

[sci-conf.com.ua](http://sci-conf.com.ua)

**SCIENTIFIC  
ACHIEVEMENTS  
OF MODERN  
SOCIETY**

**Abstracts of II International  
Scientific And Practical Conference  
October 9-11, 2019**

**LIVERPOOL  
2019**

УДК 551.521.583.635.1/8

**РАДІАЦІЙНІ ФАКТОРИ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИННОГО  
ПОКРИВУ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ**

**Барсукова Олена Анатоліївна**

**Божко Людмила Юхимівна**

**Боровська Галина Олександрівна**

к.геогр.н., доценти

Одеський державний екологічний університет

**Анотація:** В статті викладаються результати дослідження впливу змін клімату на складові радіаційного режиму на верхній межі рослинного покриву в зоні Південного Степу на період 2021 – 2050 рр. шляхом порівняння з аналогічними середніми багаторічними показниками радіаційного режиму за базовий період (1980-2010рр.). Розрахунки очікуваних умов на 2021 – 2050 рр. виконувались за сценаріями змін клімату RCP4.5 та RCP8.5.

**Ключові слова:** сонячна радіація, фотоморфогенетичний, фотосинтетичний і тепловий ефект сонячної радіації, фотосинтез.

Однією із основних задач агрометеорології є вивчення зв'язків розвитку і продуктивності сільськогосподарських культур з метеорологічними факторами. Всі фактори, які впливають на ріст та розвиток рослин можна розділити на три групи: кліматичні (сонячна радіація, тепло, волога, газовий склад повітря та ін.) едофізичні (структура ґрунтів та їх хімічний склад), і біотичні (різні мікроорганізми, а також різні рослинні і тваринні організми як корисні, так і шкідливі). Рослини впродовж вегетаційного періоду потребують забезпечення вимог до факторів навколишнього середовища і тільки гармонійне сполучення усіх необхідних факторів забезпечують оптимальний розвиток рослин та формування високого врожаю.

Серед основних факторів життєдіяльності найважливішою є сонячна радіація як первинне джерело енергії всіх біологічних та фізичних процесів, які відбуваються в рослинних організмах. При цьому важливим є як інтенсивність і тривалість опромінювання рослин сонячним світлом, так і спектральний склад радіації, який визначає фотоморфогенетичний, фотосинтетичний та тепловий ефект впливу на рослини [1-3].

Сонячна радіація є головним джерелом енергії для формування врожаїв сільськогосподарських культур. Енергетична потреба рослин виражається через потребу рослин у теплі (суми температур) та надходженням фотосинтетично активної радіації (ФАР), яка також визначається у вигляді сум ФАР, яка надходить до земної поверхні за період активної вегетації сільськогосподарських культур.

За даними Тоомінга Х.Г роль сонячної радіації в житті рослин багатостороння і визначається вона не тільки закономірностями зміни елементів фотосинтетичної діяльності рослин в залежності один від одного, але і під впливом змін агротехнічних заходів, густоти рослин, норм і термінів зрошення та норм і термінів живлення [4, 5].

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішим фактором сільськогосподарського виробництва.

Радіаційні процеси, що протікають в діяльному шарі будь-кого фітоценозу, є енергетичною основою фотосинтезу, визначають життєдіяльність рослин і формування їх продуктивності. Дослідженню цього питання надається особливе значення у зв'язку з біофізичними аспектами проблем фотосинтезу рослинного покриву [4, 5]. Це значення особливо зростає в останній час у зв'язку зі зміною клімату.

Фотосинтетична діяльність рослин у посівах характеризується величинами: площею листя, фотосинтетичним потенціалом, чистою продуктивністю фотосинтезу, коефіцієнтом господарської ефективності та коефіцієнтом енергетичної ефективності формування урожаю.

Вплив радіації на рослини визначається у *трьох напрямках*:

- 1) *тепловий ефект* сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70% перетворюється в тепло і використовується для транспірації, для підтримки температури рослин та ін;
- 2) *фотосинтетичний ефект* сонячної радіації. Із поглиненої в інтервалі спектра 0,38-0,71 мкм радіації (область ФАР) до 28% використовується в процесі фотосинтезу для створення органічних речовин;
- 3) *фотоморфогенетичний (регулюючий) ефект* сонячної радіації в процесі росту і розвитку рослин. Активна частина радіації, що впливає на ці процеси, починається з ультрафіолетової частини, охоплює діапазон ФАР і закінчується на порозі близько 0,76 мкм, тобто в початковому діапазоні близької інфра – червоної радіації (БІЧР) [4, 5].

Ефективність використання сонячної радіації рослинами характеризується *коефіцієнтом корисної дії (ККД)*, який визначається відношенням кількості енергії, запасеної в продуктах фотосинтезу, або тієї, що утворилась у фітомасі врожаю, до кількості поглиненої радіації [5].

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_{\phi}} \quad (1)$$

де  $\eta$  – ККД;

$q$  – калорійність рослин, кДж/г;

$Y$  – біологічний врожай загальної сухої фітомаси, г/м<sup>2</sup>;

$\sum Q_{\phi}$  – сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період, МДж/м<sup>2</sup>.

ФАР – найважливіший фактор продуктивності рослин. Інтенсивність ФАР вимірюється інструментально або розраховується за даними про надходження прямої, розсіяної чи сумарної радіації ( $Q$ ) (Тоомінг Х.Г., Гуляев Б.І., Єфимова Н.А.)

$$\sum Q_{\text{фар}} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad , \quad (2)$$

де  $\sum Q_{\text{фар}}$  – сумарна фотосинтетично активна радіація (Дж/м<sup>2</sup>);

$\sum S'$  – сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, (Дж/м<sup>2</sup>);

$\sum D$  – сума розсіяної сонячної радіації (Дж/м<sup>2</sup>).

*Інтенсивність фотосинтезу* відповідає кількості вуглекислого газу, що засвоюється одиницею листової поверхні за одиницю часу. Вона коливається від 5 до 25 мг СО<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>/год). Добову продуктивність фотосинтезу визначають за співвідношенням добового приросту маси рослини до площі її листків.

Важливим показником, який визначає поглинання і пропускання ФАР є *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 40 000м<sup>2</sup>/га. *Фотосинтетичний потенціал посіву* (ФПП) – сумарна листкова поверхня, яка брала участь у фотосинтезі від початку вегетації до закінчення фотосинтезу [5].

Для утворення репродуктивних органів і господарської цінної частки врожаю необхідно, щоб площа листя була оптимальною.

Мета дослідження зводиться до рішення наступних задач: вивчення закономірностей формування радіаційно-теплого режиму на верхній межі рослинного покриву, та їх вплив на продуктивність овочевих культур. Для вирішення поставлених задач були розраховані фактори першої групи факторів навколишнього середовища: надходження сумарної сонячної радіації за добу, інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми ФАР за вегетаційний період, радіаційного балансу рослинного покриву. При дослідженні продукційного процесу овочевих культур їх посіви розглядалися як єдине ціле співтовариство одновидових рослин, щоб фітометричні спостереження використовувались для достовірної характеристики цьому співтовариству, відповідно до загальноприйнятих методик [3, 4].

Овочеві культури відіграють особливу роль у харчуванні людини через те, що вміщують велику кількість вітамінів та органічних сполук, які нейтралізують неорганічні кислоти сполуки, що вводяться в організм з такими продуктами харчування як м'ясо, жири, яйця, вироби з муки, крупи. Така нейтралізація

необхідна для більш повного засвоєння білків та підтримки лужної реакції крові і нормального функціонування всього організму людини.

Серед великої кількості вирощуваних в Україні овочевих культур особливе місце належить баклажанам, солодкому перцю та томатам. Основні посівні цих культур розташовані в Степовій зоні України.

Тривалість вегетаційного періоду культур залежить від скоростиглості сорту, біологічного мінімуму, забезпеченості рослин теплом. Нижня межа розвитку овочевих культур становить відповідно 10 – 13 °С. За вегетаційний період ці культури вимагають суми температур в залежності від скоростиглості сортів від 2800 до 3800 °С.

Сумарне споживання води овочевими культурами залежить від густоти рослин, суми опадів, кількості та норм поливів, механічного складу ґрунтів. Вирощуються культури розсадним способом і тільки іноді насіння томатів висівається в ґрунт в крайніх південних районах [1].

В дослідженнях були використані матеріали багаторічних спостережень за станом рослин, їх розвитком та формуванням продуктивності за період з 1980 по 2010 рр. та їх зміни на період 2021 – 2050 рр. виявлені із розрахунків виконаних за сценаріями змін клімату *RCP4.5* та *RCP8.5*.

Для кліматичних розрахунків використовувався набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP), що уявляють собою чотири сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [8-10]. Найбільш дослідженими сценаріями клімату майбутнього вважаються два з них: RCP 4,5 та RCP 8,5. Найпесимістичнішим є сценарій – RCP 8,5, який передбачає експоненціальне збільшення кількості вуглецю в атмосфері до кінця XXI ст. приблизно в 2,5 рази відносно сучасного [8-10].

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів були використані розроблені А.М. Польовим моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур : – модель формування продуктивності

агроекосистеми [6]; – модель фотосинтезу зеленого листка рослини при зміні концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері [7].

В табл.1 представлені в порівнянні щомісячні надходження сумарної радіації в базовий період і розраховані за двома сценаріями зміни клімату *RCP4.5* та *RCP8.5* в Степовій зоні України.

Із табл. 1 видно, що надходження сумарної радіації в базовий період поступово збільшувалось з січня до серпня місяця включно, далі поступово зменшувалось до грудня місяця. Сценарні розрахунки показують, що в період 2021 – 2050 рр. за обома сценаріями в останній місяць осені і в зимові місяці надходження сумарної радіації за сценарними даними будуть нижче середніх багаторічних базового періоду. Починаючи з березня впродовж всього періоду до листопада розрахункові величини сумарної радіації за сценарними даними очікуватимуться вищими, ніж в базовий період. Причому більша різниця між середніми величинами базового періоду і розрахованими буде спостерігатись в разі реалізації сценарію *RCP8.5*.

**Таблиця 1**

**Порівняльна характеристика надходження сумарної сонячної радіації (Вт/м<sup>2</sup>) в базовий період з розрахованими величинами за сценаріями *RCP4.5* та *RCP8.5***

Період	М і с я ц і											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980-2010	62,3	115,1	127,5	167,8	234,7	248,6	263,5	231,9	167,1	97,2	70,3	675
<i>RCP4.5</i>	52,6	88,6	145,3	200,9	242,9	272,3	275,6	241,5	177,8	111,2	62,2	43,4
<i>Різниця</i>	-9,7	-26,5	17,8	33,1	8,2	23,7	12,1	9,6	10,7	14,0	-8,0	-24,1

<i>RCP8.5</i>	58,5	106,7	162,2	228,4	254,6	275,5	292,1	257,5	184,2	121,3	67,3	46,1
<i>Різниця</i>	-3,8	-8,9	34,7	60,6	19,9	26,9	71,4	25,6	17,1	24,1	-3,0	-21,3

Характеристика показників радіаційних ресурсів степовій зоні України представлена в табл.2.

**Таблиця 2**

**Порівняльна характеристика середніх багаторічних показників радіаційних ресурсів з розрахованими на період 2021 – 2050 рр. за сценаріями *RCP4.5* та *RCP8.5***

Період	Декади вегетації овочевих культур											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середня за декаду сумарна сонячна радіація, (Вт/м <sup>2</sup> )·1980-2010рр.	206,9	250,7	268,4	211,2	340,3	402,4	369,7	396,9	421,4	410,3	412,5	407,7
Сценарій RCP 45 (Вт/м <sup>2</sup> )·до 2050 р	219,3	273,6	339,0	383,9	348,1	421,4	386,7	429,3	458,1	491,1	456,9	474,4
Сценарій RCP 85	222	278	340	407	387	426	399	424	458	472	454	474

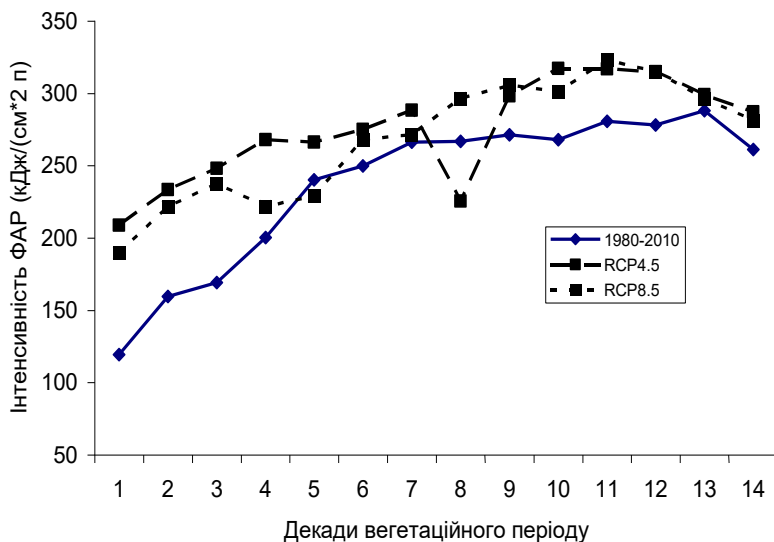


(Вт/м <sup>2</sup> )· до 2050р	,2	,1	,6	,0	,5	,5	,7	,0	,1	,4	,4	,5
Інтенсивні сть ФАР (кал/см <sup>2</sup> ·хв ) 1980 – 2010рр.	0,1 27	0,1 48	0,1 51	0,1 75	0,1 77	0,2 02	0,1 80	0,1 89	0,1 99	0,1 93	0,1 95	0,1 98
Сценарій RCP 45 (кал/см <sup>2</sup> ·хв ) до 2050 р.	0,1 56	0,1 84	0,2 18	0,2 36	0,2 06	0,2 41	0,2 15	0,2 33	0,2 46	0,2 63	0,2 47	0,2 61
Сценарій RCP 85 (кал/см <sup>2</sup> ·хв ) до 2050р.	0,1 58	0,1 88	0,2 19	0,2 50	0,2 29	0,2 44	0,2 22	0,2 30	0,2 46	0,2 53	0,2 46	0,2 61
Сума ФАР наростаюч им підсумком (ккал/см <sup>2</sup> ·х в) 1980-2010 рр	0,4 72	1,6 1	2,8 4	4,3 2	5,8 7	7,7 1	9,5 6	11, 37	13, 29	15, 16	17, 04	19, 65
Сценарій RCP 45(кал/см <sup>2</sup> ·хв)	3,1 4	5,5 6	7,3 2	9,3 2	11, 13	13, 32	15, 53	17, 77	20, 15	22, 70	25, 08	27, 54

до 2050 р.												
Сценарій												
RCP 85 (кал/см <sup>2</sup> ·хв ) до 2050 р.	3,1 4	5,5 9	7,3 6	9,4 7	11, 49	13, 71	15, 99	18, 20	20, 58	23, 04	25, 40	27, 86
Радіаційни й баланс рослинног о покриву (кал/см <sup>2</sup> ·д оба) 1980- 2010рр.	113 ,8	137 ,5	140 ,8	143 ,5	105 ,1	83, 20	54, 70	57, 50	64, 80	68, 20	82, 00	224 ,2
Сценарій												
RCP 45 (кал/см <sup>2</sup> ·до ба) до 2050 р.	140 ,6	176 ,8	219 ,1	240 ,3	192 ,5	169 ,8	101 ,9	89, 06	100 ,0	114 ,0	126 ,7	257 ,3
Сценарій												
RCP 85 (кал/см <sup>2</sup> ·до ба) до 2050 р	142 ,4	179 ,8	220 ,1	248 ,8	193 ,2	148 ,1	93, 29	88, 63	102 ,4	113 ,0	137 ,3	325 ,1

Аналіз таблиці 2 показав, що до 8 декади вегетації овочевих культур надходження сумарної радіації за середніми багаторічними даними було нижчим, ніж розраховані за сценаріями Різниця становила 145 – 150 кал/(см<sup>2</sup> д). Після 8 декади значення сумарної радіації за сценаріями співпадали із середніми багаторічними даними.

Аналіз розрахунків інтенсивності ФАР за вегетаційний період овочевих культур показав, що різниця між середньою багаторічною сумою ФАР, яка становить 175 кДж/(см<sup>2</sup> період) і розрахованими за сценаріями зміни клімату, які очікуватимуться відповідно на рівні 195 та 212 (кДж/см<sup>2</sup> період), буде коливатись від 20 до 28 (кДж/см<sup>2</sup> період). Крім того по декадах вегетаційного періоду овочевих культур відзначається нерівномірність надходження ФАР за різними сценаріями по декадах. Чітку закономірність в тенденції зміни сум ФАР по декадах вегетаційного періоду встановити досить складно. Є тільки одна закономірність за обома сценаріями в продовж вегетаційного періоду суми ФАР спостерігатимуться вищими, ніж в базовий період (рис.1).



**Рис. 1. Порівняння середніх багаторічних величин інтенсивності ФАР на верхній межі рослинного покриву з розрахованими за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.**

Слід зазначити, що наростання сум ФАР, розраховане за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 на період 2021-2050 рр. по окремих десятиріччях цього періоду відзначаються нерівномірністю. Так, в десятиріччя з 2021 по 2030 рр. сума ФАР становитиме 205 кал/(см<sup>2</sup>д). В десятиріччя 2031 – 2040рр. вона становитиме 212,5 кал/(см<sup>2</sup>д), а у 2041 – 2050 рр. – 208 кал/(см<sup>2</sup>д).

Ще однією характеристикою радіаційного режиму рослинного покриву є радіаційний баланс. Радіаційний баланс посівів овочевих культур представляє різницю між приходом і витратою коротко- і довгохвильової радіації на їх діяльну поверхню і виражається рівнянням

$$R = S' + D - rk + E_a - E_z - rq , \quad (3)$$

де  $S'$  і  $D$  – пряма і розсіяна радіація, що поступають на діяльну поверхню;

$rk$  – відображена короткохвильова сонячна радіація від діяльної поверхні;

$E_a$  – випромінювання атмосфери, направлене до діяльної поверхні;

$E_z$  – випромінювання діяльної поверхні, направлене в атмосферу;

$rq$  – відображена довгохвильова радіація.

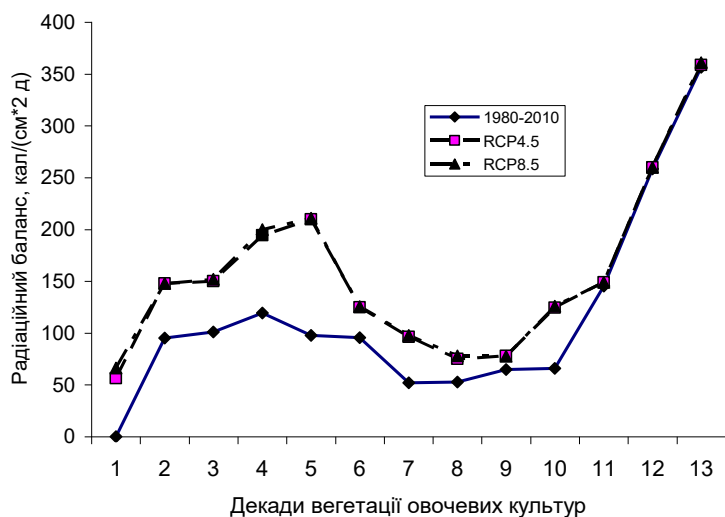
Звичайно відображена довгохвильова радіація настільки незначна, що цією величиною нехтують, а величину відображеної короткохвильової радіації оцінюють відбивною здатністю діяльної поверхні, тобто альбедо ( $A_k$ ), тоді

$$R = (S' + D)(1 - Ak) - yE_a - E_z , \quad (4)$$

де  $y$  – поглинальна здатність діяльної поверхні.

Динаміка радіаційного балансу рослинного покриву овочевих культур за вегетаційний період відзначається нерівномірним ходом впродовж вегетаційного періоду як за середніми багаторічними даними, та і за даними розрахунків за обома сценаріями (рис. 2).

Після висаджування розсади значення радіаційного балансу за середніми багаторічними даними нижчі від розрахованих за обома сценаріями і в динаміці зростають до 5 декади вегетації, потім до 10 декади зменшуються до початкових значень і з 12 декади різко зростають.



**Рис. 2. Динаміка радіаційного балансу впродовж вегетаційного періоду овочевих культур**

Різниця між середніми багаторічними значеннями радіаційного балансу і розрахованими за сценаріями коливається від 50 до 128 кал/(см<sup>2</sup>/д). Підвищення радіаційного балансу в порівнянні із середніми багаторічними величинами спричинить підвищення витрат тепла на випаровування і надходження тепла в ґрунт.

В останні декади вегетаційного періоду різниця між середнім багаторічним радіаційним балансом і розрахованим за сценаріями не значна.

Фотосинтетичну діяльність рослин також добре характеризує величина сухої біомаси. Були розраховані такі показники фотосинтетичної продуктивності овочевих культур в умовах зміни клімату: площа листкової поверхні, приріст загальної сухої біомаси, чиста продуктивність фотосинтезу та урожай (табл.3).

Площа листкової поверхні за обома сценаріями зростає. Менше за сценарієм *RCP4.5*, більше – за сценарієм *RCP8.5*. Розрахунки також показали, що приріст сухої маси овочевих культур (середньої) в період максимального розвитку в Степовій зоні збільшиться на 171 г/м<sup>2</sup>, а за сценарієм зміни клімату *RCP8.5* – на 294 г/м<sup>2</sup>, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 3

Показники фотосинтетичної продуктивності посівів овочевих культур в умовах зміни клімату за сценарієм *RCP4.5*, *RCP8.5* у порівнянні з базовим періодом (1980-2010 рр.)

Період	Варіант	Період максимального росту				Урожай, ц/га
		площа лист- кової поверх- ні, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	приріст загальної сухої біомаси, г/м <sup>2</sup> за добу	чиста продукт ивність фото- синтезу, г/м <sup>2</sup> за добу	фотоси- нетич- ний потен- ціал, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	
1986–2005	Базовий	2,65	114	285	157	207
2021–2050	Сценарій <i>RCP4.5</i>	6.01	110	456	168	257
2021-2050	Сценарій <i>RCP8.5</i>	7,97	113	579	179	263

Особливо помітно зміниться в сторону збільшення чиста продуктивність фотосинтезу відповідно до 456 та 579 г/м<sup>2</sup> за добу. Зміна площі листя, сухої маси рослин спричинить збільшення фотосинтетичного потенціалу овочевих культур.

Таким чином, порівнюючи складові радіаційного режиму розрахованих за сценаріями *RCP4.5* та *RCP8.5* на період 2021 – 2050 рр. із середніми багаторічними величинами базового періоду та формування площі асимілюючої поверхні, можна сказати, що за умов реалізації будь-якого із сценаріїв підвищення надходження сумарної радіації не призведе до різкої зміни ні інтенсивності ФАР, ні значень радіаційного балансу. Очікується більш інтенсивне формування площі асимілюючої поверхні, що спричинить незначне

зростання продуктивності овочевих культур, особливо в умовах реалізації сценарію RCP8.5.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гойса Н.И. Радиационные факторы и продуктивность сельскохозяйственных культур. // Труды УкрНИГМИ, 1978. – Вып. 164. – С. 49 – 72.
2. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 214 с.
3. Гойса Н.И., Олейник Н.Р., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. –Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 230 с.
4. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. –Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
5. Будаговский А.И., Росс Ю.К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов. // В кн. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. –М.: Наука, 1966. – С. 51 – 58.
6. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 318 с.
7. Польовий А.М. Моделювання впливу підвищення концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері на фотосинтез зеленого листка // Польовий А.М. – Український гідрометеорологічний журнал. – 2009. № 4. – с. 46-56.
8. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України. /За ред. С.М. Степаненка та А.М. Польового. Одеса.: «Екологія», 2011. – 94 с.
9. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. /За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса. Вид. «ТЕС», 2015. – 520 с.
10. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату. /За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса. «ТЕС». 2018. – 548 с.