

Л.В.Дмитренко

РЕГІОНАЛЬНІ ЗМІНИ ПРЯМОЇ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ

Розглянуто особливості вікового ходу прямої сонячної радіації та її регіональні зміни, що викликані впливом природних та антропогенних факторів. Досліджено зв'язок змін прямої сонячної радіації з сонячною активністю, вулканічною діяльністю та антропогенними факторами.

Зростаюча актуальність вивчення фізичних основ клімату та його змін, а також потреба в удосконаленні схем параметризації радіаційних факторів у модельних кліматичних розрахунках, викликає необхідність поглибленого дослідження змін сонячної радіації. Не менш актуальним є дослідження цих змін як непрямого показника стану атмосфери, зокрема її забруднення [3, 6].

Пряма сонячна радіація є найбільш мінливою характеристикою радіаційного режиму. Її просторові та часові зміни пов'язані з коливаннями фізичного стану атмосфери, від яких безпосередньо залежить надходження сонячної радіації на підстильну поверхню. Ці зміни відбуваються внаслідок сукупної дії природних та антропогенних факторів, які змінюють прозорість атмосфери.

Оцінювання сукупної дії природних та антропогенних факторів на зміну прямої сонячної радіації проводилося за [6], де використано дані актинометричних спостережень на 29 метеорологічних станціях помірних широт північної півкулі за 1883-1982 рр. Окрім цього використано дані актинометричних спостережень на 16 метеорологічних станціях (період - 1952-1995 рр.), які рівномірно охоплюють усю територію України. Опрацьовано середньомісячні та середньорічні значення інтенсивності прямої радіації на перпендикулярну до сонячних променів поверхню в полуденний час при ясному небі, коли потужність прямої радіації досить висока і, таким чином, мінімізується відносна похибка спостережень.

Для порівняння отриманих результатів розглянуто їх нормовані значення, приведені до однієї маси атмосфери $m=2$.

Використовуючи ці методичні підходи, отримано однорідний ряд

спостережень за полуденною інтенсивністю прямої радіації по кожній станції та узагальнені дані для України в цілому.

На рис. 1 представлено віковий хід прямої радіації за 1883-1982 рр. за даними актинометричних спостережень метеорологічних станцій північної півкулі та за актинометричними спостереженнями метеорологічних станцій України у відсотках норми (середні дані для десятиріч).

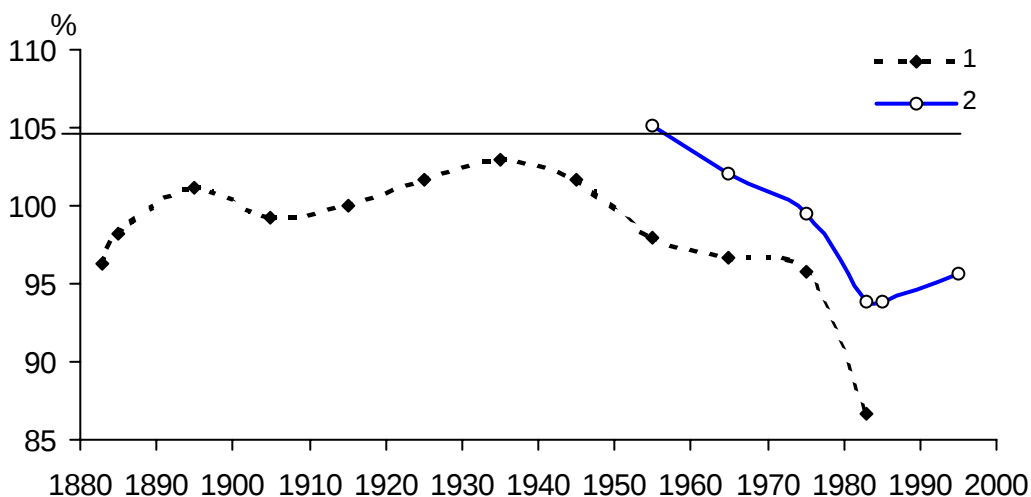


Рис. 1. Віковий хід прямої сонячної радіації S (у відсотках норми): 1 – за даними актинометричних станцій північної півкулі (1883-1983 рр.); 2 – за даними УкрНДГМІ (1952-1995 рр.)

Поєднання природних та антропогенних факторів зміни прозорості атмосфери спричиняє певні особливості вікового ходу прямої радіації: період додатних аномалій у кінці XIX ст., далі її інтенсивність була близькою до норми (до 1915 р.), потім спостерігалася стійка додатна аномалія (до 1940 р), яка змінилася довготривалою від'ємною аномалією. Від'ємний тренд прямої радіації пояснюється радіаційним ефектом аерозолі, який, починаючи з 40-х років, крім природного фактора, має значну антропогенну складову [2, 4]. У віковому ході прямої радіації, який має як короткоперіодичні (з року в рік), так і довгоперіодичні (декілька десятиріч) коливання, чітко простежується радіаційний аерозольний ефект. Короткоперіодичні зміни, яких зазнає пряма радіація внаслідок коливань стратосферного аерозольного шару, пов'язаних з

вулканічною діяльністю, досить різкі, відхилення від норми мають значну амплітуду, яка в окремі роки досягає 15-20%.

Ці різкі короткоперіодичні коливання (від декількох місяців до кількох років) відбувалися на фоні довгоперіодичних нерізких коливань.

Глобальні зміни прямої радіації (за даними актинометричних спостережень метеорологічних станцій північної півкулі) узгоджуються з аналогічними регіональними характеристиками для території України (за даними актинометричних спостережень метеорологічних станцій України). Ці дані підтверджують тривалий процес релаксації стратосферного аерозолі до фонових показників, у формування яких, починаючи з 1950-1960 рр., вносить значний вклад антропогенна складова.

Порівнюючи хронологічний розподіл прямої сонячної радіації та факторів, від яких залежить її надходження на підстильну поверхню, а саме: сонячної активності, вулканічної діяльності та антропогенного фактора, визначалася значимість кожного з них.

Вплив сонячної активності на пряму сонячну радіацію

Мірою надходження кількості променистої енергії Сонця на верхню межу атмосфери є сонячна постійна. Коливання сонячної постійної мають трендові компоненти та квазіперіодичні складові за періодами певного часового розрізнення, але масштаб цих коливань дуже незначний. Її варіації пов'язані з сонячною активністю, а саме з її корпускулярною формою [7]. Сонячна постійна зазнає дуже незначних коливань. Її середнє значення дорівнює 1380 Вт/м^2 , середнє квадратичне відхилення становить 0,05%, а повна амплітуда між мінімумом і максимумом становить 0,4%.

Дослідження зв'язку багаторічного ходу прямої радіації та сонячної активності проводилося за порівнянням отриманого однорідного ряду спостережень полуденної потужності прямої сонячної радіації (середні дані для території України) та індексів сонячної активності, а саме відносних чисел Вольфа (рис. 2). Це порівняння показало неоднозначність та непрямолінійність зв'язку між числами Вольфа та сонячною радіацією і неспівпадання у більшості випадків екстремумів в рядах висхідних та низхідних відрізків; особливо несинхронність ходу властива періодам росту сонячної активності. Тенденція до циклічності в розподілі прямої радіації має значну часову неузгодженість з циклами сонячної активності. Кореляційний аналіз цих характеристик показав, що максимальні

коефіцієнти кореляції становлять 0,32-0,35, що відповідає похибці визначення коефіцієнта кореляції, тобто варіації сонячної постійної в коливаннях наземних спостережень прямої радіації незначимі.

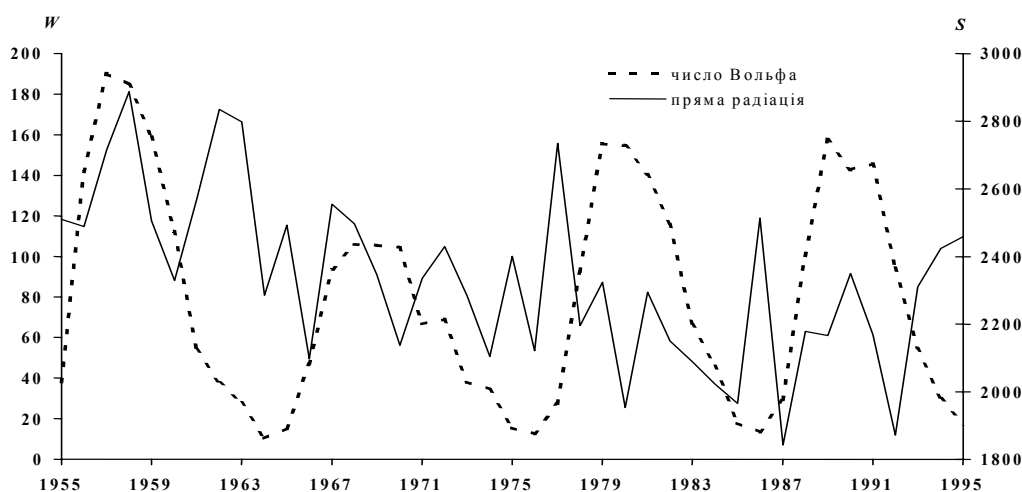


Рис. 2. Пряма сонячна радіація S (мДж/м²) та індекс сонячної активності W (число Вольфа)

Отже, вклад сонячної активності у мінливість сонячної радіації незначний і для більшості випадків теж. Після виключення змін, які спричинені впливом природних та антропогенних факторів, зв'язку між мінливістю сонячної радіації та сонячною активністю не виявлено. Можливо, це пояснюється тим гіпотетичним висновком, що вулканічна діяльність є сонцеобумовленою, і цей зв'язок перебуває у прямій залежності сонячної радіації від вулканічної діяльності.

Вплив вулканічної діяльності на пряму сонячну радіацію

Коливання сонячної радіації залежать від змін стратосферного аерозольного шару, які є наслідком оптичних аномалій після потужних вулканічних вивержень та результатом забруднення атмосфери аерозолями антропогенного походження.

Приймаючи у проведених дослідженнях багаторічних змін прямої сонячної радіації астрономічне значення сонячної постійної, яке є незмінним [6, 7], далі визначимо вплив на її інтенсивність земної атмосфери як середовища, через яке проходить променева енергія Сонця, надходячи на підстильну поверхню.

Найбільший вплив на різку зміну стратосферного аерозольного шару має вулканічна діяльність вибухового характеру, її частота і

інтенсивність викиду сірчаноокислих газів. Оптична товща фонового стратосферного аерозольного шару значно зростає. Розсіюючи та поглинаючи сонячне випромінювання, стратосферний аерозоль також поглинає зустрічне випромінювання Землі, посилюючи парниковий ефект та викликаючи зміни термічного режиму [2].

Показовими є характеристики найбільш потужних вулканічних вивержень вибухового характеру у другій половині XIX ст. та XX ст. Найсильнішими другої половини XIX-го ст. були виверження вулканів Аск'я (Іспанія) у 1875 р. та Кракатау (Індонезія) у 1883 р., коли висота газопопелової колони досягала 35-80 км, а маса вивержених речовин - 40-55 Мт. У XX ст. найбільш потужними були виверження вулканів Катмай (Аляска, 1912 р.), Агунг (Індонезія, 1963 р.) та Ель-Чичон (Мексика, 1982 р). Висота газо-попелової колони досягала 15-70 км, а маса вивержених речовин – 23-30 Мт. Ця вулканічна діяльність спричинила різке збільшення оптичної товщі стратосферного аерозольного шару, а внаслідок оптичної аномалії атмосфери, яка спостерігалася протягом декількох років після кожного потужного виверження, відбувалося зниження прозорості атмосфери (підвищення мутності), різке послаблення прямої радіації та, гіпотетично, посилення парникового ефекту внаслідок зміни альбедо та поглинутої радіації Землі. Відгук сонячної радіації мав глобальний характер.

Реакцію атмосфери на надходження вивержених речовин, зокрема пониження її прозорості, показано на рис. 3, де наводяться характеристики вулканічних вивержень в 1950-1982 рр. (період активної вулканічної діяльності) та інтегральний фактор мутності (середні дані для території України) в цей період. Простежується прямий зв'язок між цими характеристиками та узгодженість їх часового ходу. Так, у 1963-1964 рр., внаслідок виверження вулкану Агунг, спостерігалася тривала оптична аномалія планетарного масштабу, яка викликала в Україні підвищення інтегрального фактора мутності від 3,02 до 3,62, тобто на 14%. У 1982-1983 рр. внаслідок виверження вулкану Ель-Чичон спостерігалася різке підвищення мутності атмосфери, коли інтегральний фактор мутності збільшився від 3,26 до 4,22, тобто на 26 %.

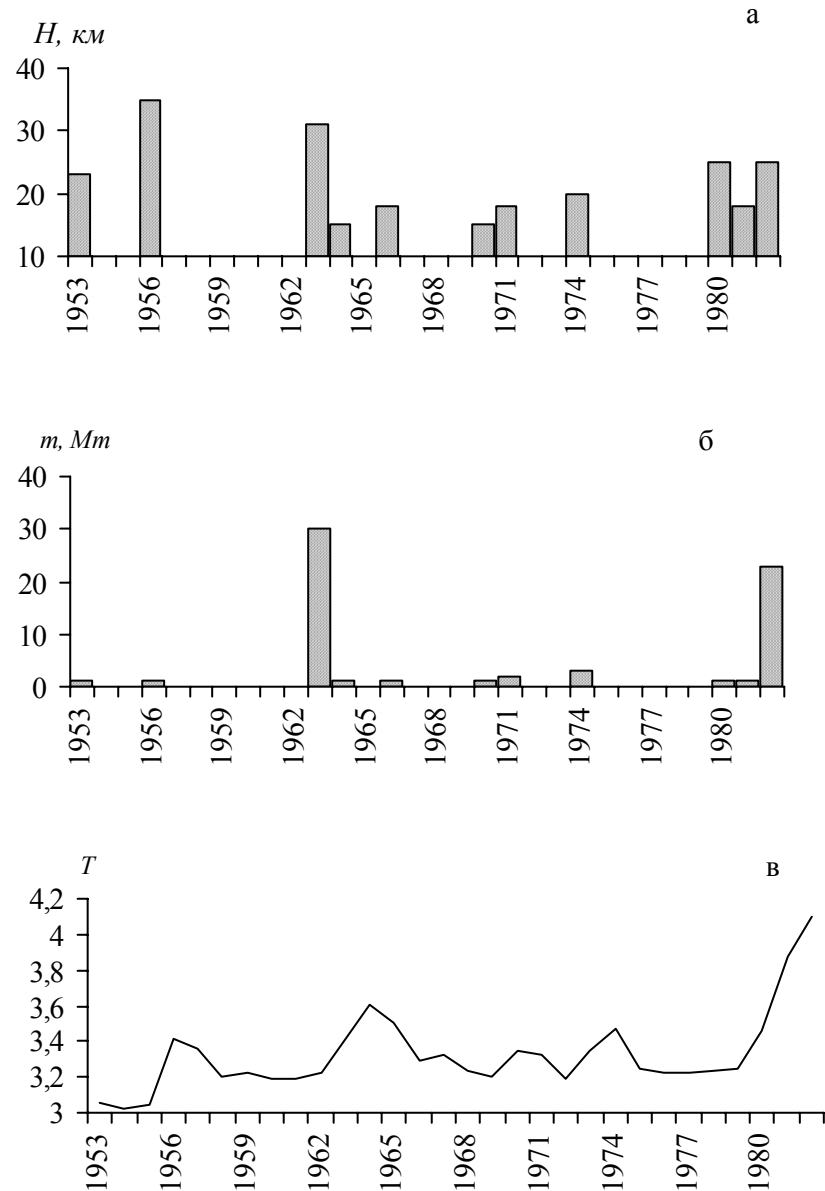


Рис. 3. Характеристики вулканічних вивержень та інтегральний фактор мутності: а – висота газо-попелової колони, H (км); б – маса вивержених речовин, m (Мт); в – інтегральний фактор мутності, T

Чутливість короткохвильової радіації до зміни оптичної товщі стратосферного аерозольного шару внаслідок вулканічної діяльності показано на рис. 4, де наводиться аномалія полуденної інтенсивності прямої та розсіяної радіації відносно стандартної кліматичної норми (1960-1990 рр.). Спостерігалось різке послаблення прямої радіації в 1960-1965 рр. та в 1980-1985 рр., коли її аномалія досягала 10-15%. Часовий хід

розсіяної радіації мав протилежний характер, оскільки відбувалась інтенсифікація процесів розсіяння сонячного випромінювання внаслідок збільшення розсіюючої маси, а її аномалія відносно стандартної кліматичної норми у період вивержень досягала 30- 40%. Таким чином, порівняння хронології змін прямої сонячної радіації та характеристик вулканічних вивержень показало, що різке пониження прозорості атмосфери внаслідок збільшення стратосферного аерозольного шару викликало в свою чергу зменшення інтенсивності прямої радіації [1, 2, 5].

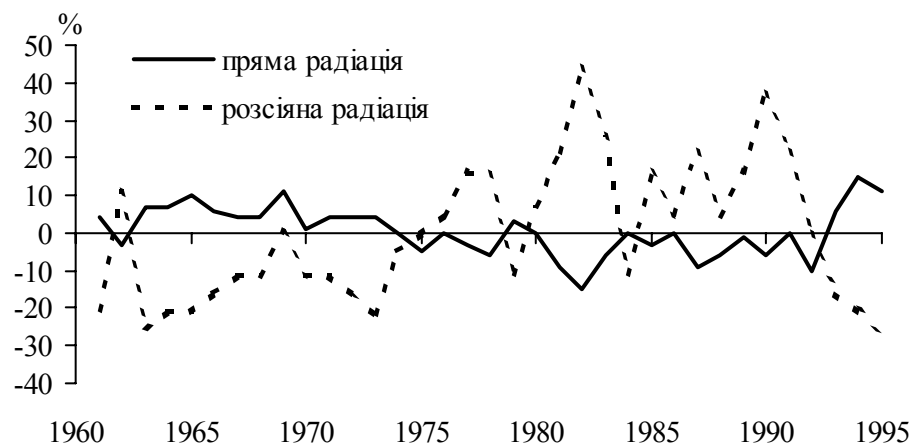


Рис. 4. Аномалія (%) інтенсивності прямої розсіяної радіації, м. Одеса

Вплив антропогенних факторів на пряму сонячну радіацію

Наведені вище результати досліджень вікового ходу прямої сонячної радіації показують сумісний вплив на неї природних та антропогенних факторів. Він проявляється в її короткоперіодичних різких змінах в результаті активної вулканічної діяльності та в поступовому монотонному зменшенні прямої радіації внаслідок дії антропогенного аерозолі, яке має повсюдний характер та стійку тенденцію. Саме вплив антропогенного фактора формує стійкий від'ємний тренд вікового ходу прямої радіації [3, 4, 6].

Якісну оцінку впливу антропогенних факторів можна отримати, якщо порівняти дані спостережень за прямою сонячною радіацією на рівнинних S_p та гірських S_g станціях. Підставою для такого порівняння є те, що надходження прямої радіації в рівнинних умовах сформовано сумісним впливом природного та антропогенного факторів, а в гірських умовах вплив антропогенного фактора на сонячну радіацію мінімальний.

Аналіз змін прямої радіації за синхронні проміжки часу на рівнинних та гірських станціях свідчить про значний вплив антропогенного фактора в рівнинних умовах. Звичайно, така оцінка є дещо наближеною, однак, фізично досить обґрунтованою. Порівнюючи результати актинометричних спостережень за окремі однорідні періоди на рівнинних та гірських метеорологічних станціях України, можна зробити висновок, що тенденція зменшення приходу прямої радіації в рівнинних умовах спричинена, крім природних факторів, впливом антропогенного аерозолі, який має великомасштабний характер.

Однак при порівнянні актинометричних спостережень станцій, розташованих у рівнинних умовах, але в зонах різного антропогенного навантаження, на фоні загального послаблюючого впливу забруднення атмосфери на пряму сонячну радіацію в промислових містах спостерігається додаткове послаблення внаслідок урбанізації. Для виявлення впливу урбанізації проводилося порівняння рядів прямої радіації в зонах різного антропогенного навантаження, а саме - особливостей надходження прямої радіації двох станцій: перша – у промисловому центрі, друга – фонові. Ілюстрацією змін прямої радіації як глобального, так і локального характеру, є табл. 1, в якій представлено показники її втрат у районах підвищеного антропогенного впливу, тобто у промислових центрах порівняно з фоном.

Приймаючи значення прямої радіації у фоновому пункті за 100%, оцінюється часова мінливість цих втрат. Часовий ряд, прийнятий ВМО для визначення стандартної кліматичної норми, розділено на два періоди (1961-1975 рр., 1976-1990 рр.), які відрізняються ступенем забруднення атмосфери внаслідок антропогенного впливу.

Вплив локального забруднення атмосфери окремого промислового міста проявляється на фоні загальної тенденції зростання послаблюючої ролі антропогенного фактора. Втрати полуденної інтенсивності прямої радіації змінюються протягом року досить істотно. У річному ході цієї характеристики на півночі України відмічається максимум у зимові місяці для обох періодів, що пояснюється особливостями циркуляції атмосфери та розподілом концентрації аерозолів. Втрати прямої радіації в умовах промислового міста досягають у 1961-1975 рр. 4-7 % взимку та 2-3% влітку. У 1976-1990 рр. вплив локального забруднення атмосфери зростає - втрати прямої радіації в містах збільшуються до 9-12 % в осінньо-зимовий період та до 4-5 % у літній.

Свідченням послаблюючого впливу урбанізації є дані табл. 2, де представлено характеристики загального послаблення прямої сонячної радіації (ΔS) та його аерозольної складової (ΔSa) для зазначених вище періодів в Одесі та Херсоні і у фонових пунктах (відповідно, Болград і Асканія-Нова).

Таблиця 2

Загальне послаблення прямої сонячної радіації атмосферою (ΔS) та його аерозольна складова (ΔSa)

Станція	1961-1975 pp.		1976-1990 pp.	
	ΔS	ΔSa	ΔS	ΔSa
Одеса	0,64	0,24	0,74	0,32
Болград	0,67	0,24	0,71	0,28
Херсон	0,64	0,23	0,71	0,29
Асканія-Нова	0,63	0,21	0,68	0,26

Вплив локального забруднення промисловими викидами проявляється у додатковому послабленні прямої радіації. Відносне зростання загального послаблення прямої радіації та його аерозольної складової в містах свідчить про стійку тенденцію зростання послаблюючого радіаційного ефекту аерозолі антропогенного походження.

Висновки

1. Зв'язок між сонячною активністю та прямою радіацією нівелюється спрямованим переважаючим впливом геоактивності (впливом земної атмосфери), у тому числі послабленням сонячної радіації за рахунок антропогенних факторів.

2. Короткоперіодні зміни, яких зазнає пряма сонячна радіація внаслідок коливань стратосферного аерозольного шару, пов'язаних з вулканічною діяльністю, досить різкі, досягають в окремі роки 15-20 % і мають планетарний масштаб.

3. Вплив антропогенного фактора формує стійкий від'ємний тренд вікового ходу прямої радіації. Локальне забруднення атмосфери в промислових містах спричиняє більше послаблення прямої радіації, оскільки в містах відбувається процес накопичення в атмосфері аерозолі антропогенного походження.

* *

Рассмотрены особенности векового хода прямой солнечной радиации и ее региональные изменения под влиянием природных и антропогенных факторов. Исследована связь изменений прямой солнечной радиации с солнечной активностью, вулканической деятельностью и антропогенными факторами.

* *

1. *Асатуров М.Л.* Климатические последствия крупных вулканических извержений // Метеорология и гидрология. -1993. - №8. - С. 48-54.

2. *Будыко М.И.* Влияние извержений вулканов на климат // Метеорология и гидрология. - 1984. - №3. - С. 5-11.

3. *Кондратьев К.Я.* Проблемы климата и роль радиационных исследований // Достижения в области гидрометеорологии и контроля природной среды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - С. 57-97.

4. *Кондратьев К.Я.* Радиационные факторы современных изменений глобального климата. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 280 с.

5. *Морозова И.В., Мясников Г.Н.* Изменение возможной суммарной солнечной радиации на земной поверхности // Метеорология и гидрология. - 1997. - №10. - С. 38-48.

6. *Пивоварова З.И.* Радиационные характеристики климата СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. - 336 с.

7. *Эйгенсон М.С.* Солнце, погода и климат. - Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 274 с.

Таблиця 1

Втрати інтенсивності прямої сонячної радіації (%) в містах відносно фонових умов

Станція	Період, роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Полтава	1961-1975	3,2	4,2	7,0	3,5	4,0	3,2	1,1	4,2	4,2	5,3	4,2	6,5
	1976-1990	7,0	7,2	10,0	7,2	2,2	1,0	2,3	7,2	6,7	7,6	14,2	17,2
Херсон	1961-1975	1,8	4,5	3,8	2,8	2,1	2,8	2,6	3,1	3,0	6,1	6,8	5,1
	1976-1990	2,3	8,0	5,8	3,6	2,9	4,8	4,2	4,6	4,8	6,3	7,1	7,8
Одеса	1961-1975	6,4	3,1	2,8	4,1	2,6	1,1	1,8	1,9	5,4	8,1	6,0	6,2
	1976-1990	9,0	4,8	3,8	5,2	4,6	3,8	4,4	4,3	6,8	12,0	7,8	8,0