

УДК 551.580

ДИНАМІКА ФОТОСИНТЕТИЧНО АКТИВНОЇ РАДІАЦІЇ ЗА 1986 - 2015 РР. В УКРАЇНІ

Л. С. Рибченко, С. В. Савчук, В. Є. Тимофєєв, О. А. Щєглов

Український гідрометеорологічний інститут,
пр. Науки, 37,03028,Київ, Україна, L.S.Rybchenko@gmail.com

Основою життєдіяльності рослин, що зумовлює їх фотосинтез, є фотосинтетично активна радіація (ФАР) – випромінювання Сонця в діапазоні довжин хвиль 380 ... 750 нм. В Україні вимірювання ФАР не проводять через відсутність стандартних приладів. Пряму, розсіяну, сумарну ФАР рахують за вимірами та коефіцієнтами переходу; сумарну ФАР за тривалістю сонячного сьйва (ТСС) – за непрямим методом. Мета публікації – визначення ФАР, її динаміки в окремі місяці та теплий період року (квітень-жовтень). Залучуючи математичну статистику, кліматологічними методами отримано складові радіаційного режиму на мережі актинометричних і метеорологічних спостережень в Україні за 1986 - 2015 рр., 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. Визначено зміни у формуванні ФАР за окремі місяці та теплий період окремо за десятиріччя впродовж терміну досліджень. За територією впродовж 1986 - 2015 рр. протягом місяців теплої періоду пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС зростала з заходу, північного заходу чи Українських Карпат до Південного степу та Криму. За теплий період у 1986 - 1995 рр. сума прямої ФАР змінюється в межах – 472 ... 891 МДж / м², розсіяної – 887 ... 1156 МДж / м², сумарної – 1457 ... 1917 МДж / м², сумарної ФАР за ТСС – 1621 ... 2056 МДж / м²; у 1996 - 2005 рр. сума прямої ФАР у межах – 469 ... 1030 МДж / м², розсіяної – 802 ... 1004 МДж / м², сумарної – 1305 ... 1973 МДж / м², сумарної ФАР за ТСС – 1654 ... 2192 МДж / м²; у 2006 - 2015 рр. сума прямої ФАР у межах – 485 ... 1065 МДж / м², розсіяної – 737 ... 951 МДж / м², сумарної ФАР – 1270 ... 1977 МДж / м², сумарної ФАР за ТСС – 1649 ... 2233 МДж / м². Збільшення інтегральної прямої сонячної радіації в 1996 - 2005 рр. порівняно з 1986 - 1995 рр., а також у 2006 - 2015 рр. щодо 1996 - 2005 рр. зумовило зростання прямої ФАР; зменшення розсіяної сонячної радіації зумовило зменшення розсіяної ФАР; а неоднозначні зміни складових сумарної сонячної радіації приводять до флуктуації сумарної ФАР; збільшення ТСС супроводжується збільшенням ФАР за ТСС. Робота доцільна через сучасне коливання клімату глобального та регіонального масштабу. Вивчення змін ФАР – актуальне завдання сучасної агрометеорології для довгострокового ефективного планування сільськогосподарського розвитку.

Ключові слова: пряма, розсіяна, сумарна, сумарна за тривалістю сонячного сьйва фотосинтетично активна радіація.

1. ВСТУП

Фотосинтетично активна радіація (ФАР) – поглинута радіація випромінювання Сонця в діапазоні довжин хвиль 380 ... 710 нм, що зумовлює фотосинтез рослин, є основою їх життєдіяльності при створенні високоенергетичних органічних з'єднань.

Актуальність дослідження зумовлена сучасним коливанням клімату глобального та регіонального масштабів [1].

Внаслідок відсутності вимірювань ФАР, розрахунки та вивчення її змін за період вегетації сільськогосподарських культур – новітнє та нагальне завдання агрометеорології при оцінці енергетичних ресурсів клімату, зокрема сонячної енергії, для підвищення продуктивності посівів, прогнозування врожаїв,

розрахунку коефіцієнту корисної дії ФАР, довгострокового ефективного планування сільськогосподарського розвитку регіонів країни.

Дослідження сучасного стану складових радіаційного режиму, визначення ФАР має наукове та практичне значення у можливості застосування результатів для оперативного обслуговування агрометеорологічною інформацією користувачів, зокрема у підрозділах УкрГМЦ ДСНС України.

Об'єкт дослідження – ФАР в окремі місяці та теплий період року (квітень - жовтень) за 1986 - 2015 рр., окремі десятиріччя 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. в Україні.

Метою роботи є визначення ФАР, її динаміки в окремі місяці та теплий період.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Сонячна радіація – джерело енергії біологічних процесів. Радіаційний баланс сонячної радіації визначає сумарний ефект радіації у тепловому режимі рослин. Перенос сонячної радіації у рослинному покриві зумовлюється її властивостями, геометричними, оптичними, структурними характеристиками рослинності [2 - 4].

Робота продовжує аналітичні дослідження зі зміни складових радіаційного режиму з застосуванням результатів вивчення ФАР різного часового вирішення для обслуговування галузей економіки, визначення умов виникнення та попередження небезпечних погодних явищ – посух, хвиль тепла, опустелювання, рентабельного використання ресурсів геліоенергетики в забезпеченні енергетичної незалежності [1, 5 - 12].

Крім того, вивчення складових сонячної радіації допомагає в дослідженні проявів глобального потепління. Клімат України у цілому є сприятливим для розвитку різних галузей економіки, зокрема землеробства та тваринництва, для використання сонячної енергії, завдяки сприятливому рівню інсоляції, кількості тепла, вологі.

Але певні сполучення агрокліматичних умов у різні сезони можуть зумовлювати несприятливі явища, значну частку яких становлять посушливі, що завдають шкоди сільськогосподарському виробництву, енергетиці, транспорту й іншим галузям економіки, населенню.

Внаслідок потепління практично у всі сезони року, в останнє десятиріччя загалом посилюється екстремальність клімату. Впродовж літа, на тлі зростаючого дефіциту атмосферних опадів, виділяють райони півдня (станції Причорномор'я, Криму, межуючі райони півдня), осередки сходу, центру – найбільш кліматовразливі, що найчастіше перебувають під впливом показників екстремальності, де цей вплив посилюється. Тобто збільшилась частота посух, особливо у виділених районах, за календарне літо, що є дуже важливим фактором, який необхідно враховувати при складанні довгострокових прогнозів на майбутнє [13].

Визначено важливі зміни у режимі складових радіаційного балансу та тривалості сонячного сьайва (ТСС). Протягом сучасного кліматичного періоду потепління відзначається зростанням прямої сонячної радіації, альbedo підстильної поверхні та ТСС. Зміни складових радіаційного

режиму супроводжуються коливаннями за вегетаційний період із тенденцією посилення посушливості; що істотно впливає на умови вирощування сільськогосподарських культур у нашій країні, зумовлюючи їх поширення територіїю.

Зміни умов великомасштабної циркуляції атмосфери наведено у [14]. Зміни інтенсивності термохалінної циркуляції пояснюють значну мінливість річної ТСС у Центральній Європі, до 64 %. Зміни температури поверхні води Північної Атлантики (ТПК) пояснюють 1/3 загальної дисперсії; зміни частоти макротипів W (західна) і E (східна) за О. Гірсом, викликані змінами ТПК, пояснюють, кожне з них окремо, близько 22 % і 26 % мінливості річної суми ТСС. Зміни тих самих взаємопов'язаних факторів досить добре пояснюють і поведінку багаторічних змін ТСС над Центральною Європою зі зменшенням СКО у 1960 - 1980 рр., і появу статистично значущого позитивного тренду в 1990 - ті рр. на початку ХХІ ст.

Пояснення мінливості ТСС описаними процесами у системі океан-атмосфера далеко від пояснення повної мінливості. Безсумнівно, на мінливість ТСС впливає й мінливість інших чинників, переважно хмарності. Проведені дослідження дозволили виявити новий механізм регулювання ТСС, хоча не показано можливий внесок мінливості антропогенного впливу.

Проведений аналіз показує, що в кліматичній системі океан-атмосфера функціонують відносно прості внутрішньосистемні процеси, дія яких через більш тривалий ланцюжок подій регулюється значним відсотком зміни ТСС.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Природною освітленістю зумовлено формування прямої, розсіяної, сумарної ФАР В Україні вимірювання ФАР не проводять через відсутність стандартних приладів.

Пряму, розсіяну, сумарну ФАР обчислюють за вимірами та коефіцієнтами переходу від інтегральної сонячної радіації, одержаними за спектральними експериментальними дослідженнями в УкрГМІ [3 - 4, 15].

Сумарну ФАР за ТСС розраховано за непрямим методом, отриманим у МО МДУ [16].

З 80 - х рр. ХХ ст. дослідження ФАР за супутниковими вимірами, що вліришує проблему отримання даних про ФАР, стають мейнстрімом і проводять у низці країн, зокрема у США, Іспанії, Китаї, Канаді, Німеччині, Росії тощо [17 - 19].

Різноманітність і якість супутникових спостережень швидко змінюються, хоча деякі з них зараз добре вдосконалені. Супутникові прилади дуже складні, часто проводять багато тисяч окремих спостережень одночасно в одному місці та вимагають складних методів для інтерпретації інформації, яку вони містять.

Для виконання задач дослідження, залучуючи математичну статистику, кліматологічними методами отримано складові радіаційного режиму (прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації, тривалості сонячного сйива) на мережі актинометричних і метеорологічних спостережень в Україні в 1986 - 2015 рр.

Визначено зміни у формуванні прямої, розсіяної, сумарної ФАР за окремі місяці та теплий період у 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр.

У 1996 - 2005 рр. щодо 1986 - 1995 рр., 2006 - 2015 рр. щодо 1996 - 2005 рр. збільшення інтегральної прямої сонячної радіації зумовило зростання прямої ФАР; внаслідок зменшення інтегральної розсіяної сонячної радіації, відбулось зменшення розсіяної ФАР; неоднозначні зміни складових інтегральної сумарної сонячної радіації зумовили флуктуації сумарної ФАР в окремі місяці та теплий період року на території країни.

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Зміни ФАР пов'язані з ходом складових радіаційного режиму.

За останнє 30 - річчя відносно попереднього найбільших змін зазнали ТСС, пряма та розсіяна сонячна радіація. Істотні коливання ходу ТСС відбуваються за сучасних умов [2].

В Україні ТСС досягає 1800 год за рік на північному заході та збільшується у південному напрямі до 2300 год у Криму.

В гірських районах Українських Карпат вона знижується до 1500 год. Розподіл ТСС в Україні можна знайти у попередніх роботах [1].

Цікаві зміни багаторічної мінливості ТСС відзначаються у центральній і східній Європі. Так, у статті А. Andrzej [14] показано зміну знаку багаторічного тренду цієї величини, зі зменшення до зростання, з середини 1990 - х рр.

Аналогічна зміна нами виявлена для півночі країни. Нижче наведено графік багаторічної зміни річної кількості ТСС для Києва (рис. 1).

Згідно графіку також видно щонайменше 2 періоди змін – зменшення до початку 1980 - х рр., і подальше зростання. Явним є вплив зміни клімату, на загальному тлі підвищення

приземної температури повітря.

За територією у 1986 - 2015 рр. впродовж місяців теплої періоду року пряма, розсіяна, сумарна ФАР та сумарна ФАР за ТСС зростала з заходу, північного заходу чи Українських Карпат на Південний степ і АР Крим (табл. 1).

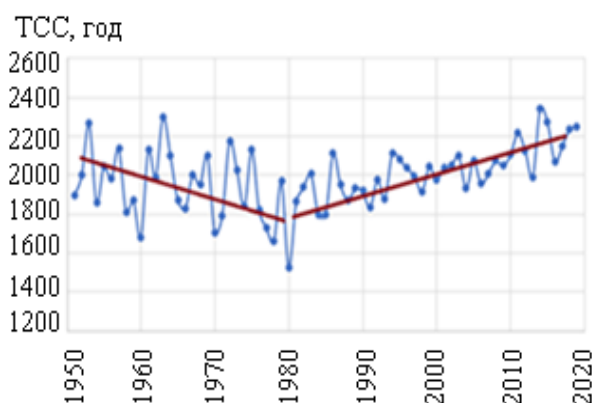


Рис. 1 – Багаторічна зміна річної кількості тривалості сонячного сйива (год.) для Києва, 1951 - 2019 рр.

Fig. 1 – Long-term change in the annual amount of sunshine duration (hours) for Kyiv, 1951 - 2019

У 1986 - 2015 рр. протягом місяців теплої періоду з травня по липень зростала пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС [3, 5].

За теплий період у 1986 - 2015 рр. сума прямої ФАР зростала з Українських Карпат, північного заходу на Південний берег Криму (ПБК) (рис. 2).

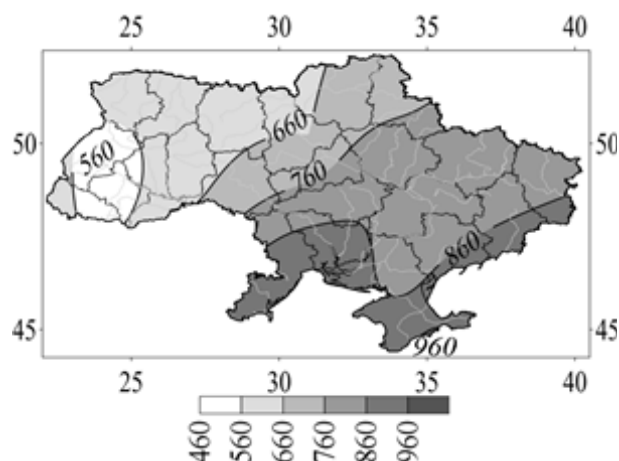


Рис. 2 – Сума прямої ФАР (МДж / м²) за теплий період в 1986 - 2015 рр.

Fig. 2 – The amount of direct photosynthetically active solar radiation (PSR, MJ / m²) for the warm period in 1986 - 2015

Сума розсіяної ФАР за теплий період року в 1986 - 2015 рр. зростала з заходу, Українських Карпат, іноді з північного сходу на південь, південний Степ (рис. 3).

Таблиця 1 – Сума прямої, розсіяної, сумарної ФАР (МДж / м²) за 1986 - 2015 рр.
Table 1 – The amount of direct, diffused, total PSR (MJ / m²) for 1986 - 2015

Станція	Сума	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Покошичі	Пряма	80	131	137	144	118	66	33	708
	Розсіяна	138	173	184	178	153	105	64	997
	Сумарна	216	310	322	322	269	163	93	1691
Конотоп	Пряма	84	136	142	146	120	67	36	732
	Розсіяна	125	155	163	159	137	95	61	897
	Сумарна	210	300	313	311	258	159	93	1643
Ковель	Пряма	70	105	113	113	96	53	32	575
	Розсіяна	134	161	173	177	150	106	69	961
	Сумарна	197	272	293	289	253	159	100	1552
Бориспіль	Пряма	73	120	125	133	111	65	34	662
	Розсіяна	127	161	169	165	145	100	65	935
	Сумарна	197	286	301	298	254	161	97	1593
Нова Ушиця	Пряма	70	117	114	122	108	69	38	637
	Розсіяна	121	159	162	164	139	104	70	920
	Сумарна	196	288	278	290	241	163	103	1553
Полтава	Пряма	83	140	148	155	134	86	42	789
	Розсіяна	139	170	177	173	150	105	68	984
	Сумарна	216	311	326	338	289	185	106	1768
Світловодськ	Пряма	94	158	170	171	151	90	46	848
	Розсіяна	128	152	153	153	135	99	67	856
	Сумарна	221	318	332	341	294	189	111	1738
Міжгір'я	Пряма	55	82	83	92	86	48	31	476
	Розсіяна	116	140	150	147	129	91	66	839
	Сумарна	170	227	237	248	224	143	98	1346
Берегове	Пряма	73	106	120	119	115	66	39	635
	Розсіяна	120	143	152	154	136	103	70	869
	Сумарна	197	260	287	295	269	177	112	1596
Одеса	Пряма	108	165	171	188	164	105	57	958
	Розсіяна	142	165	164	166	147	115	82	983
	Сумарна	242	331	330	350	303	209	128	1891
Болград	Пряма	100	157	168	183	153	101	60	920
	Розсіяна	141	170	172	173	154	116	82	1011
	Сумарна	233	331	331	350	297	206	128	1874
Херсон	Пряма	100	159	160	183	155	101	56	912
	Розсіяна	138	169	172	170	151	114	83	1000
	Сумарна	232	327	323	350	296	204	127	1857
Асканія Нова	Пряма	89	139	139	160	139	92	52	804
	Розсіяна	135	166	175	169	153	119	86	994
	Сумарна	214	303	300	320	286	201	126	1730
Карадаг	Пряма	106	161	175	197	173	119	65	992
	Розсіяна	150	172	166	164	146	116	88	991
	Сумарна	242	330	337	358	313	228	145	1929
Нікітський Сад	Пряма	107	159	174	198	171	118	70	955
	Розсіяна	133	155	157	151	139	111	85	897
	Сумарна	239	319	329	353	303	220	145	1897

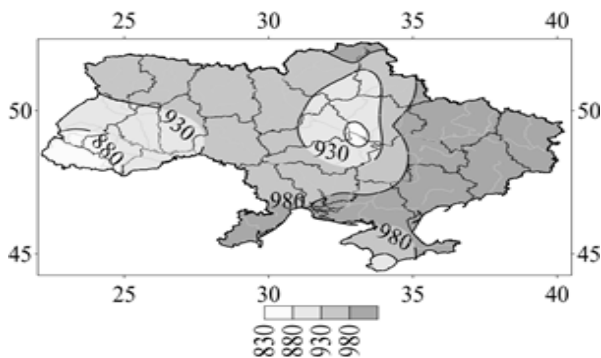


Рис. 3 – Сума розсіяної ФАР (МДж / м²) за теплий період в 1986 -2015 рр.
Fig. 3 – The amount of diffused PSR (MJ / m²) for the warm period in 1986 - 2015

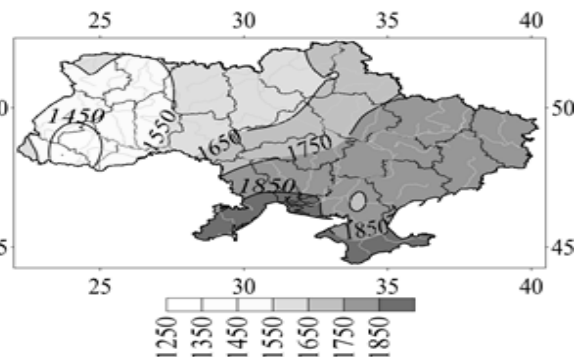


Рис. 4 – Сумарна ФАР (МДж / м²) за теплий період в 1986 - 2015 рр.
Fig. 4 – Total PSR (MJ / m²) for the warm period in 1986 - 2015

Сумарна ФАР за теплий період року в 1986 - 2015 рр. збільшувалась із заходу й Українських Карпат на ПБК (рис. 4).

Сумарна ФАР за ТСС зростала з північного заходу України на південний захід Степової зони та Крим (рис. 5).

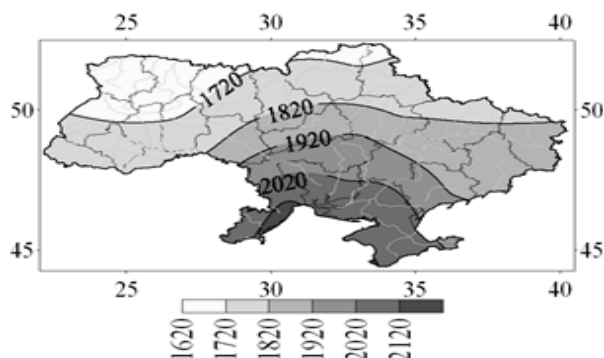


Рис. 5 – Сумарна ФАР (МДж / м²) за ТСС у теплий період в 1986 -2015 рр.

Fig. 5 – Total PSR (MJ / m²) calculated via sunshine duration (Q_{ϕ}) for the warm period in 1986 - 2015

У 1986 - 2015 рр. за теплий період року пряма, розсіяна, сумарна ФАР набувала

меридіонального спрямування територією, а сумарна ФАР за ТСС – широтного (рис. 2 - 5).

Просторові зміни складових радіаційного балансу за теплий період в 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр., зумовили територіальний розподіл прямої, розсіяної, сумарної ФАР [2, 4, 8 - 9].

Впродовж 1986 - 2015 рр. за теплий період пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС зростала з заходу, північного заходу країни чи Українських Карпат на Південний степ і Крим (рис. 6 а - в – 9 а - в).

За теплий період у 1986 - 1995 рр. сума прямої ФАР змінюється в межах – 472 ... 891 МДж / м², розсіяної – 887 ... 1156 МДж / м², сумарної – 1457 ... 1917 МДж / м², сумарної ФАР за ТСС – 1621 ... 2056 МДж / м²; у 1996 - 2005 рр. сума прямої ФАР у межах – 469 ... 1030 МДж / м², розсіяної – 802 ... 1004 МДж / м², сумарної – 1305 ... 1973 МДж / м², сумарної ФАР за ТСС – 1654 ... 2192 МДж / м²; у 2006 - 2015 рр. сума прямої ФАР у межах – 485 ... 1065 МДж / м², розсіяної – 737 ... 951 МДж / м², сумарної ФАР – 1270 ... 1977 МДж / м², сумарна ФАР за ТСС – 1649 ... 2233 МДж / м².

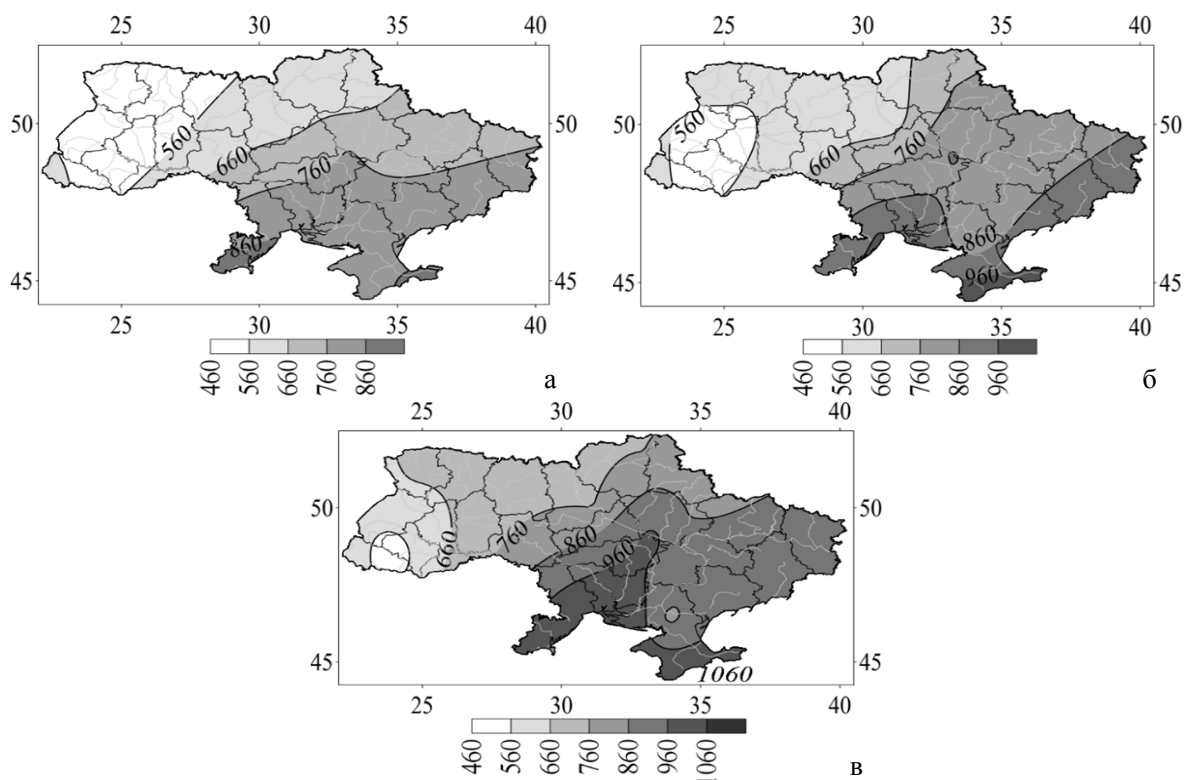


Рис. 6 – Сума прямої ФАР (МДж / м²) за теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)

Fig. 6 – The amount of direct PSR (MJ / m²) for the warm period in 1986 - 1995 (а), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)

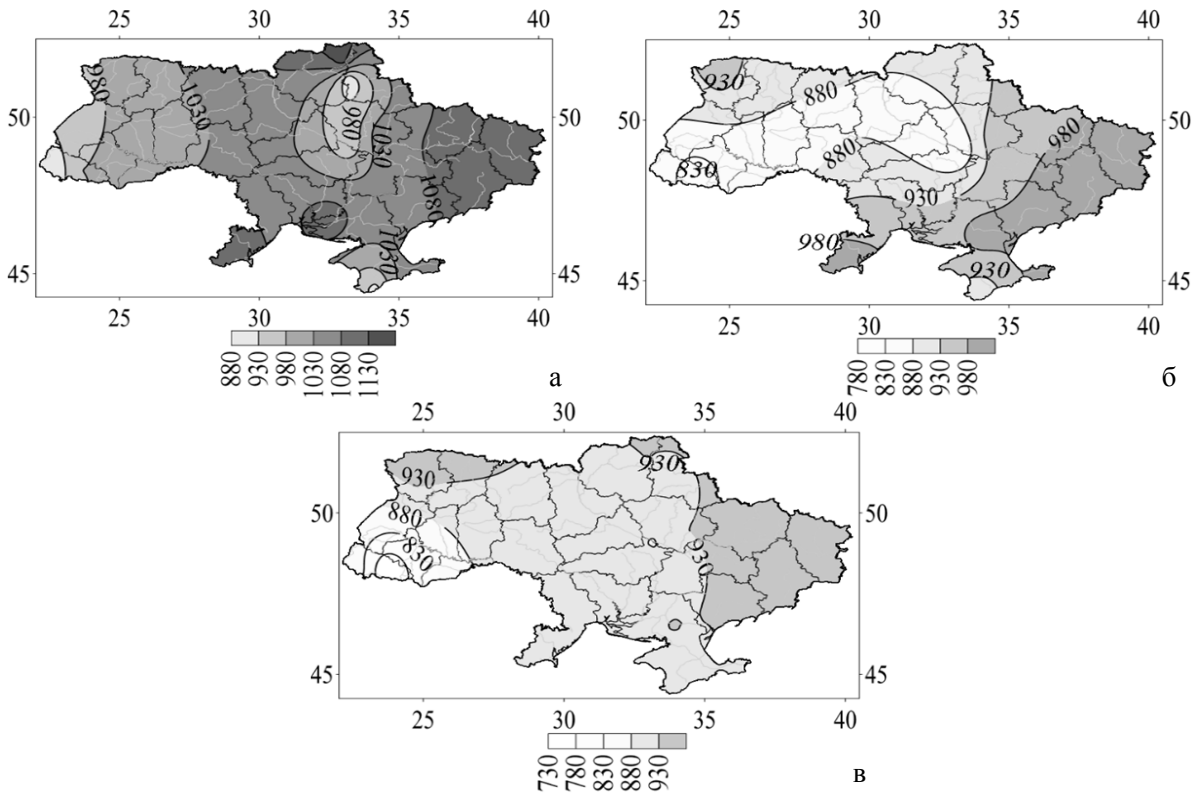


Рис. 7 – Сума розсіяної ФАР (МДж / м²) за теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)
Fig. 7 – The amount of diffused PSR (MJ / m²) for the warm period in 1986 - 1995 (а), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)

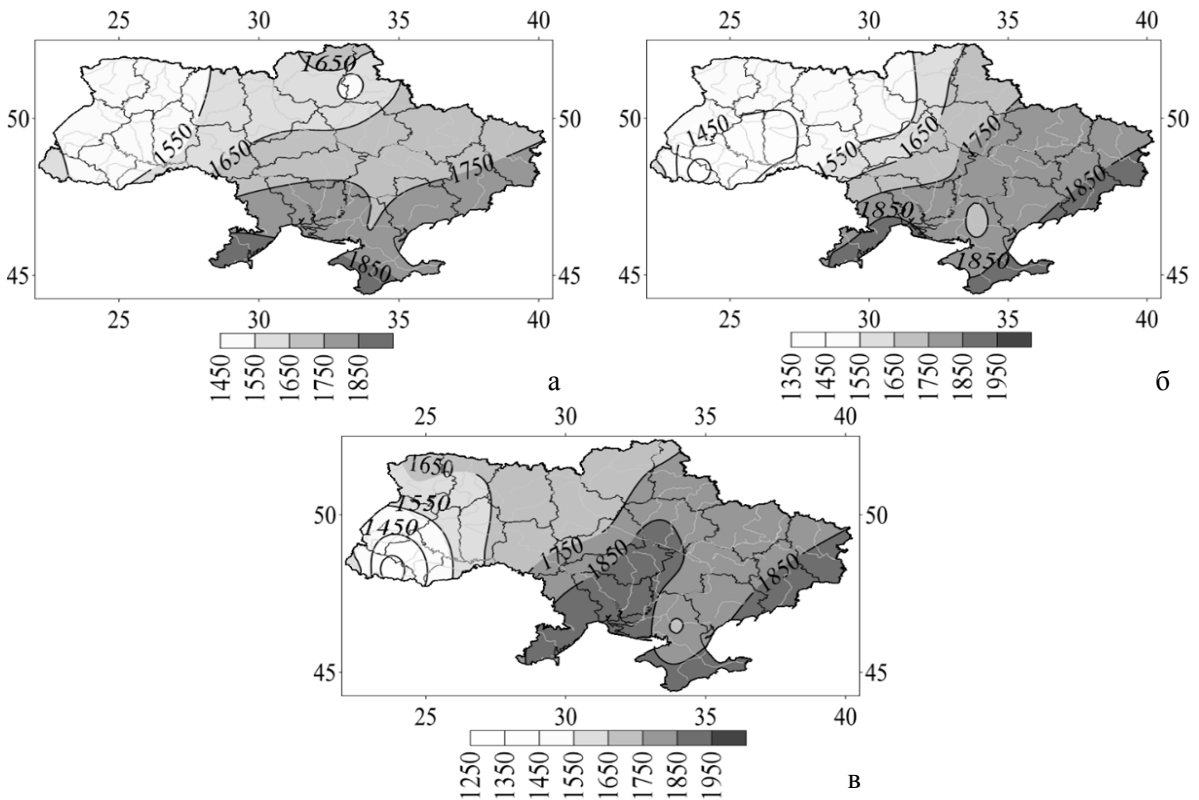


Рис. 8 – Сумарна ФАР (МДж / м²) за теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)
Fig. 8 – Total PSR (MJ / m²) for the warm period in 1986 - 1995 (а), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)

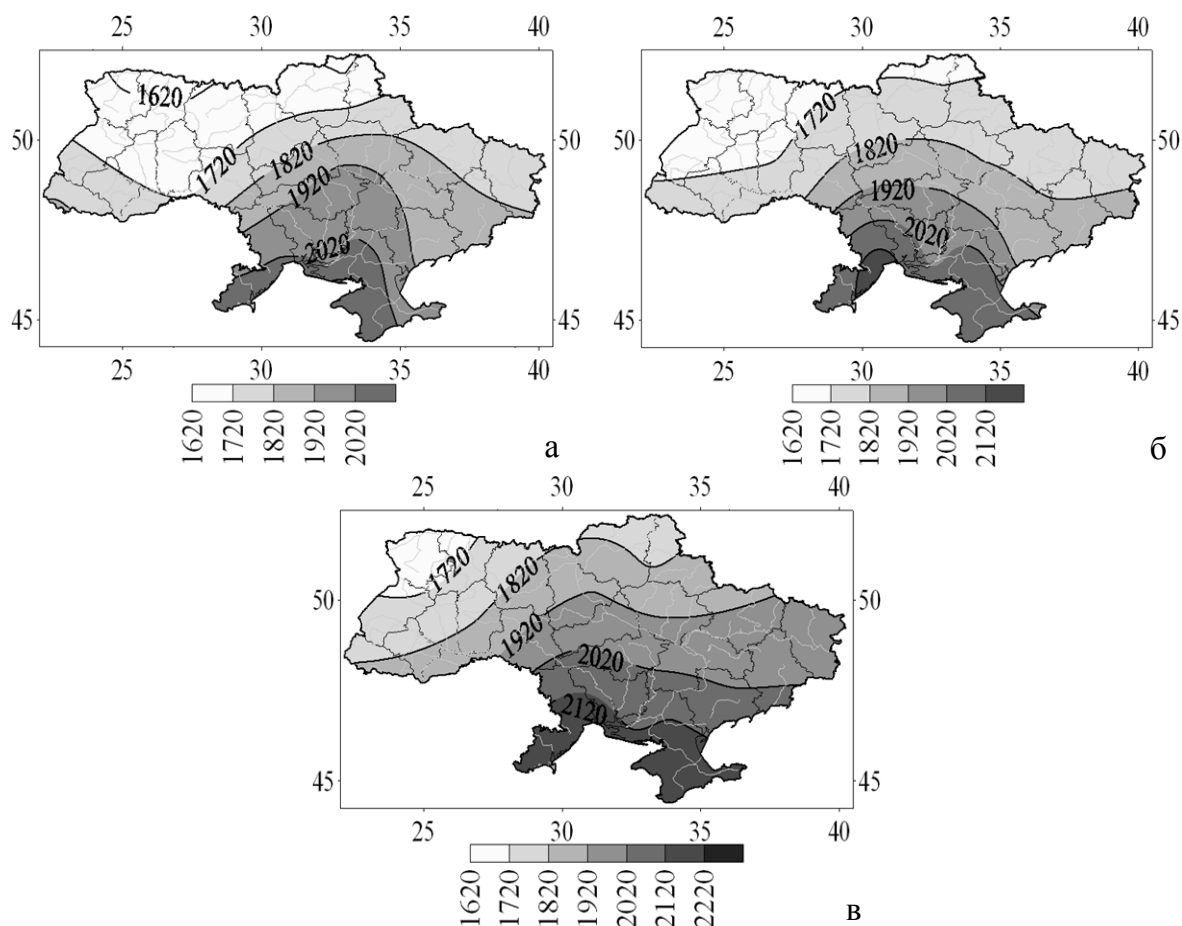


Рис. 9 – Сумарна ФАР (МДж / м²) за ТСС у теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)

Fig. 9 – Total PSR (MJ / m²) calculated via sunshine duration (Q_{ϕ}) for the warm period in 1986 - 1995 (а), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)

За результатами порівняння прямої, розсіяної, сумарної радіації за 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. для забезпечення розрахунків ФАР в окремі місяці вегетаційного періоду та теплий період в Україні отримано у кожному десятиріччі відносно попереднього збільшення прямої та зменшення розсіяної сонячної радіації.

Сумарна радіація змінюється значно менше, ніж її складові, проте збільшуючись, особливо на півночі, півдні [2, 8 - 9].

У зв'язку з ходом складових радіаційного балансу послідовно впродовж десятиріч 1986 - 2015 рр. збільшується пряма; зменшується розсіяна; мало змінна, при незначному збільшенні, сумарна ФАР (табл. 2).

За просторовим розподілом між десятиріччями за теплий період року сума прямої ФАР зростала з північного заходу на ПБК, а в деяких регіонах – знизилась (рис. 10 а - б).

Сума розсіяної ФАР – знижувалась в Українських Карпатах, особливо на північному сході (рис. 11 а - б).

Порівняння суми сумарної ФАР між десятиріччями визначили значні коливання значень окремих станцій, розташованих у суміжних регіонах. Проте можна відмітити зменшення сумарної ФАР у західній частині території України та збільшення на східній (рис. 11 а - б).

Визначено територіально часові зміни ТСС за теплий період в 1986 - 2015 рр. й окремі десятиріччя [2, 8 - 9].

Згідно з цим коливалась сума сумарної ФАР за ТСС: зростаючи з північного заходу на південний захід Степової зони та Крим (рис. 9 а - в).

Вона збільшувалась від десятиріччя до десятиріччя з північного заходу до південного заходу Степової зони (рис. 11 а - б).

Таблиця 2 – Відхилення суми прямої, розсіяної, сумарної ФАР (МДж / м²) між десятиріччями
Table 2 – Deviation of the amount of direct, diffused, total PSR (MJ / m²) between decades

Станція	Сума	У 1996 - 2005 рр. відносно 1986 - 1995 рр.								У 2006 - 2015 рр. відносно 1996 - 2005 рр.							
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X
Покошичі	Пряма	28	17	19	-4	14	22	-12	88	-6	3	23	7	6	-1	5	37
	Розсіяна	-27	-44	-49	-43	-43	-32	-14	-252	4	2	2	-3	2	18	5	28
	Сумарна	13	-12	-16	-44	-17	-2	-27	-94	-5	2	25	10	11	14	12	70
Конотоп	Пряма	32	41	31	22	22	13	-6	154	2	15	27	11	14	9	2	80
	Розсіяна	-8	-3	7	6	9	-2	1	10	8	5	-11	-2	-4	5	7	8
	Сумарна	34	49	45	32	37	14	-7	204	9	23	26	12	15	14	7	107
Ковель	Пряма	31	22	28	-4	21	18	-6	107	4	0	18	38	14	9	6	97
	Розсіяна	-18	-11	-9	4	-11	-5	6	-42	-2	7	1	-11	1	2	-4	7
	Сумарна	20	18	10	-2	19	19	-3	79	10	-3	24	39	20	14	5	129
Бориспіль	Пряма	10	3	4	-19	1	3	-9	-8	16	16	36	32	20	11	8	139
	Розсіяна	-30	-26	-34	-35	-27	-19	-10	-181	8	0	-3	6	3	6	4	24
	Сумарна	-12	-17	-8	-48	-20	-12	-26	-143	28	19	28	45	28	18	13	179
Нова Ушиця	Пряма	15	21	17	-16	-10	-7	-7	13	16	-5	16	33	39	19	8	126
	Розсіяна	-24	-37	-32	-21	-24	-14	-7	-159	5	16	5	6	5	10	8	55
	Сумарна	6	-5	-2	-39	-34	-20	-14	-109	20	12	31	47	52	34	20	218
Полтава	Пряма	30	26	24	6	-3	18	-3	97	2	2	10	12	32	1	6	66
	Розсіяна	-11	-22	-28	-19	-16	-12	-7	-116	-3	-1	-11	3	-13	-3	3	-24
	Сумарна	27	12	8	-6	-4	4	-10	31	3	4	4	16	17	12	10	66
Світловодськ	Пряма	25	29	27	8	1	1	2	101	13	9	31	14	26	17	5	114
	Розсіяна	-7	-23	-26	-23	-24	-16	-6	-113	3	5	-8	12	8	12	10	41
	Сумарна	26	18	17	-9	-21	-8	-4	39	17	15	32	25	38	31	14	172
Міжгір'я	Пряма	4	9	21	-33	2	5	-12	-5	8	-13	-14	25	8	1	1	17
	Розсіяна	-25	-35	-37	-33	-24	-18	-5	-178	-16	-18	-10	-7	-12	2	-3	-65
	Сумарна	-17	-24	-4	-62	-17	-15	-20	-159	-3	-31	-28	27	0	3	-1	-35
Берегове	Пряма	1	19	23	-26	2	-4	-14	11	6	-28	-26	27	11	5	0	-5
	Розсіяна	3	-4	-22	-16	-16	-16	1	-41	-6	8	12	-7	-8	5	3	4
	Сумарна	4	14	8	-50	-22	-16	-18	-78	2	-28	-21	30	11	8	3	4
Одеса	Пряма	23	32	29	11	6	4	7	113	9	-3	21	16	25	12	-4	75
	Розсіяна	-8	-19	-27	-18	-14	-7	-2	-94	-8	-1	-14	-17	-13	-9	-2	-63
	Сумарна	22	20	20	0	-3	0	8	66	5	-4	12	7	22	8	-7	44
Болград	Пряма	8	31	21	3	-17	-24	2	25	7	-2	10	16	22	21	1	75
	Розсіяна	-12	-29	-25	-29	-19	-6	-6	-127	-14	-5	-22	-23	-17	-11	-12	-105
	Сумарна	1	12	14	-19	-35	-33	-1	-62	-4	-11	-6	0	12	16	-3	4
Херсон	Пряма	20	36	33	13	-3	-3	-4	92	18	-6	19	32	34	19	1	116
	Розсіяна	-25	-35	-35	-23	-22	-10	-13	-164	3	10	-6	-13	-9	-7	-3	-24
	Сумарна	8	16	9	-4	-19	-11	-14	-16	22	0	19	23	33	17	-1	115
Асканія Нова	Пряма	0	11	-11	-9	-13	-9	-7	-24	2	-11	17	15	24	10	2	60
	Розсіяна	-8	-31	-20	-18	-1	10	7	-44	6	6	-3	-12	-22	-21	-10	-72
	Сумарна	6	-14	-12	-25	-18	0	6	-24	7	-8	19	9	13	-4	-6	-1
Карадаг	Пряма	22	39	23	31	9	-4	6	136	7	-5	21	-6	27	7	-5	38
	Розсіяна	-16	-27	-25	-30	-22	0	-12	-96	-4	-4	-10	-5	-14	-9	3	-53
	Сумарна	39	47	8	12	-5	-5	-12	131	1	-10	17	-11	22	2	-3	4
Нікітський Сад	Пряма	23	36	34	31	3	-7	-10	219	-5	-7	7	-15	20	5	-2	2
	Розсіяна	-6	-30	-37	-37	-19	-2	-16	-27	4	4	-7	-1	-9	0	13	3
	Сумарна	-3	7	6	-2	-30	-30	-22	-42	2	-5	4	-18	14	18	6	22

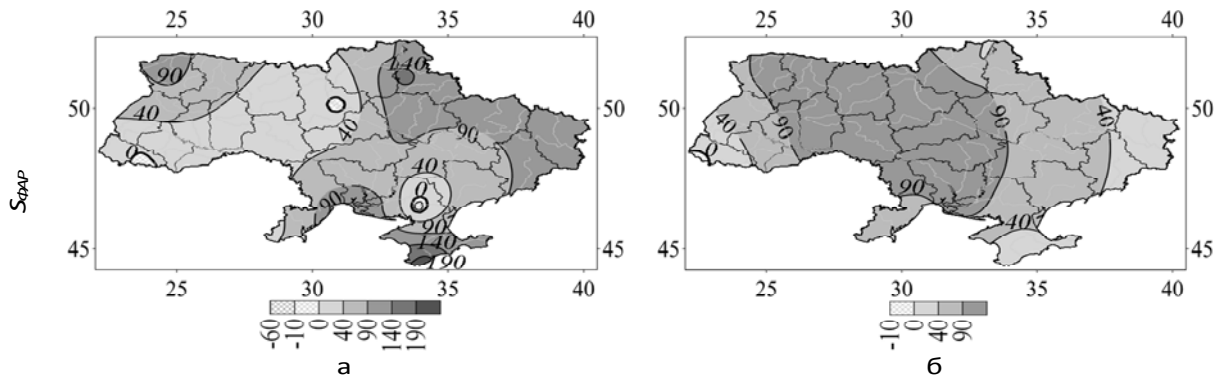


Рис. 10 – Відхилення суми прямої ФАР ($S_{ФАР}$) (МДж / м²) за теплий період в 1996 - 2005 рр. відносно 1986 - 1995 рр. (а); 2006 - 2015 рр. відносно 1996 - 2005 рр. (б)

Fig. 10 – Deviation of the amount of direct PSR (MJ / m²) for the warm period in 1996 - 2005 relative to 1986 - 1995 (a); 2006 - 2015 relative to 1996 - 2005 (b)

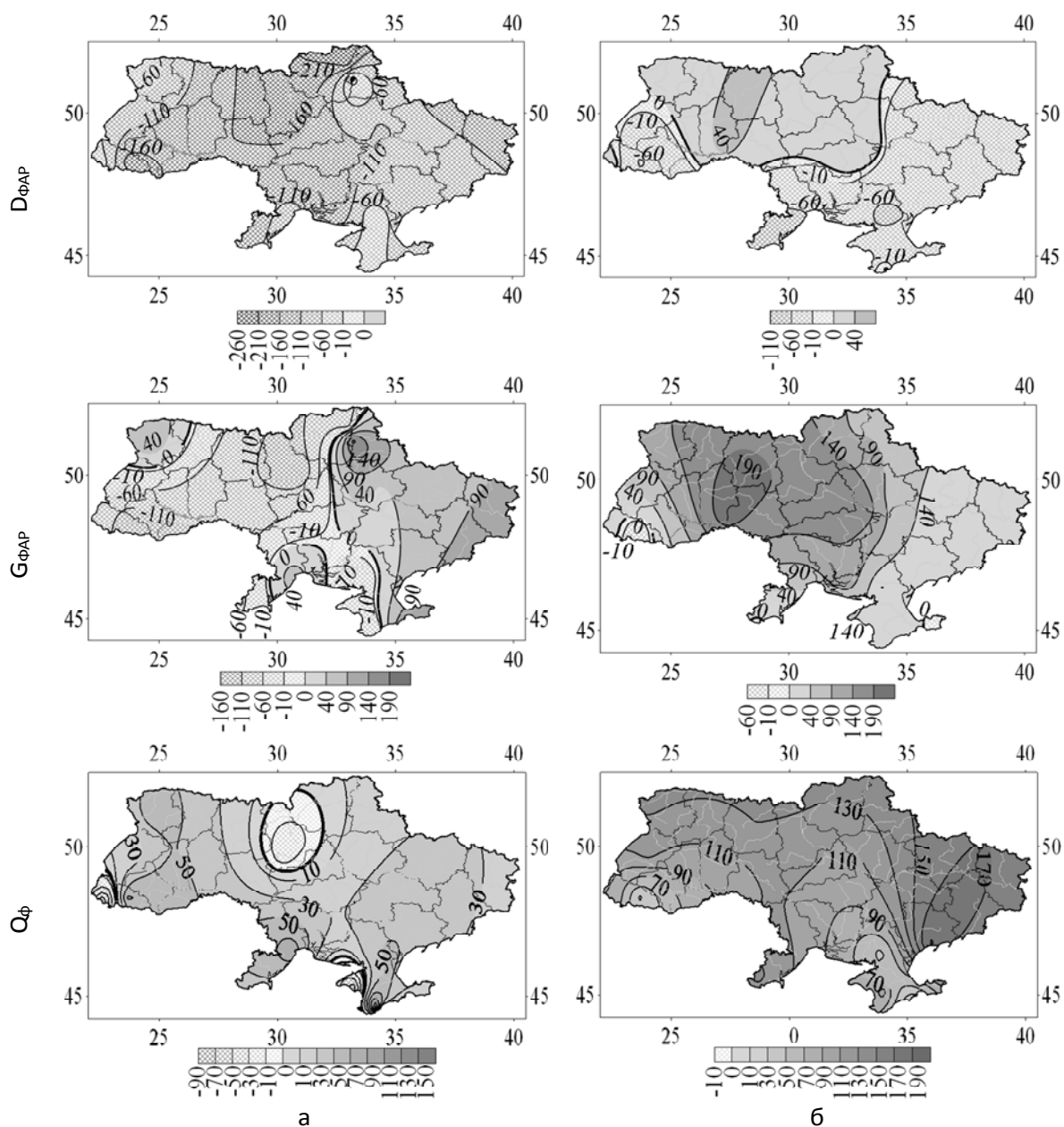


Рис. 11 – Відхилення суми розсіяної ($D_{\text{ФАР}}$), сумарної ($G_{\text{ФАР}}$) ФАР, сумарної ФАР (МДж / м²) за ТСС ($Q_{\text{Ф}}$) у теплий період в 1996 - 2005 рр. відносно 1986 - 1995 рр. (а); 2006 - 2015 рр. відносно 1996 - 2005 рр. (б)

Fig. 11 – Deviation of the amount of diffused, ($D_{\text{ФАР}}$), total ($G_{\text{ФАР}}$) PSR, total PSR (MJ / m²) calculated via sunshine duration ($Q_{\text{Ф}}$) for the warm period in 1996 - 2005 relative to 1986 - 1995 (а); 2006 - 2015 relative to 1996 - 2005 (б)

5. ВИСНОВКИ

У 1986 - 2015 рр. за теплий період пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС зростала з травня по липень із заходу, північного заходу чи Українських Карпат на Південний степ і Крим. Просторові зміни ФАР впродовж теплового періоду 1986 - 2015 рр. і за десятиріччя 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. зумовлені ходом складових радіаційного балансу. Збільшення інтегральної прямої сонячної радіації в 1996 - 2005 рр. щодо 1986 -

1995 рр., у 2006 - 2015 рр. щодо 1996-2005 рр. зумовило зростання прямої ФАР; зменшення розсіяної сонячної радіації – зменшення розсіяної ФАР; неоднозначні зміни складових сумарної сонячної радіації – флуктуації сумарної ФАР; а збільшення ТСС – зростання ФАР за ТСС.

Результати проведених досліджень щодо сучасного стану складових радіаційного режиму, визначення ФАР координуються з результатами розрахунків, виконаних у північних регіонах помірної зони, Зміни у формуванні складових

радіаційного режиму супроводжуються коливаннями за вегетаційний період, із тенденцією посилення посушливості; що істотно впливає на умови вирощування сільськогосподарських культур у нашій країні, зумовлюючи їх поширення територією.

Отримані висновки мають наукове та практичне значення, важливі для кліматичного обслуговування галузей економіки, які пов'язані з агропромисловим комплексом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Радиационный режим Украины в условиях изменения климата. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата*: материалы Междунар. науч. конф., 5 - 8 мая. Минск, 2015. С. 131 - 133. URL: <https://istina.msu.ru/download/9593547/1dWz4i:lLEdDKJ-6GKNVYdcxPaJRxxhzFI/> (дата обращения: 04.10.2022).
2. Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. Режим естественной освещенности на территории СССР: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. 238 с.
3. Гойса Н. И., Перелет Н. А. Ресурсы фотосинтетически активной радиации и их использование в интенсивном земледелии Украины СССР: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1986. 12 с.
4. Гойса М. И., Перелет Н. А. Фотосинтетично активна радіація. *Клімат України / під ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко*. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. С. 65 - 68.
5. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Составляющие радиационного режима в 1986 - 2015 гг. на территории Украины. *Развитие географических исследований в Беларуси в XX - XXI веках*: материалы междунар. науч.-практ. оч. - заоч. конф., 24 - 26 марта. Минск, 2021. С. 201 - 207. URL: <https://drive.google.com/file/d/14-giajpnbiUqVpdDzwxmjb-mbRMTz2Fa/view> (дата обращения: 04.10.2022).
6. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Визначення фотосинтетично активної радіації за окремі місяці та теплий період року в 1986 - 2015 рр. в Україні. *Актуальні проблеми дослідження довкілля*: збірник наукових праць за матеріалами VIII Міжнародної наукової конференції, 24 - 26 травня. Суми, 2019. С. 154 - 158. URL: https://www.sspu.sumy.ua/images/stories/Estfak/konf/aktualni_2019_69c6b_1471890487.pdf (дата звернення: 04.10.2022).
7. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Дослідження сучасного стану складових радіаційного режиму та визначення фотосинтетично активної радіації за теплий період у 1986 - 2015 рр. на території України. *Астрономія та фізика космосу в Київському університеті*: збірка тез доповідей Міжнародної конференції в рамках Днів науки в Україні, 28 - 31 травня. Київ, 2019. С. 107. URL: http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/wp-content/uploads/2019/06/Book_of_Abstracts-2019.pdf (дата звернення: 04.10.2022).
8. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Визначення фотосинтетично активної радіації за теплий період року у 1986 - 2015 рр. в Україні. *Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств*: сборник материалов Юбилейной V Международной научно-практической конференции, 28 - 29 ноября. Гомель, 2019. Ч. 1. С. 348 - 353. URL: <https://drive.google.com/file/d/1WWQckaP-XuDrIzQ6CIL2ITCUBm3vO2cs/view> (дата обращения: 04.10.2022).
9. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Определение фотосинтетически активной радиации за теплый период года в 2006 - 2015 гг. в Украине. *Географические аспекты устойчивого развития регионов*: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, 27 - 29 мая. Гомель, 2021. С. 118 - 122. URL: <http://conference.gsu.by> (дата обращения: 04.10.2022).
10. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Радіаційний режим в умовах інтенсивних засух 2001 - 2010 рр. в Україні. *Український географічний журнал*. 2013. № 1. С. 5 - 11. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005>.
11. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Геліоенергетичні ресурси України за 1986-2015 рр. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 1 (52). С. 88 - 97. URL: http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2019_52.pdf (дата звернення: 04.10.2022).
12. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Ресурси сонячної енергетики в Україні за 1986 - 2015 рр. *Астрономія та фізика космосу в Київському університеті*: збірка тез доповідей Міжнародної конференції в рамках днів науки в Україні, 29 травня - 01 червня. Київ, 2018. С. 101 - 102. URL: <http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/book-of-abstracts-2018/> (дата звернення: 04.10.2022).
13. Савчук С. В., Тимофєєв В. Є., Ювченко Н. М. Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. Вип. 22. С. 46 - 56. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05>.
14. Andrzej A. Marsz, Dorota Matuszko, Styszyńska. The thermal state of the North Atlantic and macrocirculation conditions in the Atlantic-European sector, and changes in sunshine duration in Central Europe. *International Journal of Climatology*. 2022. 42 (2). Pp. 48 - 761. URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.7270> (Accessed: 04 October 2022).
15. Гуляев Б. И. О методике измерения фотосинтетически активной радиации. *Фотосинтез и продуктивность растений*. Київ: Наукова думка, 1965. С. 178 - 194
16. Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона / Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В., Незваль Е. И., Шиловцева О. А. Москва: Изд-во "Либликом", 2012. 310 с.
17. О вычислении фотосинтетически активной радиации при оценках параметров углеродного баланса наземных экосистем / Журавлева Т. Б., Рублев А. Н., Удалова Т. А. и др. *Оптика атмосферы и океана*. 2006. № 1 (19). С. 64 - 68.
18. Pinker R. T., Laszlo I, Global Distribution of Photosynthetically active radiation as Observed from Satellites. *Journal of Climate*. 1992. 5. Pp. 56 - 65.
19. Slomka J. Photosynthetically active insolation. *Publ. Inst. Bioph. Pol. Acad. Sei.* 1983. D - 18 (169). Pp. 105 - 109.

REFERENCES

1. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2015). [Solar radiation region of Ukraine in conditions of climate change]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya khozyaystvennoy deyatel'nosti v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata"* [Materials of the International Scientific Conference "Problems of

- hydrometeorological support of economic activity in a changing climate"], 5 - 8 May. Minsk, pp. 131 - 133. Available at: <https://istina.msu.ru/download/9593547/1dWz4i:ILEdDKJ-6GKNVYdcxPaJRxxhzFI/> (Accessed: 04.10.2022). (in Rus.).
2. Barteneva, O.D., Polyakova, E.A. & Rusin, N.P. (1971). *Rezhim estestvennoy osveshchennosti na territorii SSSR [Natural light mode on the territory of the USSR]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Rus.).
 3. Gois, N.I. & Flight, N.A. (1986). *Resursy fotosinteticheski aktivnoy radiatsii i ikh ispol'zovanie v intensivnom zemledelii Ukrainy [Resources of photosynthetically active solar radiation and their use in intensive agriculture in Ukraine]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Rus.).
 4. Goisa, M.I. & Flight, N.A. (2003). Fotosyntetychno aktyvna radiatsiia [Photosynthetically active solar radiation]. In : Lipinsky, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (eds). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*, Kyiv : Raevsky Publ. (in Ukr.).
 5. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2021). [Components of the solar radiation regime in 1986 - 2015 on the territory of Ukraine.] *Materialy mezhdunarodnoy nauchno - prakticheskoy ochno - zaochnoy konferentsii "Razvitie geograficheskikh issledovaniy v Belarusi v XX - XXI vekakh" [Materials of the international scientific-practical full-time-correspondence conference "Development of geographical research in Belarus in the XX - XXI centuries"]*, 24 - 26 March. Minsk, pp. 201 - 207. Available at: <https://drive.google.com/file/d/14-giajpnbiUqVpdDzwxmjb-mbRMTz2Fa/view> (Accessed: 04.10.2022). (in Rus.).
 6. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). Vyznachennia fotosyntetychno aktyvnoi radiatsii za okremi misiatsi ta teplyi period roku v 1986 - 2015 rokakh v Ukraini [Determination of photosynthetically active solar radiation for individual months and the warm period of the year in 1986 - 2015 in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats za materialamy VIII Mizhnarodnoi naukovo konferentsii "Aktualni problemy doslidzhennia dokillia" [Proceedings of the VIII International Scientific Conference "Current issues of environmental research"]*, 24-26 May. Sumy, pp. 154 - 158. Available at: https://www.sspu.sumy.ua/images/stories/Estfak/konf/aktua lni_2019_69c6b_1471890487.pdf (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
 7. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). Doslidzhennia suchasnoho stanu skladovykh radiatsiinoho rezhymu ta vyznachennia fotosyntetychno aktyvnoi radiatsii za teplyi period u 1986 - 2015 rokakh na terytorii Ukrainy [Research of the current state of the components of the solar radiation regime and determination of photosynthetically active radiation for the warm period in 1986 - 2015 on the territory of Ukraine]. *Zbirka tez dopovidei Mizhnarodnoi konferentsii v ramkakh Dniv nauky v Ukraini "Astronomiia ta fizyka kosmosu v Kyivskomu universyteti" [Collection of abstracts of the International Conference in the framework of the Days of Science in Ukraine "Astronomy and Physics of Space at the University of Kiev"]*, 28 - 31 May. Kyiv, p. 107. Available at: http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/wp-content/uploads/2019/06/Book_of_Abstracts-2019.pdf (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
 8. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). Vyznachennia fotosyntetychno aktyvnoi radiatsii za teplyi period roku u 1986 - 2015 rokakh v Ukraini [Determination of photosynthetic active solar radiation for the warm period of the year in 1986 - 2015 in Ukraine]. *Sbornik materialov Yubileynoy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nye voprosy nauk o Zemle v kontseptsii ustoychivogo razvitiya Belarusi i sopredel'nykh gosudarstv" [Collection of materials of the Jubilee V International Scientific and Practical Conference "Topical Issues of Earth Sciences in the Concept of Sustainable Development of Belarus and Neighboring States"]*, 28 - 29 November. Gomel, Vol. 1, pp. 348 - 353. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1WWQckaP-XuDrlZQ6CIL2ITCUBm3vO2cs/view> (Accessed: 04.10.2022). (in Russ.).
 9. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2021). [Determination of photosynthetically active solar radiation for the warm period of the year in 2006 - 2015 in Ukraine]. *Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Geograficheskie aspekty ustoychivogo razvitiya regionov" [Collection of materials. IV International scientific-practical conference "Geographical aspects of sustainable development of regions"]*, 27-29 May. Gomel, pp. 118 - 122. Available at: <http://conference.gsu.by> (Accessed: 04.10.2022). (in Russ.).
 10. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2013). [Solar radiation regime in the conditions of intensive droughts of 2001 - 2010 in Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 1, pp. 5 - 11. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005>. (in Ukr.).
 11. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). [Solar energy resources of Ukraine for 1986 - 2015]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolojiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 1 (52), pp. 88 - 97. Available at: http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2019_52.pdf (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
 12. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2018). Resursy soniachnoi enerhetyky v Ukraini za 1986 - 2015 roky [Solar energy resources in Ukraine for 1986 - 2015]. *Zbirka tez dopovidei Mizhnarodnoi konferentsii v ramkakh dnev nauky v Ukraini "Astronomiia ta fizyka kosmosu v Kyivskomu universyteti" [Collection of abstracts. International Conference within the Days of Science in Ukraine "Astronomy and Space Physics at the University of Kiev"]*, 29 May - 01 June. Kyiv, pp. 101 - 102. Available at: <http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/book-of-abstracts-2018/> (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
 13. Savchuk, S.V., Timofeev, V.E. & Yuvchenko, N.M. (2018). [Zoning of Ukraine according to the influence of extreme values of maximum air temperature in warm and cold periods of the year]. *Ukrainskij gidrometeorologicheskij zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 22, pp. 46 - 56. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05> (in Ukr.).
 14. Andrzej, A. Marsz, Dorota, Matuszko & Anna, Styszyńska. (2022). The thermal state of the North Atlantic and macro-circulation conditions in the Atlantic-European sector, and changes in sunshine duration in Central Europe. *International Journal of Climatology*, 42 (2), pp. 48 - 761. Available at: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.7270>.
 15. Gulyaev, B.I. (1965). O metodike izmereniya fotosinteticheski aktivnoy radiatsii [Technique for measuring photosynthetically active solar radiation]. *Fotosintez i produktivnost' rasteniy [Photosynthesis and Plant Productivity]*. Kiev : Naukova Dumka, pp. 178 - 194. (in Russ.).
 16. *Klimaticheskie resursy solnechnoy energii Moskovskogo regiona [Climatic resources of solar energy in the Moscow region]* / Abakumova, G.M., Gorbarenko, E.V., Nezval, E.I., Shilovtseva, O.A. (2012). Moscow : Librokom Publ. (in Rus.).

17. [On the calculation of photosynthetically active solar radiation in assessing the parameters of the carbon balance of terrestrial ecosystems] / Zhuravleva, T.B., Rublev, A.N., Udalova, T.A. et al. (2006). *Optika atmosfery i okeana [Optics of the atmosphere and ocean]*, 1 (19), pp. 64 - 68. (in Rus.).
18. Pinker, R.T. & Laszlo, I (1992). Global Distribution of Photosynthetically active radiation as Observed from Sattelites. *Journal of Climate*, 5, pp. 56-65.
19. Slomka, J. (1983). Photosynthetically active insolation. *Publ. Inst. Bioph. Pol. Acad. Sei.*, D - 18 (169), pp. 105 - 109.

DYNAMICS OF PHOTOSYNTHETIC SOLAR ACTIVE RADIATION IN UKRAINE OVER 1986 - 2015

**L. S. Rybchenko, S. V. Savchuk,
V. E. Timofeev, A. A. Shcheglov**

*Ukrainian Hydrometeorological Institute
37, Avenue of Science, 0302, Kyiv, Ukraine, L.S.Rybchenko@gmail.com*

Photosynthetically active solar radiation (PSR) – solar radiation within the wavelength range of 380 ... 710 nm – forms a basis of plants' life that determines their photosynthesis. No measurements of photosynthetically active solar radiation (PSR) take place in Ukraine due to the lack of standard devices. Direct, scattered and total PSR is calculated via transition measurements and coefficients, whereas total PSR is measured via sunshine duration – using the indirect method. The purpose of the research is to determine PSR and its dynamics during specific months and the warm period of the year (April-October). The components of the radiation regime within the network of actinometric and meteorological observations in Ukraine for 1986 - 2015, 1986 - 1995, 1996 - 2005, 2006 - 2015 were obtained using mathematical statistics and climatological methods. In the course of the research changes in the PSR during specific months and the warm period over specific decades were determined. During the months of the warm period over 1986 -2015, direct, diffused, total PSR and total PSR calculated via sunshine duration tend to increase from the west, northwest or Ukrainian Carpathians to the southern steppe zone and Crimea. During the warm period over 1986 - 1995, the amount of direct PSR varies within 472 ... 891 MJ/m², diffused radiation – 887 ... 1156 MJ/m², total radiation – 1457 ... 1917 MJ/m², total PSR calculated based on sunshine duration – 1621 ... 2056 MJ/m²; over 1996 - 2005 the amount of direct PSR varies within – 469 ... 1030 MJ/m², diffused – 802 ... 1004 MJ / m², total – 1305 ... 1973 MJ/m², total PSR calculated based on sunshine duration – 1654 ... 2192 MJ/m²; over 2006 - 2015 the amount of direct PSR varies within 485 ... 1065 MJ/m², diffused radiation – 737 ... 951 MJ / m², total PSR – 1270 ... 1977 MJ / m², total PSR calculated based on sunshine duration – 1649 ... 2233 MJ / m². The increase in integrated direct solar radiation over 1996 - 2005 compared to 1986 - 1995, as well as over 2006 - 2015 compared to 1996 - 2005, led to an increase in direct PSR; the decrease in diffused solar radiation led to a decrease in diffused PSR; and ambiguous changes in the components of total solar radiation led to fluctuations in total PSR; increase in sunshine duration is accompanied by an increase in total PSR calculated based on sunshine duration. The research is relevant due to the factor of modern climate variability at the global and regional levels. The study of PSR changes is an urgent task of modern agrometeorology. It enables long-term effective planning of agricultural development.

Keywords: direct, scattered, total photosynthetically active solar radiation and total photosynthetically active solar radiation in terms of duration of sunshine.

Подання до редакції : 06. 09. 2022

Надходження остаточної версії : 15. 12. 2022

Публікація статті : 27. 12. 2022