

Сонячна радіація у Києві і Одесі за ясного неба

Solar radiation in Kiev and Odessa for a clear sky

Рибченко Л.С., Ревера Т.О.

Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ, Україна
Головна геофізична обсерваторія, Київ, Україна

L. Rybchenko, T. Revera

Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kiev, Ukraine
Main Geophysical Observatory, Kiev, Ukraine

Вступ

Сонячна радіація, проникаючи крізь атмосферу, поглинається і розсіюється атмосферними газами та зваженими у повітрі рідкими і твердими частками. До земної поверхні короткохвильова сонячна радіація надходить у вигляді прямої радіації від Сонця і розсіяної радіації небосхилу. Сонячна радіація частково відбивається від підстильної поверхні а частина радіації, яка поглинається, перетворюється на тепло і нагріває поверхню. Ефективне випромінювання є різницею між випромінюванням земної поверхні і противипромінюванням атмосфери. Радіаційний баланс зумовлюється надходженням і витратою коротко і довгохвильової радіації, яка поглинається і випромінюється підстильною поверхнею. У надходженні променистої енергії Сонця та перерозподілу на рівні земної поверхні за ясного неба і середньої прозорості атмосфери вирішальне значення набуває астрономічний фактор. За таких умов найбільш істотно розкриваються закономірності добового і річного ходу радіації. Взаємодія сонячного, атмосферного і земного випромінювання порушується внаслідок господарської діяльності (1-2, 4-6).

Продуктом складної взаємодії хімічних і фізичних процесів атмосфери є аерозоль, однак оцінка загальної кількості різних видів не існує оскільки дані про потужність джерел природного і антропогенного походження не достовірні (3). Головним завданням, що пов'язано з впливом аерозолі на клімат є визначення його діяння на надходження коротко і довгохвильової радіації, що зумовлено глобальними і регіональними варіаціями складу і кількості аерозолі в атмосфері.

Дослідження змін радіаційного балансу підстильної поверхні, як одного з основних кліматоутворювальних факторів в сучасних умовах потепління клімату має наукове і практичне значення. Становить інтерес виявлення коливання потоків короткохвильової і довгохвильової радіації за ясного неба, що зумовлюється астрономічним фактором, оптичними властивостями атмосфери, станом земної поверхні.

Метою проведених досліджень є порівняння складових сумарної радіації за ясного неба у районі Києва за 1961-2009 рр. відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. Визначення коливань складових радіаційного балансу і прозорості атмосфери у полудень протягом року за десятиріччями 1961-2009 рр. у Києві і Одесі.

Результати досліджень

Для аналізу змін короткохвильової радіації за 1961-2009 рр. відносно кліматологічної стандартної норми 1961-1990 рр. проведено порівняння сум прямої, розсіяної і сумарної радіації (МДж/м²) за два періоди (табл. 1).

Таблиця 1. Порівняння сум прямої на горизонтальну поверхню, розсіяної і сумарної сонячної радіації (МДж/м²) за два періоди у Києві

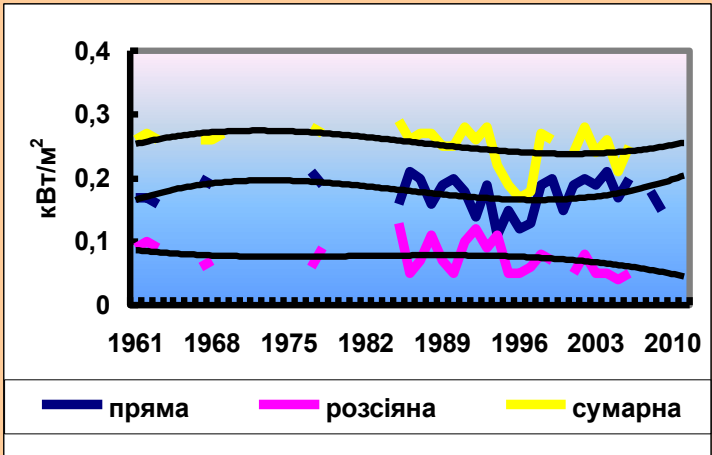
Період	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Пряма радіація на горизонтальну поверхню													
1961-2009 рр	109	186	358	483	628	665	647	531	388	266	137	84	4482
1961-1990 рр	109	193	378	499	640	665	644	538	393	287	143	84	4573
Різниця	0	-7	-20	-16	-12	0	3	-7	-5	-21	-6	0	-91
Різниця (%)	0	-4	-6	-3	-2	0	0	-1	-1	-8	-4	0	-2
Розсіяна радіація													
1961-2009 рр	55	76	125	161	180	193	189	168	123	83	56	42	1451
1961-1990 рр	5	78	129	165	191	208	196	171	123	82	58	42	1498
Різниця	0	-2	-4	-4	-11	-15	-7	-3	0	1	2	0	-47
Різниця (%)	0	-3	-3	-2	-6	-8	-4	-2	0	1	2	0	-3
Сумарна радіація													
1961-2009 рр	164	260	480	642	808	857	829	699	511	351	191	126	5912
1961-1990 рр	164	271	506	664	831	872	840	709	515	369	201	126	6068
Різниця	0	-11	-26	-22	-23	-15	-11	-10	-4	-18	-10	0	-156
Різниця (%)	0	-4	-6	-3	-3	-2	-1	-1	-1	-5	-5	0	-3

У полудень за найбільшої висоти Сонця, зумовлюються максимальні потоки радіації протягом дня. Енергетична освітленість прямої сонячної радіації (кВт/м²) на перпендикулярну поверхню, коефіцієнт прозорості і фактор мутності у полудень дає можливість отримати вплив коливання оптичних властивостей атмосфери на надходження прямої сонячної радіації до підстильної поверхні за десятиріччями 1961-2009 рр. (табл. 2).

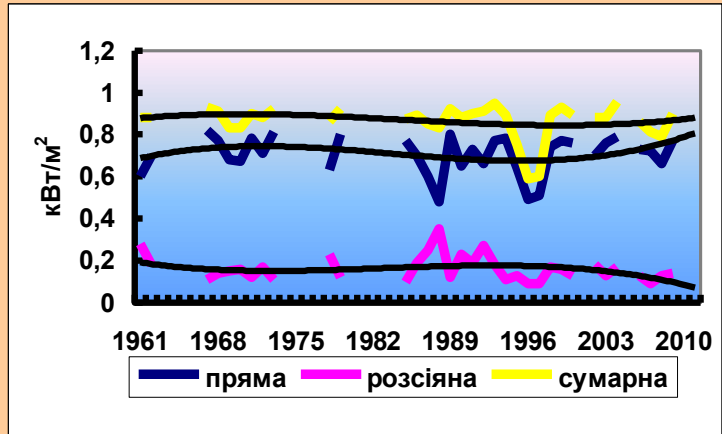
Таблиця 2. Енергетична освітленість (інтенсивність) прямої сонячної радіації (кВт/м²) на перпендикулярну поверхню, коефіцієнт прозорості і фактор мутності у полудень за окремі десятиріччя у Києві.

Десятиріччя	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Енергетична освітленість прямої радіації												
1961-1970 рр	0,76	0,89	0,89	0,85	0,84	0,82	0,84	0,82	0,81	0,84	0,75	0,65
1971-1980 рр	0,71	0,70	0,83	0,83	0,85	0,85	0,81	0,79	0,79	0,82	0,67	0,71
1981-1990 рр	0,69	0,72	0,78	0,79	0,82	0,76	0,75	0,69	0,74	0,74	0,70	0,65
1991-2000 рр	0,59	0,62	0,68	0,69	0,77	0,78	0,79	0,75	0,72	0,67	0,60	0,55
2001-2009 рр	0,73	0,81	0,82	0,80	0,83	0,82	0,78	0,77	0,76	0,73	0,72	0,69
Коефіцієнт прозорості												
1961-1970 рр	0,79	0,80	0,76	0,72	0,70	0,67	0,70	0,70	0,72	0,77	0,77	0,76
1971-1980 рр	0,77	0,71	0,74	0,71	0,71	0,70	0,67	0,67	0,71	0,76	0,74	0,79
1981-1990 рр	0,76	0,73	0,71	0,67	0,69	0,63	0,63	0,61	0,67	0,73	0,75	0,76
1991-2000 рр	0,71	0,67	0,66	0,62	0,65	0,65	0,66	0,65	0,66	0,69	0,71	0,71
2001-2009 рр	0,78	0,76	0,73	0,68	0,69	0,68	0,65	0,66	0,69	0,72	0,76	0,78
Фактор мутності												
1961-1970 рр	2,34	2,26	2,71	3,31	3,62	4,00	3,57	3,62	3,31	2,66	2,58	2,76
1971-1980 рр	2,58	3,36	3,08	3,41	3,46	3,57	3,94	4,00	3,46	2,80	3,03	2,38
1981-1990 рр	2,71	3,22	3,41	3,94	3,78	4,59	4,59	4,92	3,94	3,22	2,85	2,76
1991-2000 рр	3,36	3,94	4,16	4,85	4,35	4,28	4,16	4,35	4,11	3,72	3,41	3,41
2001-2009 рр	2,50	2,71	3,22	3,83	3,72	3,83	4,28	4,11	3,78	3,31	2,76	2,50

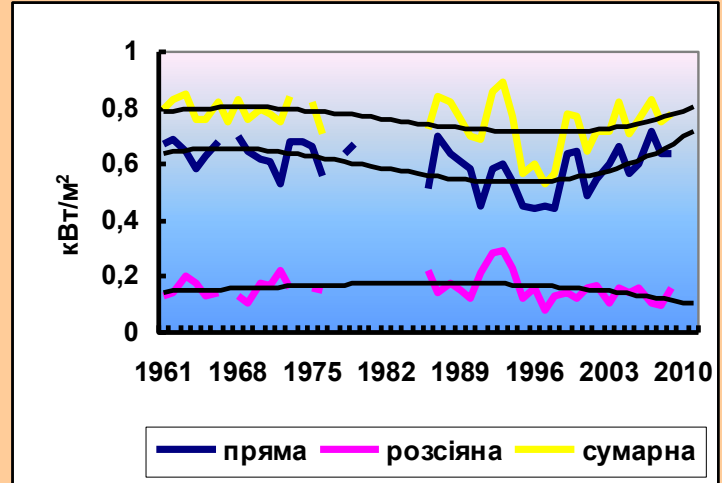
Коливання інтенсивності прямої, розсіяної і сумарної радіації (кВт/м²) у полудень (1961-2009 рр) у грудні і червні, коли спостерігаються мінімальні і максимальні значення та у середині весни (квітень) і восени (жовтень) наведено на рис. 1.



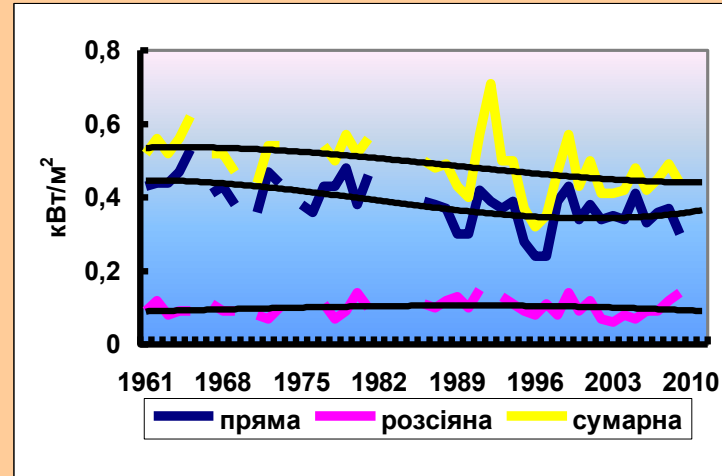
Грудень



Червень



Квітень

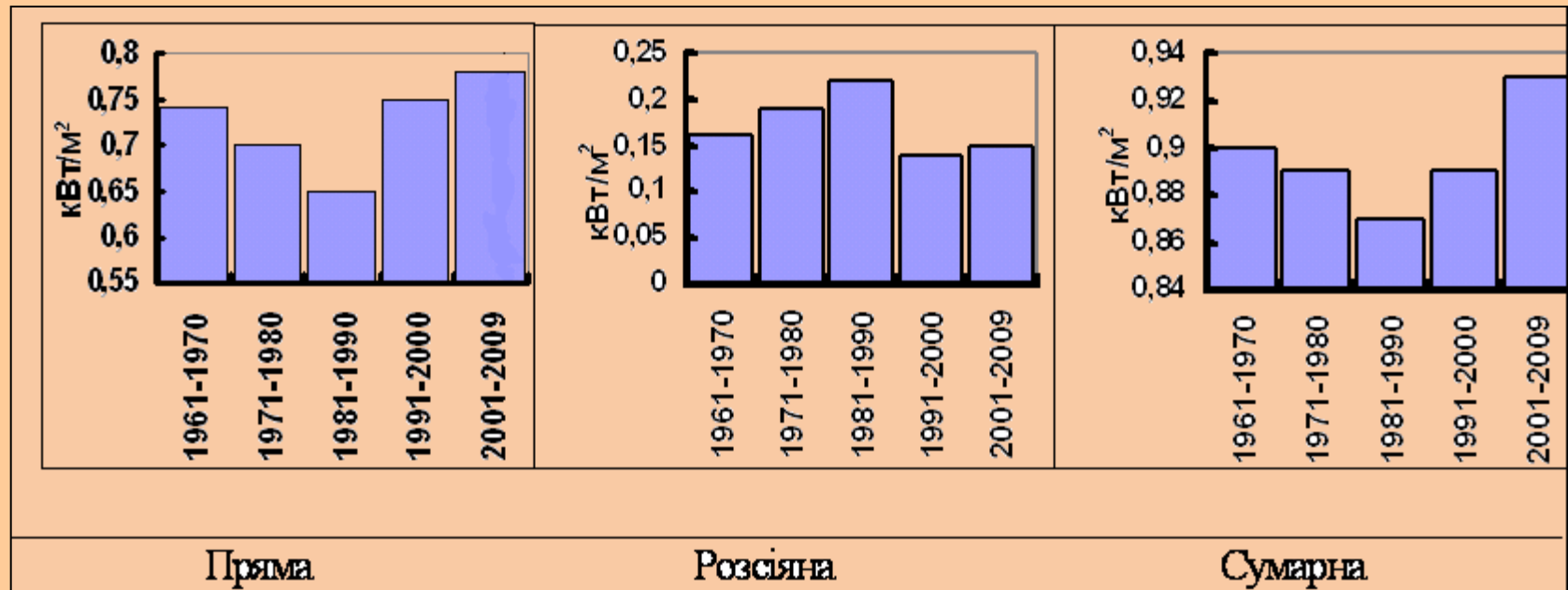


Жовтень

Таблиця 3. Енергетична освітленість (кВт/м²) прямої, розсіяної, сумарної і поглинутої сонячної радіації та радіаційного балансу у полудень за десятиріччями у Києві

Десятиріччя	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пряма радіація на горизонтальну поверхню												
1961-1970 рр.	0,24	0,41	0,52	0,65	0,70	0,72	0,72	0,66	0,54	0,44	0,27	0,18
1971-1980 рр.	0,22	0,33	0,52	0,63	0,70	0,74	0,69	0,63	0,54	0,41	0,24	0,20
1981-1990 рр.	0,22	0,33	0,49	0,64	0,69	0,67	0,65	0,54	0,46	0,37	0,26	0,18
1991-2000 рр.	0,19	0,29	0,41	0,52	0,65	0,69	0,69	0,60	0,48	0,35	0,21	0,16
2001-2009 рр.	0,23	0,37	0,50	0,61	0,71	0,73	0,68	0,62	0,51	0,35	0,26	0,19
Розсіяна радіація												
1961-1970 рр.	0,09	0,11	0,13	0,15	0,15	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,08	0,08
1971-1980 рр.	0,09	0,13	0,12	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
1981-1990 рр.	0,10	0,13	0,17	0,16	0,17	0,21	0,17	0,18	0,14	0,11	0,09	0,08
1991-2000 рр.	0,09	0,12	0,16	0,18	0,15	0,15	0,15	0,16	0,12	0,11	0,10	0,08
2001-2009 рр.	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,11	0,09	0,08	0,06
Сумарна радіація												
1961-1970 рр.	0,33	0,52	0,65	0,80	0,85	0,88	0,87	0,79	0,66	0,54	0,35	0,26
1971-1980 рр.	0,31	0,46	0,54	0,80	0,85	0,89	0,84	0,78	0,67	0,51	0,34	0,27
1981-1990 рр.	0,32	0,46	0,66	0,80	0,86	0,88	0,82	0,72	0,60	0,48	0,35	0,26
1991-2000 рр.	0,28	0,41	0,57	0,70	0,80	0,84	0,84	0,76	0,60	0,46	0,31	0,24
2001-2009 рр.	0,30	0,47	0,62	0,75	0,86	0,87	0,85	0,76	0,62	0,44	0,34	0,25
Поглинута радіація												
1961-1970 рр.	0,11	0,21	0,40	0,67	0,69	0,71	0,70	0,64	0,53	0,44	0,25	0,12
1971-1980 рр.	0,14	0,23	0,37	0,66	0,69	0,72	0,66	0,63	0,54	0,40	0,24	0,14
1981-1990 рр.	0,14	0,23	0,43	0,64	0,69	0,70	0,64	0,58	0,47	0,38	0,21	0,12
1991-2000 рр.	0,14	0,21	0,35	0,56	0,64	0,66	0,66	0,61	0,48	0,35	0,20	0,12
2001-2009 рр.	0,15	0,20	0,42	0,60	0,69	0,70	0,68	0,61	0,49	0,34	0,22	0,11
Радіаційний баланс												
1961-1970 рр.	0,09	0,18	0,31	0,56	0,57	0,58	0,57	0,54	0,42	0,33	0,19	0,05
1971-1980 рр.	0,08	0,16	0,35	0,51	0,55	0,59	0,56	0,52	0,42	0,30	0,11	0,08
1981-1990 рр.	0,05	0,12	0,35	0,46	0,52	0,60	0,60	0,47	0,35	0,27	0,16	0,02
1991-2000 рр.	0,06	0,17	0,26	0,45	0,55	0,56	0,59	0,49	0,37	0,25	0,14	0,04
2001-2009 рр.	0,10	0,18	0,33	0,46	0,56	0,58	0,57	0,49	0,38	0,26	0,16	0,09

Сумарна сонячна радіація після зменшення від початку спостережень до середини 90- років ХХ ст. почала збільшуватись. Розсіяна радіація неістотно збільшуючись від початку спостережень до середини 90 –х років ХХ ст. у подальшому поступово зменшується. Мінімальною поглинута радіація була більшу частину року, як і сумарна радіація у кінці ХХ ст. (1991-2000 рр.), крім середини літа і початку осені. Радіаційний баланс найменшим виявився для більшості місяців за середнє десятиріччя (1981-1990 рр.) і майже протягом року відзначився найбільшими значеннями у перше десятиріччя (1961-1970 рр.). Хід прямої, розсіяної і сумарної радіації (кВт/м²) у полудень за окремі десятиріччя у червні приведено на рис. 2.



Для порівняння з Києвом, що розташований на півночі, для Одеси за інтенсивністю прямої радіації на перпендикулярну поверхню розраховано коефіцієнт прозорості і фактор мутності у полудень за окремі десятиріччя (табл. 4).

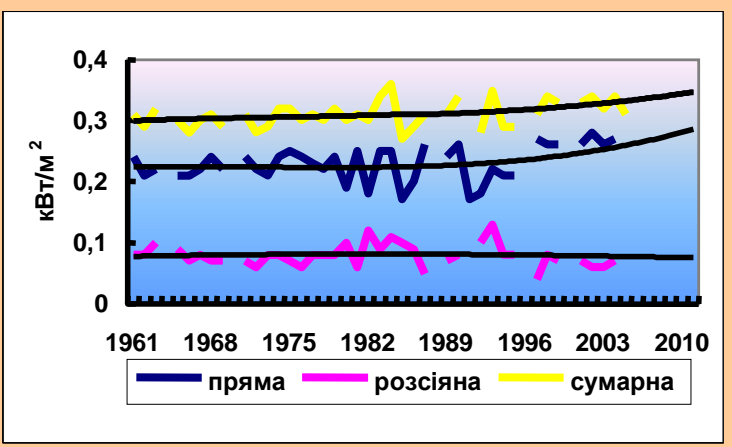
Таблиця 4. Енергетична освітленість прямої сонячної радіації (кВт/м²) на перпендикулярну поверхню, коефіцієнт прозорості і фактор мутності у полудень за окремі десятиріччя в Одесі.

Десятиріччя	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Енергетична освітленість прямої радіації												
1961-1970 pp	0,67	0,80	0,80	0,82	0,81	0,81	0,80	0,79	0,79	0,77	0,70	0,65
1971-1980 pp	0,71	0,75	0,78	0,79	0,81	0,77	0,73	0,74	0,73	0,72	0,66	0,67
1981-1990 pp	0,65	0,70	0,75	0,75	0,77	0,72	0,73	0,72	0,73	0,71	0,65	0,65
1991-2000 pp	0,74	0,77	0,76	0,81	0,83	0,83	0,80	0,78	0,82	0,77	0,67	0,66
2001-2009 pp	0,79	0,80	0,85	0,83	0,86	0,86	0,81	0,79	0,80	0,82	0,75	0,76
Коефіцієнт прозорості												
1961-1970 pp	0,73	0,74	0,70	0,69	0,66	0,67	0,67	0,66	0,69	0,71	0,73	0,73
1971-1980 pp	0,75	0,72	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,63	0,65	0,70	0,71	0,74
1981-1990 pp	0,71	0,69	0,67	0,64	0,64	0,60	0,62	0,62	0,65	0,70	0,71	0,73
1991-2000 pp	0,76	0,73	0,68	0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,71	0,71	0,71	0,74
2001-2009 pp	0,78	0,74	0,73	0,70	0,70	0,70	0,67	0,66	0,70	0,74	0,75	0,78
Фактор мутності												
1961-1970 pp	3,22	2,99	3,51	3,72	4,11	4,05	4,05	4,16	3,67	3,36	3,22	3,17
1971-1980 pp	2,94	3,31	3,67	4,05	4,11	4,53	4,85	4,66	4,28	3,62	3,36	3,03
1981-1990 pp	3,36	3,67	3,94	4,47	4,47	5,05	4,85	4,79	4,28	3,62	3,41	3,17
1991-2000 pp	2,76	3,17	3,83	3,78	3,89	3,94	4,05	4,22	3,41	3,41	3,36	3,08
2001-2009 pp	2,50	2,99	3,12	3,57	3,57	3,51	3,94	4,16	3,62	3,03	2,89	2,50

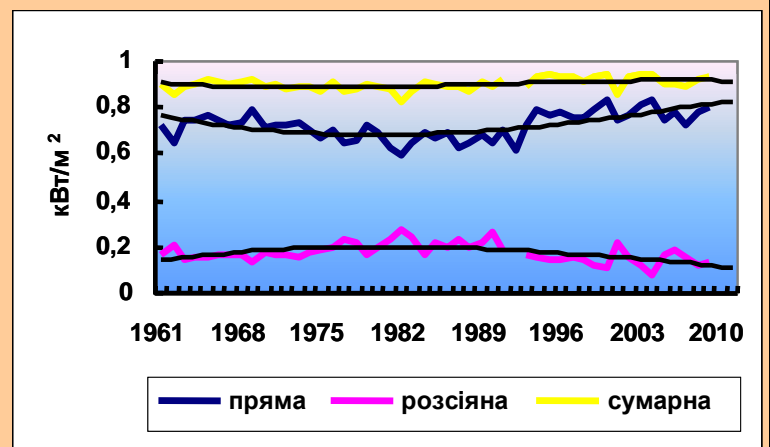
Таблиця 5. Енергетична освітленість (кВт/м²) прямої на горизонтальну поверхню, розсіяної, сумарної і поглинутої сонячної радіації та радіаційного балансу у полудень за десятиріччями в Одесі

Десятиріччя	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пряма радіація на горизонтальну поверхню												
1961-1970 рр.	0,26	0,42	0,53	0,65	0,71	0,74	0,72	0,66	0,57	0,44	0,30	0,22
1971-1980 рр.	0,27	0,36	0,53	0,62	0,72	0,70	0,65	0,62	0,53	0,41	0,28	0,23
1981-1990 рр.	0,25	0,37	0,51	0,59	0,68	0,65	0,66	0,60	0,52	0,40	0,27	0,23
1991-2000 рр.	0,30	0,39	0,51	0,66	0,73	0,75	0,72	0,65	0,59	0,43	0,29	0,22
2001-2009 рр.	0,31	0,41	0,55	0,65	0,76	0,78	0,73	0,65	0,57	0,47	0,30	0,26
Розсіяна радіація												
1961-1970 рр.	0,09	0,11	0,13	0,17	0,16	0,16	0,17	0,15	0,13	0,13	0,10	0,08
1971-1980 рр.	0,10	0,12	0,14	0,17	0,16	0,19	0,20	0,19	0,17	0,14	0,10	0,08
1981-1990 рр.	0,10	0,15	0,17	0,20	0,20	0,22	0,21	0,19	0,15	0,13	0,11	0,09
1991-2000 рр.	0,09	0,13	0,18	0,18	0,17	0,14	0,17	0,16	0,13	0,12	0,12	0,08
2001-2009 рр.	0,08	0,11	0,12	0,16	0,13	0,15	0,14	0,15	0,13	0,10	0,08	0,07
Сумарна радіація												
1961-1970 рр.	0,36	0,53	0,67	0,83	0,87	0,90	0,88	0,81	0,69	0,52	0,40	0,31
1971-1980 рр.	0,37	0,50	0,67	0,79	0,89	0,89	0,84	0,80	0,69	0,54	0,38	0,31
1981-1990 рр.	0,36	0,52	0,68	0,80	0,88	0,88	0,87	0,79	0,68	0,52	0,37	0,32
1991-2000 рр.	0,39	0,50	0,67	0,84	0,91	0,92	0,89	0,82	0,73	0,55	0,41	0,32
2001-2009 рр.	0,39	0,52	0,67	0,80	0,90	0,91	0,88	0,81	0,70	0,58	0,41	0,34
Поглинута радіація												
1961-1970 рр.	0,23	0,39	0,56	0,67	0,71	0,75	0,73	0,67	0,57	0,44	0,34	0,24
1971-1980 рр.	0,30	0,39	0,54	0,67	0,73	0,74	0,70	0,67	0,57	0,44	0,31	0,24
1981-1990 рр.	0,26	0,34	0,54	0,66	0,72	0,72	0,72	0,66	0,56	0,43	0,30	0,24
1991-2000 рр.	0,24	0,36	0,50	0,68	0,73	0,74	0,73	0,66	0,60	0,43	0,32	0,23
2001-2009 рр.	0,27	0,35	0,52	0,64	0,72	0,75	0,72	0,66	0,58	0,46	0,32	0,25
Радіаційний баланс												
1961-1970 рр.	0,15	0,31	0,45	0,55	0,59	0,60	0,57	0,52	0,45	0,34	0,23	0,15
1971-1980 рр.	0,16	0,29	0,46	0,54	0,59	0,60	0,57	0,52	0,43	0,31	0,20	0,14
1981-1990 рр.	0,18	0,25	0,42	0,53	0,58	0,58	0,56	0,49	0,42	0,31	0,19	0,16
1991-2000 рр.	0,20	0,28	0,44	0,59	0,64	0,66	0,61	0,54	0,49	0,35	0,23	0,18
2001-2009 рр.	0,21	0,25	0,40	0,53	0,61	0,63	0,57	0,51	0,44	0,35	0,23	0,17

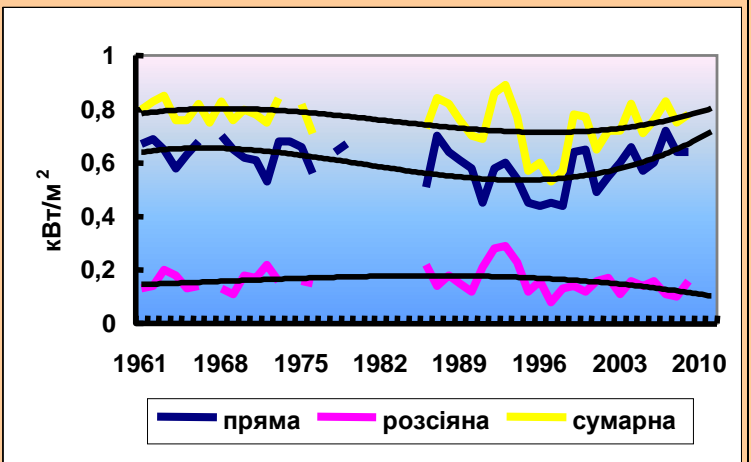
Коливання інтенсивності прямої, розсіяної і сумарної радіації (кВт/м²) за окремі місяці в Одесі наведено на рис. 3.



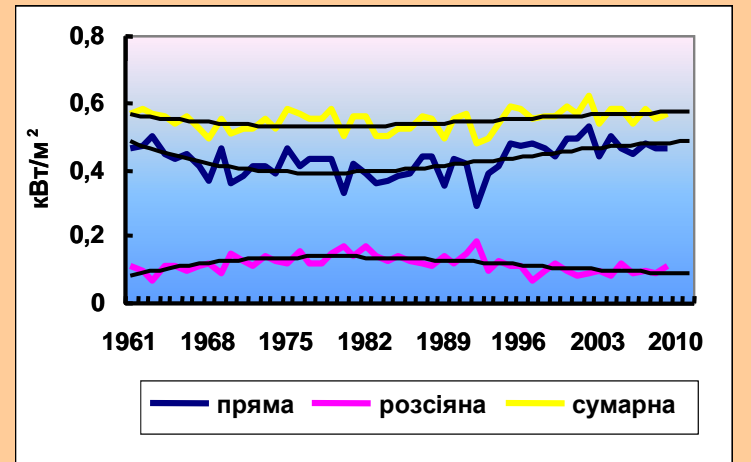
Грудень



Червень

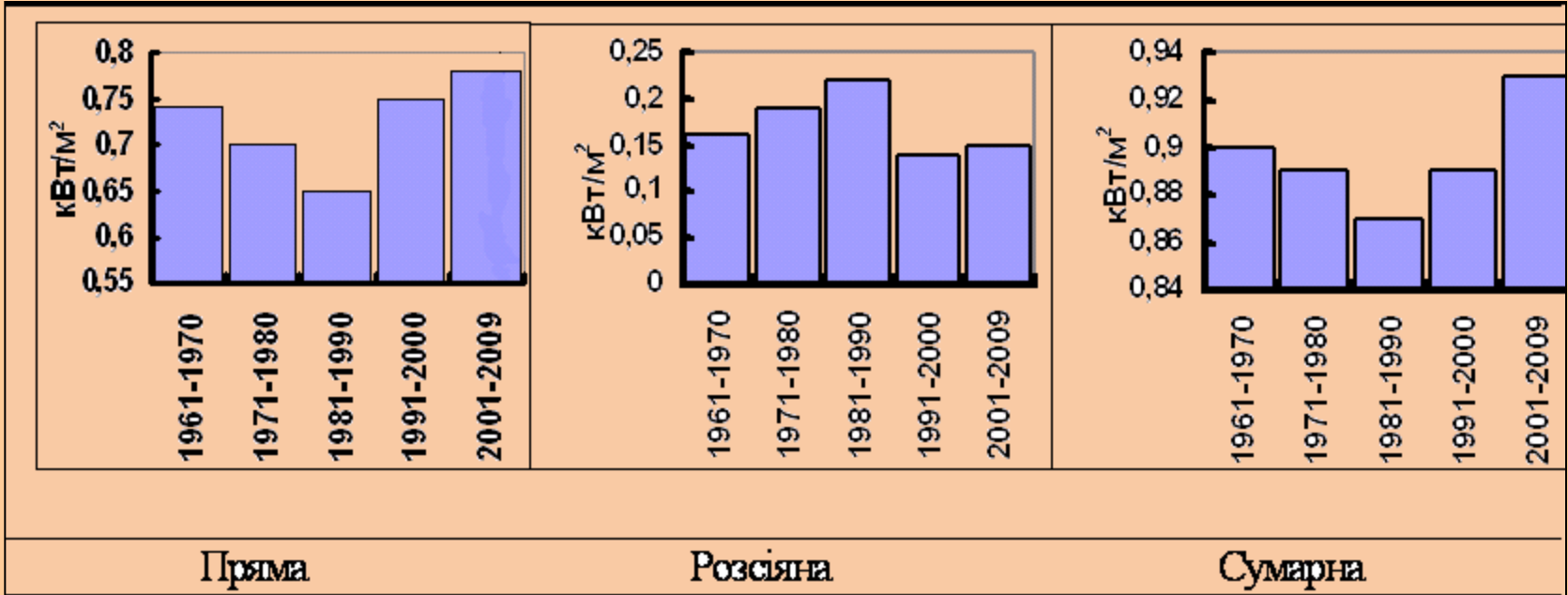


Квітень



Жовтень

Пряма і сумарна сонячна радіація після зменшення від початку спостережень до середини 80- років ХХ ст. почала зростати. Розсіяна радіація неістотно збільшуючись від початку спостережень до середини 90 –х років ХХ ст. надалі поступово зменшується. Поглинута радіація, не зазнала помітних змін протягом періоду спостережень. Радіаційний баланс виявився найменшим майже протягом року у середньому десятиріччі (1981-1990 рр.) та наблизився у більшості місяців до найбільших значень першого десятиріччя, у травні-червні і грудні-січні був найбільшим за 2000-2009 рр. Хід енергетичної освітленості (кВт/м²) прямої, розсіяної і сумарної радіації в Одесі у полудень за десятиріччями у червні приведено на рис. 4.



За аналізом рис. 2 і 4 відмічаються загальні риси розподілу складових сумарної радіації за п'ятидесятирічний період спостережень у Києві і Одесі. Так, пряма радіація виявилась найменшою на обох станціях у середині спостережень (1981-1990 рр.) а два останні десятиріччя відзначились зростанням прямої радіації, що було значно більшим на півдні (Одеса) і зумовило максимальні значення за період спостережень. Розсіяна радіація найменша у два останні десятиріччя для обох міст а найбільша у середині п'ятидесятиріччя (1981-1990 рр.). Внаслідок неоднозначних змін складових, сумарна радіація була найменшою у кінці ХХ ст (1991-2000 рр.) у Києві і у середині п'ятидесятиріччя в Одесі. Найбільшою сумарна радіація на півночі (Київ) виявилась у другому десятиріччі (1971-1980 рр.) а на півдні (Одеса) на початку ХХІ ст.

Висновки.

За результатами дослідження складових радіаційного балансу за десятиріччями (1961-2009 рр.) у Києві виявлено істотні зміни у надходженні променистої енергії до підстильної поверхні за ясного неба. Суми прямої і сумарної радіації за весь період спостережень відносно стандартної кліматологічної норми (1961-1990 рр.) зменшились у кінці зими, весною і восени та мало змінились літом і на початку осені. Зменшення прямої і сумарної радіації відбувалось від початку вимірів до кінця ХХ ст. а найменші значення протягом року спостерігались у 1996-1997 рр.

В останнє десятиріччя на початку XXI ст. почалось їх зростання. Розсіяна радіація в останнє десятиріччя XX ст. виявилась найменшою за п'ятидесятиріччя, а найвищою була майже протягом року у середині періоду спостережень (1981-1990 рр.). Радіаційний баланс зазнав суттєвих змін внаслідок коливання сумарної радіації і альbedo. На початку XXI ст. він підвищився досягаючи значень 1961-1970 рр., за винятком квітня та вересня - жовтня.

За аналізом інтенсивності складових радіаційного балансу і прозорості атмосфери у полудень протягом року за десятиріччями (1961-2009 рр.) виявились аналогічні риси їх змін у Києві і Одесі. Після зменшення прозорості атмосфери, прямої, сумарної сонячної радіації і радіаційного балансу від початку спостережень відмічено їх зростання, що відбулося у 1981-1990 рр. на півдні (Одеса) і пізніше у 1991-2000 рр. на півночі (Київ). На півдні на початку XXI ст. вони досягли і перевищили аналогічні значення на початку спостережень. Розсіяна радіація після зростання до середини п'ятидесятиріччя відзначилась поступовим зменшенням і на півдні стала мінімальною на початку XXI ст.

Перераховані зміни складових радіаційного балансу за ясного неба подібні до аналогічних за середніх умов хмарності та є наслідком, в основному, впливу астрономічного фактору і фізико-хімічних властивостей атмосфери та зумовлені природними чинниками.

Список використаної літератури

1. Абакумова, Г.М. 2000. Тенденции многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альbedo подстилающей поверхности в Москве. Метеорология и гидрология 9; 51-62.
2. Дмитренко, Л.В. 2003. Прозорість атмосфери, в: Клімат України, Київ: Видавництво Раєвського. с. 47-50.
3. Кондратьев, К.Я. 1987. Глобальный климат и его изменения. Ленинград: Издательство «Наука». 231 с.
4. Рибченко, Л.С. 2003. Сумарна сонячна радіація, в: Клімат України, Київ: Видавництво Раєвського. с. 52-56.
5. Рибченко, Л.С., Ревера, Т.О. 2007. Сумарна сонячна радіація і альbedo підстильної поверхні в Україні. Наук. праці УкрНДГМІ 256; 99-111.
6. Рибченко, Л.С. 2010. Радіаційний баланс підстильної поверхні, в: Клімат Києва, Видавництво «Ніка-Центр». с.33-42.