, 1998, vol. 3, pp. 202 – 208.
5. Kotlyakov V. M. (Ed.). *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata i ikh prirodnye i sotsial'no-ekonomicheskie posledstviya* [Global and regional climate change and its environmental and socio-economic impacts]. Moscow: «Geos», 2000. 262 p.
6. Hrebenyuk N., Korzh T., Yatsenko A. *Vodne hospodarstvo Ukrainy – Water industry of Ukraine*, 2002, no. 5-6, pp. 56-62.
7. Tooming Kh. G. *Solnechnaya radiatsiya i formirovaniye urozhaya* [Solar radiation and the crop formation]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 200 p.
8. Budagovskiy A. I., Ross Yu. K. Fundamentals of quantitative theory of photosynthetic activity of crops. *V rnige: Fotosinteziruyushchie sistemy vysokoy produktivnosti* [In book: Photosynthetic high productivity system]. Moscow: Nauka, 1966. pp. 51 – 58.
9. Polevoy A. N. *Prikladnoye modelirovaniye i prognozirovaniye produktivnosti posevov* [Application modeling and forecasting of crop productivity]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 318 p.
10. Pol'ovyy A. M. *Sil's'kohospodars'ka meteorolohiya* [Agricultural Meteorology]. Odessa: «TES» Publ., 2012. 628 p.

RADIATION-AND-TEMPERATURE RESOURCES OF THE STEPPE ZONE IN UKRAINE UNDER THE CLIMATE CHANGE CONDITIONS IN THE PERIOD OF UP TO 2050

A. N. Polevoy, Dr Sci (Geogr.),

Academ. of the Higher School Academy of Sciences of Ukraine, Prof.,

O. V. Shabliy, Assis. Prof.

Odessa State Environmental University,

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, apolevoy@te.net.ua

Indices of the radiation-and-temperature regime in the Steppe zone of Ukraine in the period of 1986 through 2005, as compared to the expected changes in these indices, calculated in accordance with the two climate change scenarios, RCP4,5 and RCP8,5, for the period of up to 2050, are under consideration in the paper. RCP4,5 is a scenario of stabilization of greenhouse gas emissions into the atmosphere, while RCP8.5 is the one of very high greenhouse gas emissions. To character-

ize the radiation and thermal resources in the Steppe zone of Ukraine in the period of 1986 through 2005 (the basic period), and the change in the period of 2021 through 2050 calculations of average long-term values for the first group of environmental factors were performed: the duration of daytime, the total daily solar radiation, the intensity of photosynthetically active radiation (PAR), the accumulated PAR, the radiation balance of the vegetation cover, and the temperature regime. The following principal agro-climatic characteristics of the temperature regime were considered: dates of stable rise of the air temperature above 0, 5, 10, 15 °C in spring and autumn, duration of the period with air temperatures above 0, 5, 10, 15 °C, the accumulated positive air temperatures for the period with air temperatures above 0, 5, 10, 15 °C, the average air temperature in January and July, and the amplitude.

It is pointed out that in the period of up to 2050, according to the calculations in both scenarios, increased indices of the radiation-and-temperature regime will be observed. The values of the radiation regime parameters will predominantly increase in late summer and early autumn. As a result of the inflow of increased accumulated solar radiation, the accumulated temperatures in the period with air temperatures above 5 °C will also rise. The expected increase in the accumulated temperatures will nevertheless not exceed 200 °C. A rise in the total temperature will contribute to better heat supply for the crops.

Keywords: solar radiation, photosynthetically active radiation, photosynthetic potential, air temperature, accumulated temperatures

РАДИАЦИОННО – ТЕПЛОВЫЕ РЕСУРСЫ СТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ НА ПЕРИОД ДО 2050 ГОДА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

А. Н. Полевой, д-р геогр. наук, акад. АНВШ Украины, проф.,
О. В. Шаблій, ст. преп.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, apolevoy@te.net.ua*

Рассматриваются показатели радиационно-теплового режима в Степной зоне Украины за период 1986-2005 гг. в сравнении с ожидаемыми их изменениями, рассчитанными по двум сценариям изменения климата RCP4,5 и RCP8,5 на период до 2050 года. Сценарий RCP4,5 - это сценарий стабилизации выбросов парниковых газов в атмосферу, сценарий RCP8,5 – это сценарий с очень высоким уровнем выбросов парниковых газов. Для характеристики радиационных и тепловых ресурсов за период 1986-2005 гг. (базовый период) в Степной зоне Украины и их изменения на период 2021 – 2050 гг. были проведены расчеты средних многолетних величин первой группы факторов окружающей среды: продолжительность светлого времени суток, суммарной солнечной радиации за сутки, интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР), суммы ФАР, радиационного баланса растительного покрова, температурного режима. Отмечается, что в период до 2050 года будет наблюдаться повышение показателей радиационно – теплового режима по расчетам по обоим сценариям. Повышение значений показателей радиационного режима будет наблюдаться в основном во второй половине лета и начале осени. В результате поступления повышенных сумм солнечной радиации, возрастут и суммы температур за период с температурами воздуха выше 5 °C. Однако ожидаемое увеличение сумм температур не будет превышать 200°С. Повышение сумм температур будет способствовать лучшей теплообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: солнечная радиация, фотосинтетически активная радиация, фотосинтетический потенциал, температура, сумма температур.

*Дата першого подання: 11. 10. 2016
Дата надходження остаточної версії: 20. 11. 2016
Дата публікації статті: 24. 11. 2016*