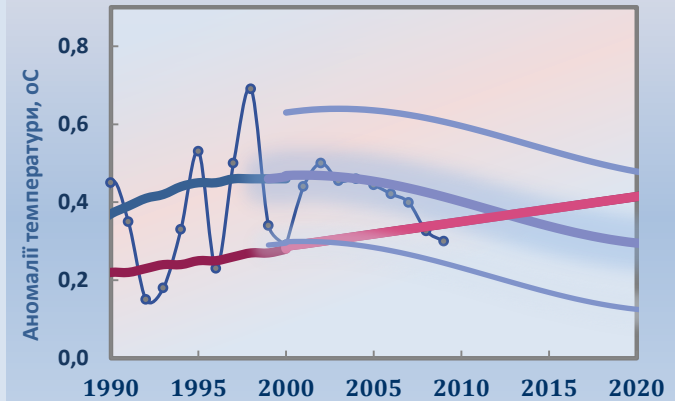
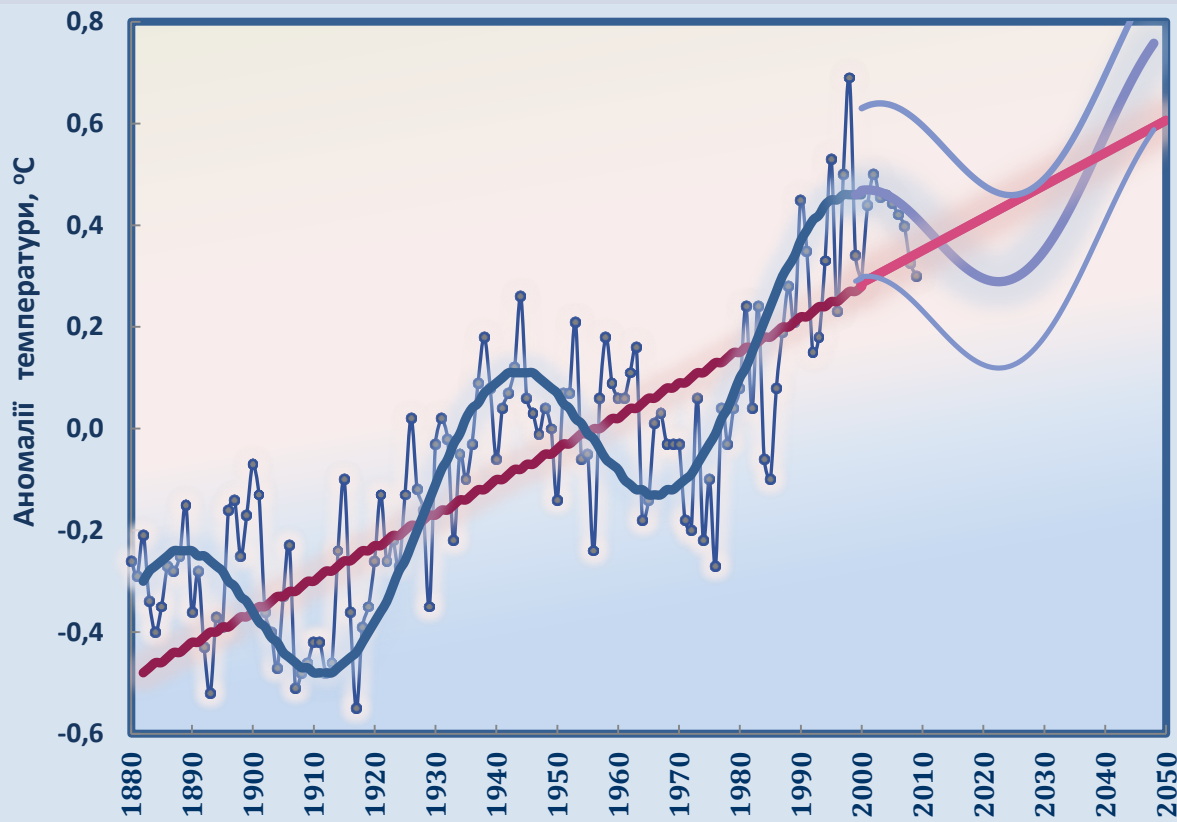


The semi-empirical model and scenarios climate changes (global and regional aspects)

Voloshchuk Volodymyr M.¹, Boychenko Svitlana G.²

- (1) Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, Kyiv, Ukraine,
- (2) Institute of Geophysics by S.I. Subbotin name, Kyiv, Ukraine

Віковий хід глобальної приземної температури період 1880-2009 рр. и сценарні оцінки для періоду 2000-2050 рр.



Напівемпірична модель сучасного вікового ходу глобальної середньорічної приземної температури та сценарії

$$\Delta T(t) = \Gamma_G (t - t_0) + A_G \{1 - \cos 2\pi(t - t_0) / \tau_G\}, \quad t_0 = 2000 \text{ рр.}$$

$$\Gamma_G \approx (0,50 - 0,65) \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{рік}, \quad A_G \approx 0,14 - 0,17 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \tau_G \approx 58 \pm 3 \text{ років}$$

ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ ЗАКОН ДИНАМИКИ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Идея Tyndall (1861): CO₂ вместе с H₂O интенсивно поглощает длинноволновое излучение земной поверхности, а поэтому изменения содержания CO₂ могут приводить к вариациям глобальных климатических условий

Идея Callendar (1938): температура нижнего слоя воздуха резко реагирует на вариации содержания CO₂ при сравнительно низких его концентрациях и значительно слабее при высоких концентрациях.

Существование логарифмического закона динамики приземной температуры при вариациях содержания CO₂ в атмосфере

(Manabe and Wetherald (1967), Augustsson and Ramanathan (1977)):

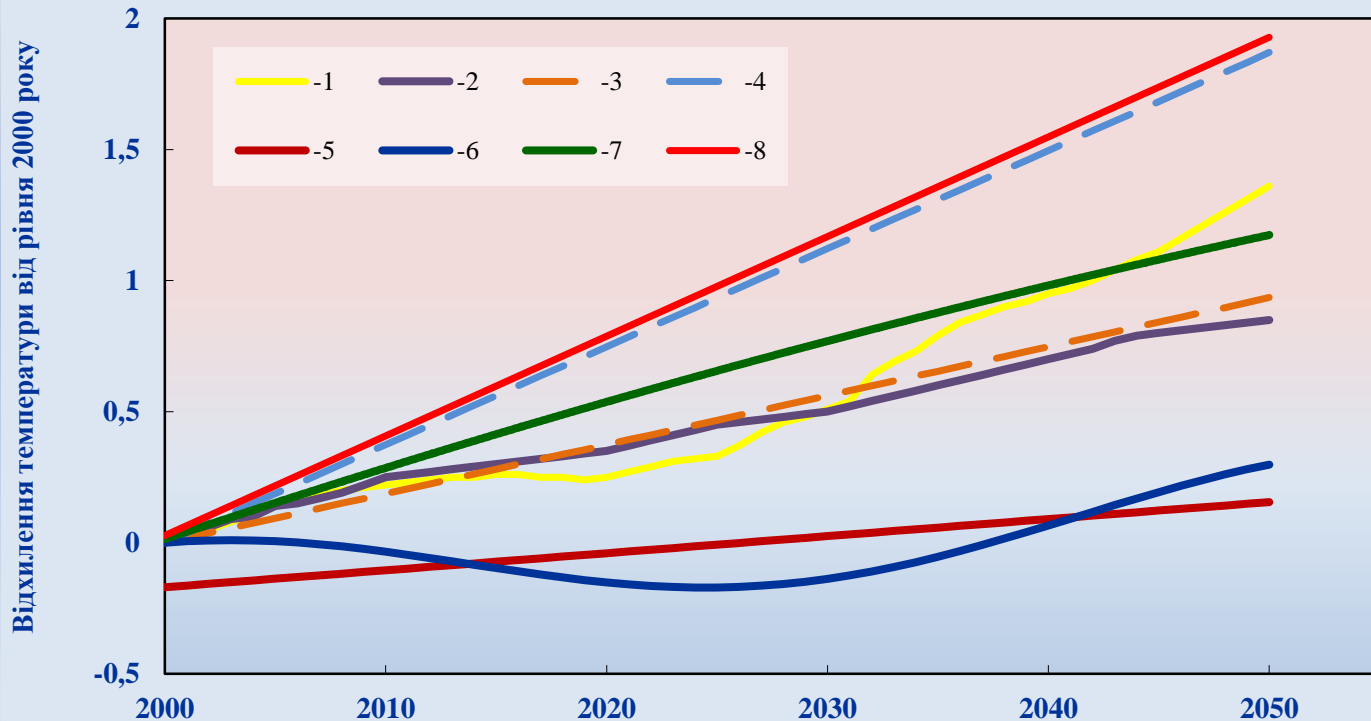
$$\Delta T \approx a \ln \frac{\nu}{\nu_0}, \quad \nu > 280 \text{ млн}^{-1} \quad a = \frac{\Delta T_{1/2}}{\ln 2} \quad \Delta T_{1/2} = 3 \pm 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

ν – содержание углекислого газа в атмосфере в момент времени, который рассматривается,

ν_0 – содержание углекислого газа для уровня глобальной температуры, от которого отсчитывается ΔT ,

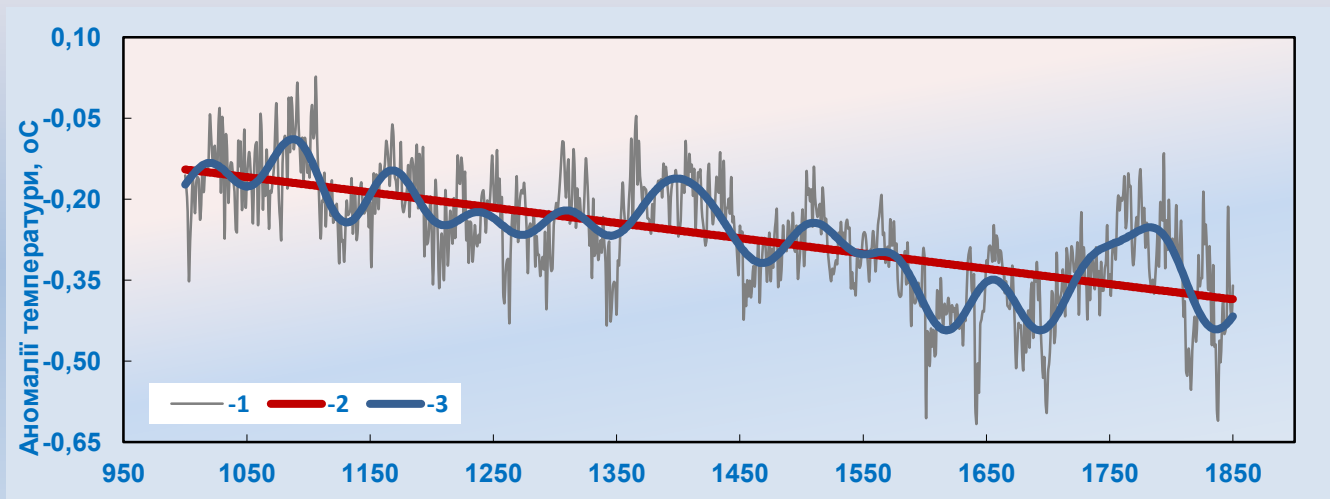
a – некоторая константа, оценку которой получают на основе модельных и эмпирических данных

Сценарії можливих змін глобальної середньорічної приземної температури для першої половини XXI ст.



- 1 і 2 – сценарії Інституту Макса Планка, основані на математичних кліматичних моделях (відповідно, без врахування і з врахуванням впливу аерозольної складової атмосфери);
3 і 4 – розрахунки за логарифмічним законом залежності аномалій температури від варіацій вмісту CO_2 в атмосфері для двох граничних значень $\Delta T_{1/2} - 1,5$ і $4,5$ °C;
5 – екстраполяція лінійного тренду XX ст.,
6 – напівемпірична модель (екстраполяція тенденцій XX ст.: лінійний тренд + квазіперіодичне коливання в гармонічному наближенні);
7 і 8 – сценарії IPCC, 2007.

Віковий хід середньорічної температури в останньому тисячолітті у Північній півкулі для усередненого ряду



1 – емпіричні дані, 2 – лінійний тренд, 3 – апроксимація

Напівемпірична модель вікового ходу температури в Північній півкулі для періоду 1000-1850 рр. (для усередненого ряду)

$$\delta T(t) \approx x(t), \quad x(t) = x_\gamma(t) + x_G(t) + x_L(t) + \varepsilon(t) \quad \text{при} \quad 1000 \leq t \leq 1850, \quad x_\gamma(t) = \langle \delta T(t) \rangle + \gamma [(t - t_o) - \tau / 2],$$

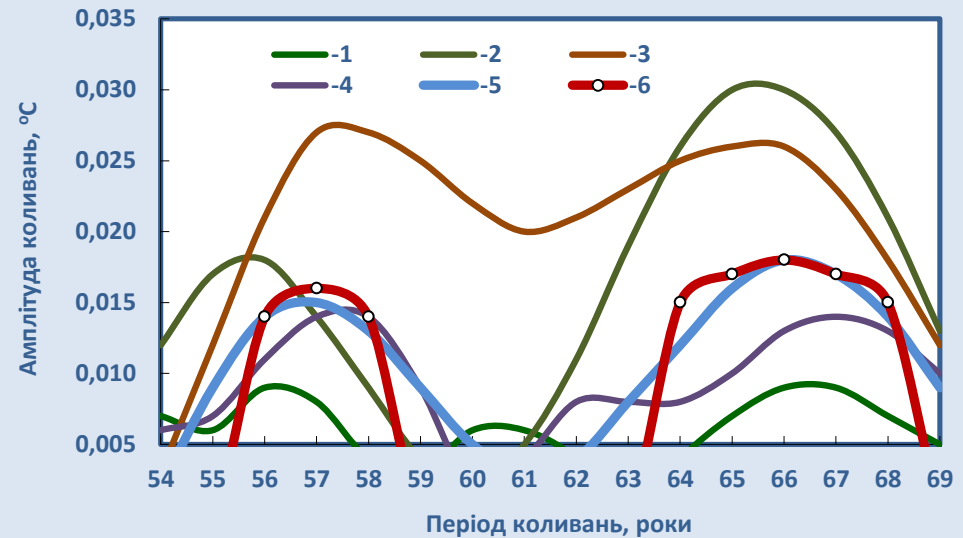
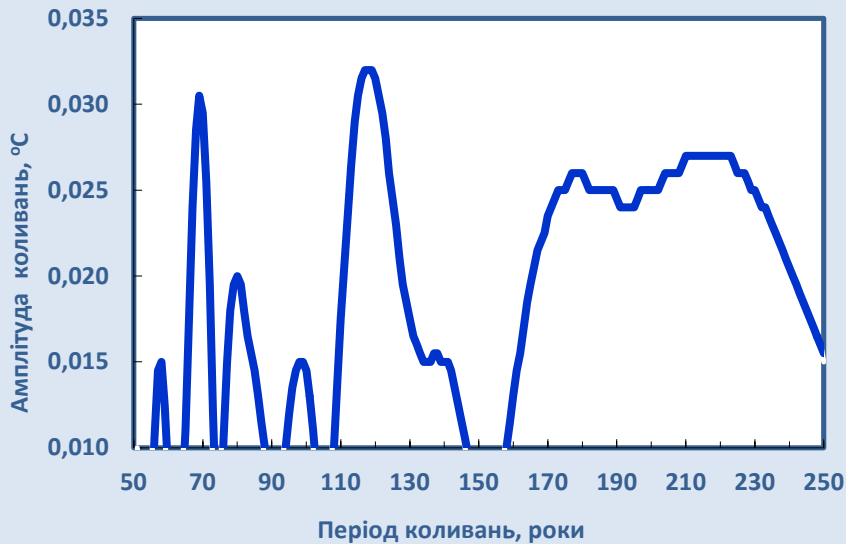
$$\text{де } t_o = 1000 \text{ рік} \quad \text{і} \quad \tau = 851 \text{ років}, \quad x_G(t) = \sum_{(1 \leq k \leq 12)} \{a_k \sin [2\pi(t - t_o) / \tau] + b_k \cos [2\pi(t - t_o) / \tau]\},$$

де $\langle \delta T \rangle$ – середнє значення аномалій температури за період 1000-1850 рр., x_γ – складова, що враховує вплив тренду температури з коефіцієнтом γ , x_G – тригонометричний ряд Фур'є з коефіцієнтами a_k і b_k , що описує великомасштабні коливання температури (з періодами, що перевищують $\tau/12$, тобто, приблизно, 70 років), x_L – складова, що описує вплив порівняно дрібномасштабних коливань (з періодами, меншими $\tau/12$), ε – випадкова (скоріш всього, дельта-корельована) функція, що враховує як випадкові природні збурювання, так і випадкові похибки, допущені при відновленні температури в тому чи іншому році, t – номер року, τ – кількість років у проміжку часу, що розглядається.

**Основні статистичні характеристики розглянутих
емпіричних рядів вікового ходу температури
Північної півкулі для останнього тисячоліття (1000-1850 pp.)**

Характеристика	Jones et al.,	Mann et al.	Briffa et al.	Crowley	Усереднений ряд
Середня аномалія температури, °C	-0,317	-0,292	-0,187	-0,264	-0,265
Коефіцієнт лінійного тренду температури, °C/10 ³ років	-0,528	-0,169	-0,191	-0,244	-0,283
Середнє квадратичне відхилення емпіричного ряду, °C	0,162	0,132	0,102	0,163	0,107
Середнє квадратичне відхилення від лінійного тренду, °C	0,097	0,125	0,090	0,151	0,082
Середнє квадратичне відхилення від лінійного тренду + Фур'є-ряду з врахуванням перших 12-и гармонік, °C	0,054	0,105	0,081	0,135	0,063

Різнопериодні коливання температури в останньому тисячолітті



Амплітудний фур'є-спектр температури для Північної півкулі в останньому тисячолітті (для усередненого ряду)

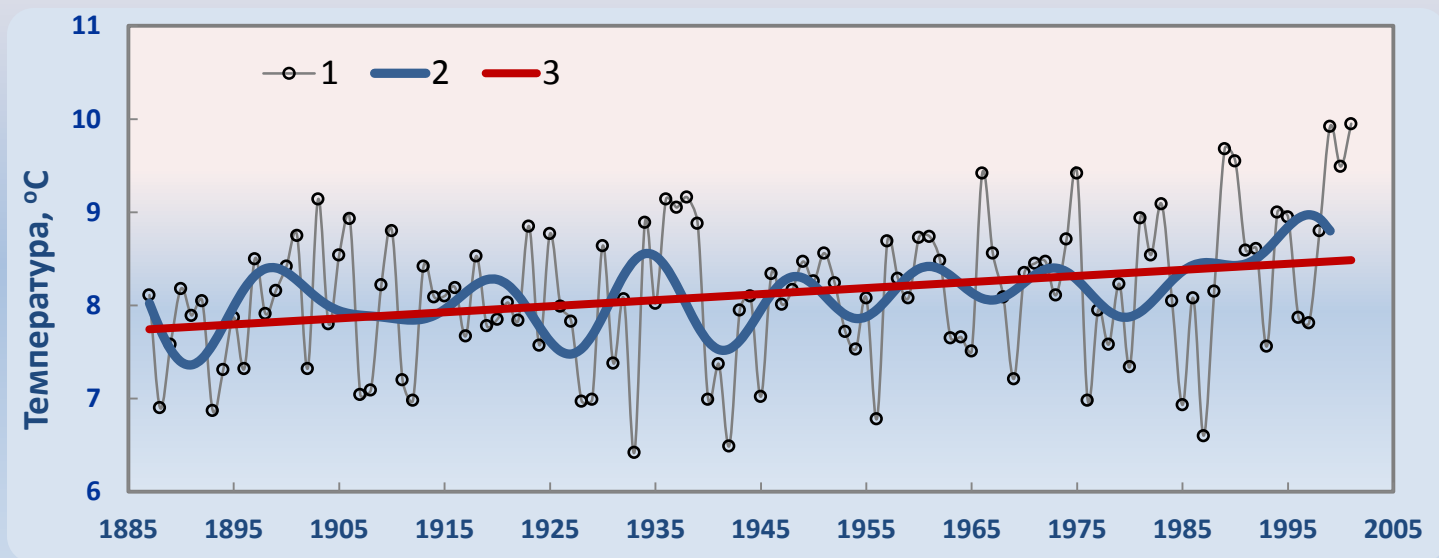
Ділянка Фур'є-спектру температури в Північній півкулі в останньому тисячолітті з періодом коливань 54-69 для рядів:
1 – Jones et al., 2 – Mann. et al., 3 – Briffa et al.,
4 – Crowley, 5 – усереднений ряд,
6 – розрахунок по моделі

Встановлено, що для вікового ходу температури останнього тисячоліття було характерно:

- практично лінійне великомасштабне зниження температури (з темпом $\sim 0,28 \pm 0,07$ °C/10³ років), пов'язане, найбільш ймовірно, зі зменшенням ексцентриситету земної орбіти;
- великомасштабні квазіперіодичні коливання температури з періодом 200 ± 25 років, що розвивались на фоні цього лінійного зниження температури, а саме: 1) потепління в ранньому середньовіччі – малий кліматичний оптимум, 2) похолодання в пізньому середньовіччі – малий льодовиковий період;
- більш меншого масштабу квазіперіодичні коливання приземної температури з періодами $\sim 57 \pm 1$ і 66 ± 2 років, а також $\sim 100 \pm 3$, 120 ± 10 .

Реакція кліматичних умов Україна на глобальне потепління

Віковий хід приземної температури рівнинної частини території України за період 1885-2000 рр.

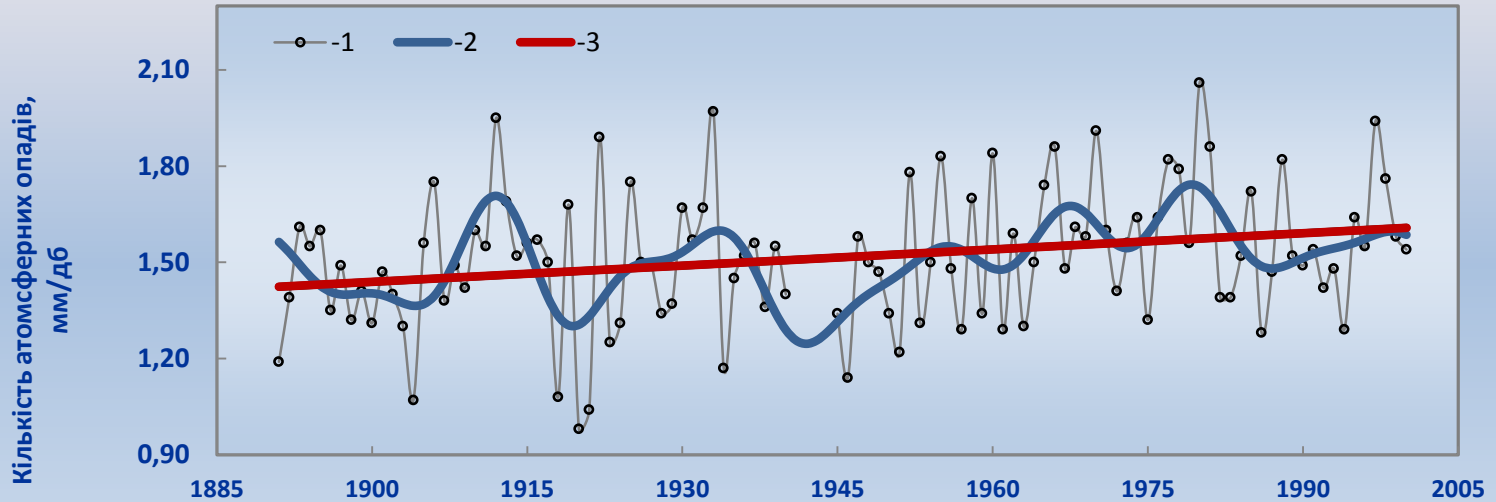


1 – емпіричні данні, 2 – модельні розрахунки, 3 – лінійний тренд для періоду 1900-2000 рр.

Аналіз матеріалів інструментальних спостережень на мережі метеостанцій, рівномірно розташованих на рівнинній частині території України показав, що за останні 100-120 років трансформація кліматичних умов на території України відбувається приблизно з тими ж темпами, що і в цілому на планеті, а саме :

- річна приземна температура в середньому підвищилася на $0,6 \pm 0,2$ °C/100 років;
- відбувся процес вирівнювання приземного середньорічного температурного поля: у північних і північно-східних регіонах річна температура підвищилась на $1,0 \pm 0,2$ °C за 100 років, а у південних і південно-західних регіонах – лише на $0,5 \pm 0,1$ °C за 100 років.

Віковий хід кількості атмосферних опадів рівнинної частини території України за період 1891-2000 рр.

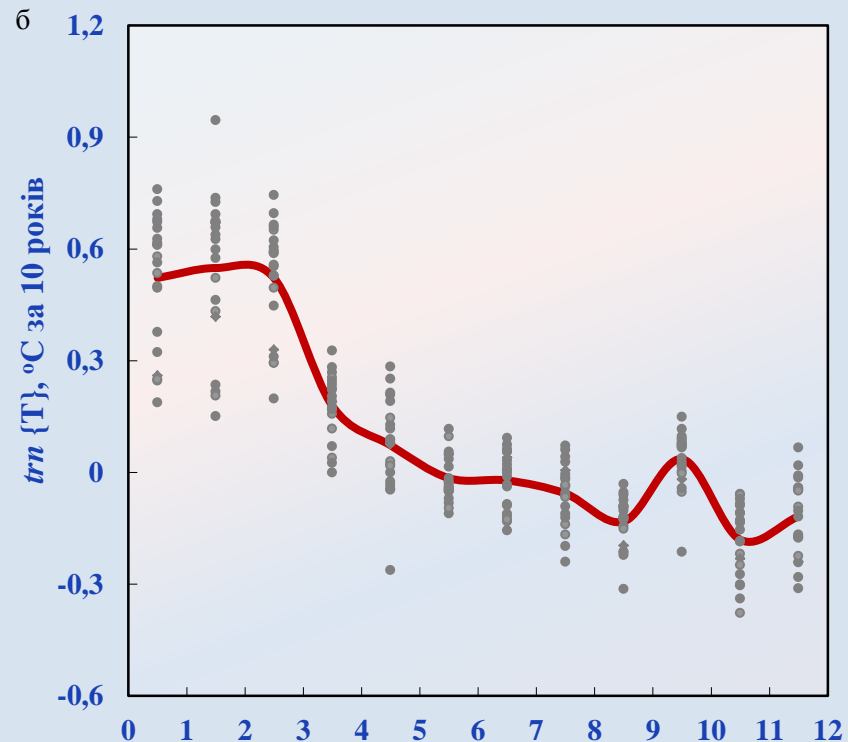
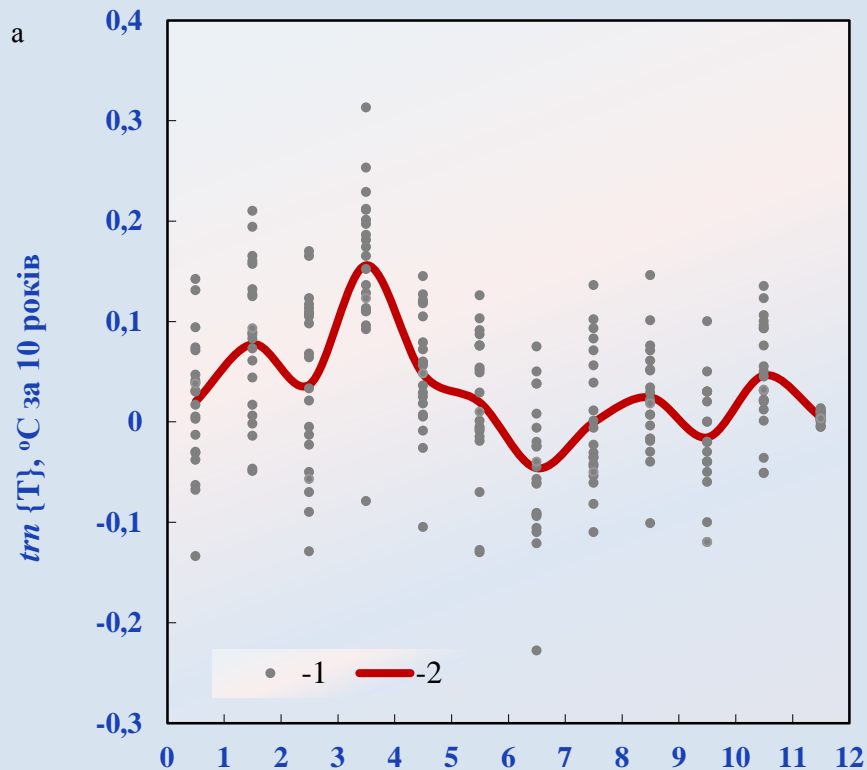


1 – емпіричні дані, 2 – модельні розрахунки, 3 – лінійний тренд для періоду 1900-2000 рр.

Таким чином, відбулись наступні зміни у сучасному віковому ході атмосферних опадів на рівнинній частині території України:

- загальна річна кількість атмосферних опадів змінилася мало (**підвищення в межах $6\pm 3\%$**);
- загальне вирівнювання кліматичного поля річних сум опадів. В північно-західних регіонах України, де річна сума опадів була відносно високою (**650-750 мм/рік**), вона зменшилась приблизно на **10-15%**, а в південно-східних регіонах, де річна сума опадів була відносно низькою (**350-450 мм/рік**) – вона підвищилась приблизно на **10-15%**;
- зростання кількості атмосферних опадів в деякі місяці літнього сезону в північно-західних регіонах, і, навпаки, їх зменшення для цих місяців у південних і південно-східних регіонах;
- локалізоване з часом зниження кількості опадів для деяких місяців перехідних сезонів: весняний сезон – травень; осінній сезон – друга половина вересня – перша половина жовтня.

Тенденції у сезонному ході приземної температури на території України:



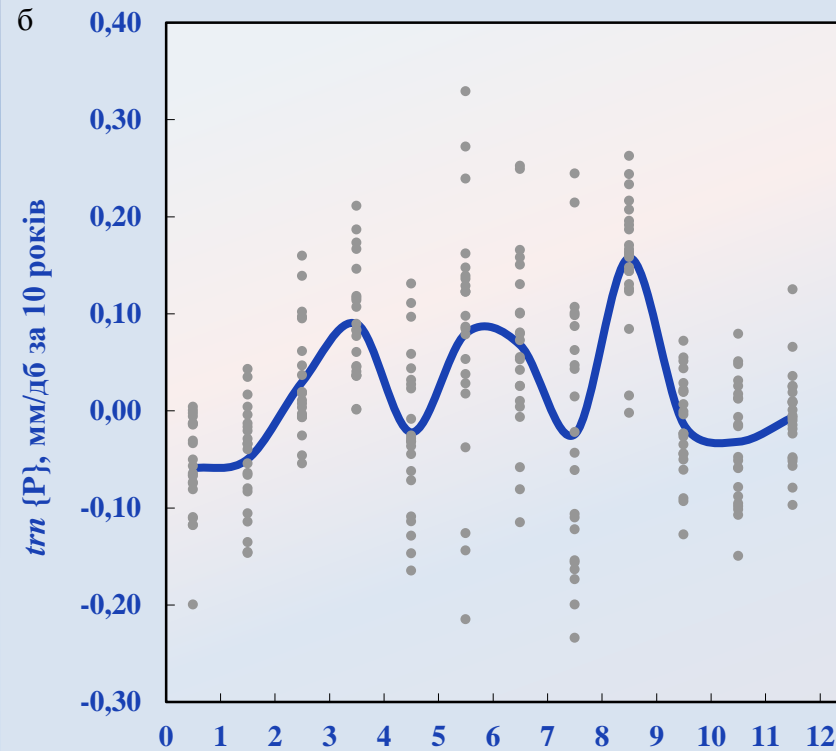
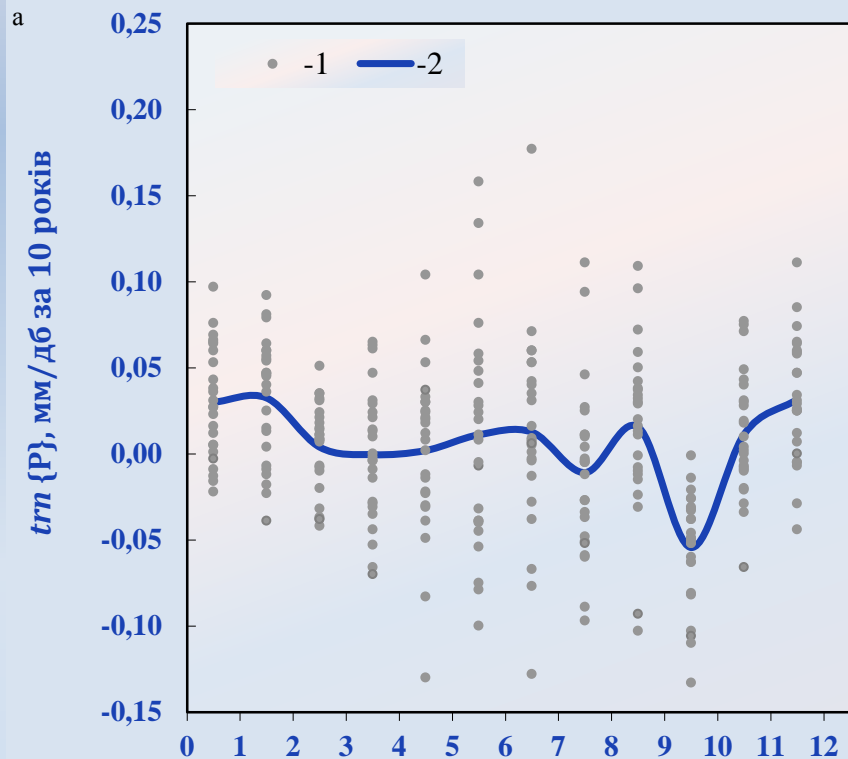
а – усереднені оцінки для періоду 1900-1990 рр.,

б – усереднені оцінки для періоду 1950-2000 рр.,

1 – значення для окремих метеостанцій,

2 – значення, усередненні для всієї рівнинної частини території України

Тенденції у сезонному ході атмосферних опадів на території України:



а – усереднені оцінки для періоду 1900-1990 рр.,

б – усереднені оцінки для періоду 1950-2000 рр.,

1 – значення для окремих метеостанцій,

2 – значення, усередненні для всієї рівнинної частини території України

Напівемпірична модель та сценарії трансформації кліматичних полів приземної температури та атмосферних опадів на рівнинній частині території України

$$\Omega(\varphi, \lambda, h; t_s, t) = nrm\{\Omega\} + trn\{\Omega\}(t - t_o) + var\{\Omega\} \cdot \varepsilon\{\Omega\}$$

$$\Psi(t, \lambda, h; t_s) \rightarrow (nrm\{\Omega\}, trn\{\Omega\}, var\{\Omega\}), \quad \Psi = \Psi_o + \Psi_s, \quad \Psi_s = \Psi_1 + \Psi_{1/2},$$

$$\Psi_1 = a_c \cos\left(2\pi \frac{t_s}{\tau_o}\right) + a_s \sin\left(2\pi \frac{t_s}{\tau_o}\right), \quad \Psi_{1/2} = b_c \cos\left(4\pi \frac{t_s}{\tau_o}\right) + b_s \sin\left(4\pi \frac{t_s}{\tau_o}\right)$$

$$G(\varphi, \lambda, h) \rightarrow \{\Psi_o, a_c, a_s, b_c, b_s\},$$

$$G = G_o + G_\varphi(\varphi - \varphi_o) + G_\lambda(\lambda - \lambda_o) + G_h \cdot h$$

φ і λ – географічні координати місцевості (широта і довгота), h – висота місцевості над рівнем моря, t_s – сезонне время, отсчитываемое в долях года, t – время, отсчитываемое в годах (номер года), t_o – некоторый фиксированный номер года, $nrm\{\Omega\}$ – кліматическая норма, $trn\{\Omega\}$ – коэффициент линейного тренда, $var\{\Omega\}$ – статистическая оценка случайной междугодичной изменчивости среднемесячных значений Ω , $\varepsilon\{\Omega\}$ – безразмерная случайная функция, Ψ_o и Ψ_s – среднегодовое значение и сезонная составляющая Ω , зависящие от географических координат и высоты местности над уровнем моря; Ψ_1 – годовая гармоника сезонной составляющей (с периодом – один год); $\Psi_{1/2}$ – полугодовая гармоника сезонной составляющей (с периодом – полгода); τ_o – продолжительность года; t_s – сезонное время, отсчитываемое от начала года в тех же единицах, что и τ_o ; $\{a_c, a_s, b_c, b_s\}$ – функции географических координат и высоты местности над уровнем моря, G_o – среднее для рассмотренного физико-географического региона значение G , приведенное к уровню моря; G_φ – широтный градиент G (перепад на 1° широты); G_λ – долготный градиент G (перепад на 1° долготы); G_h – вертикальный градиент G (перепад на единицу высоты над уровнем моря); φ_o и λ_o – географические координаты (соответственно, широта и долгота), соответствующие с определенной точностью географическому центру U_R .

Практическое использование предложенной региональной аналитической климатической модели

Климатическая модель

Сезонное или годовое значение приземной температуры $\pm \sigma$

Сезонное или годовое значение суммы атмосферных осадков $\pm \sigma$

Прикладное использование

Восстановления климатических полей

Оценка дат перехода температуры через характерные точки

Оценка возможного развития карстовых и оползневых процессов

Оценка пространственно-временного поля метеозлементов

Валидация модели для горных условий

Агроклиматические прогнозы (сценарии)

Для агропромышленного комплекса

Для лесного хозяйства

Для оценки мелиоративной деятельности

Климатические прогнозы (сценарии)

Для энергетики

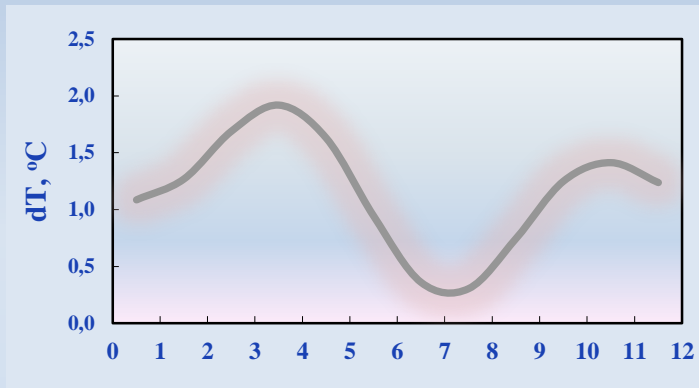
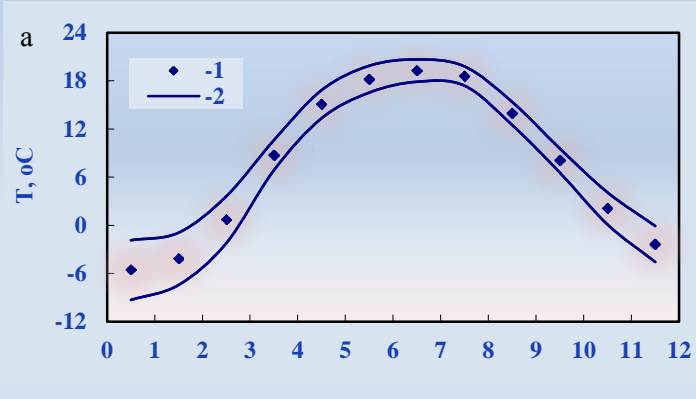
Для строительной климатологии

Для оценки водных ресурсов

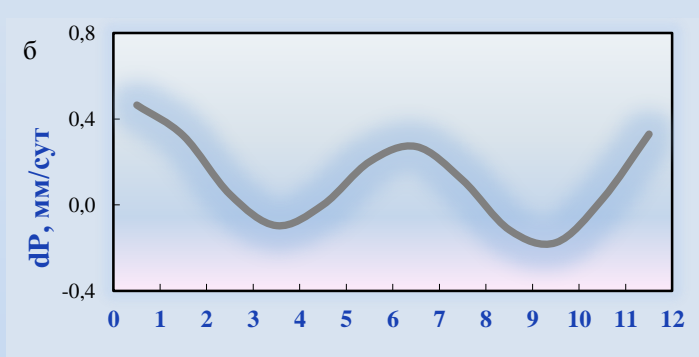
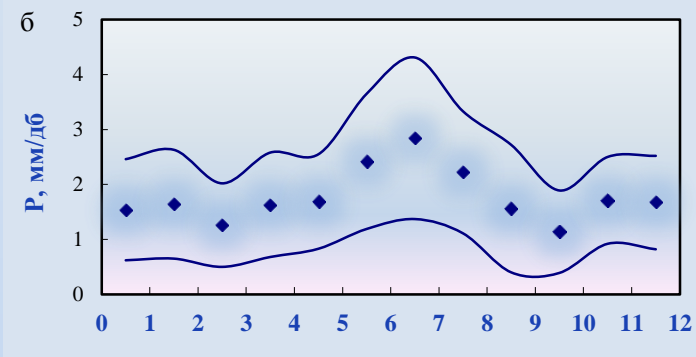
Для горной климатологии

Сценарії змін середньорічної температури та річної суми атмосферних опадів для деяких міст України при глобальному потепленні на 1,5 °C (відлік часу - від 2000р.).

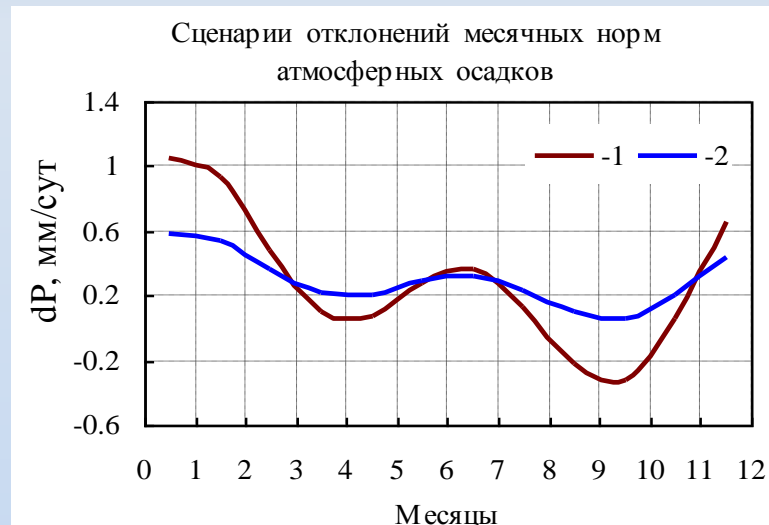
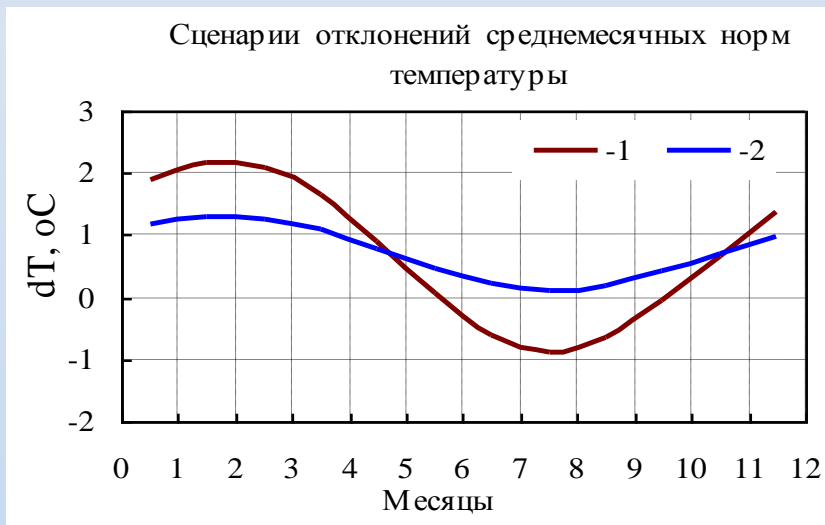
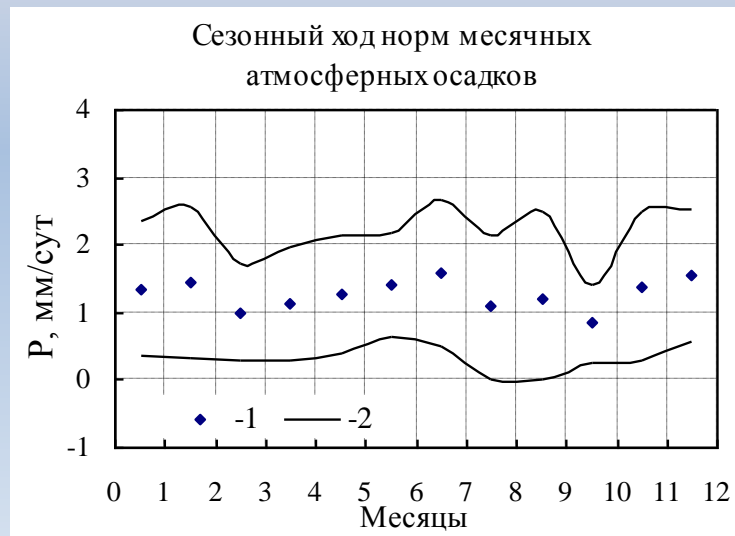
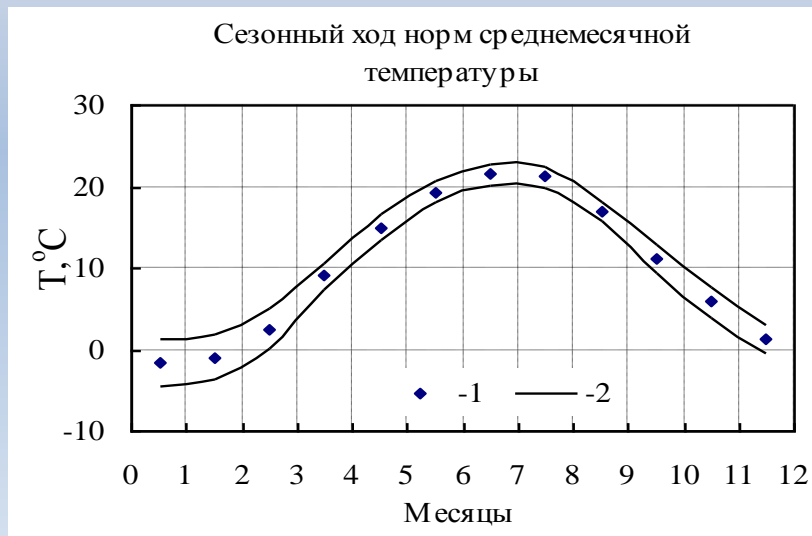
Пункт	Температура, °C			Атмосферні опади, мм/рік		
	nm	var	trn/100 років	nm	var	trn/100 років
Київ	7,72	2,08	1,15±0,2	1,78	0,99	146±29,1
Одеса	10,12	1,77	0,72±0,6	1,27	0,95	36,5±7,2
Донецьк	8,03	2,16	1,53±0,16	1,41	0,93	69,4±14,1



Kyiv

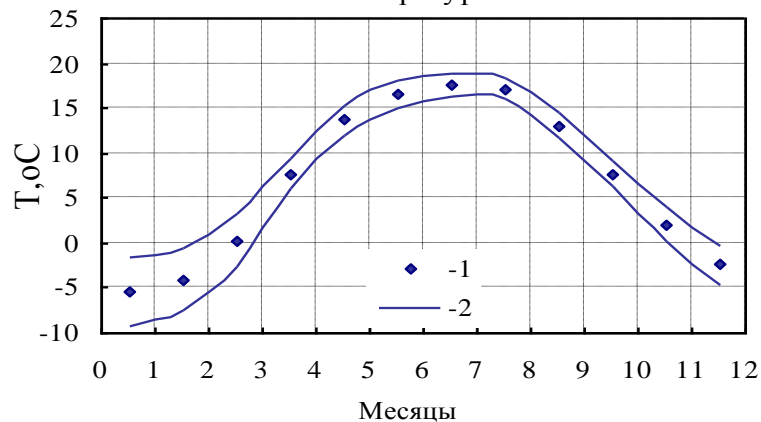


СЦЕНАРИИ СЕЗОННОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В Г. ОДЕССЕ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ НА 1,5 °С

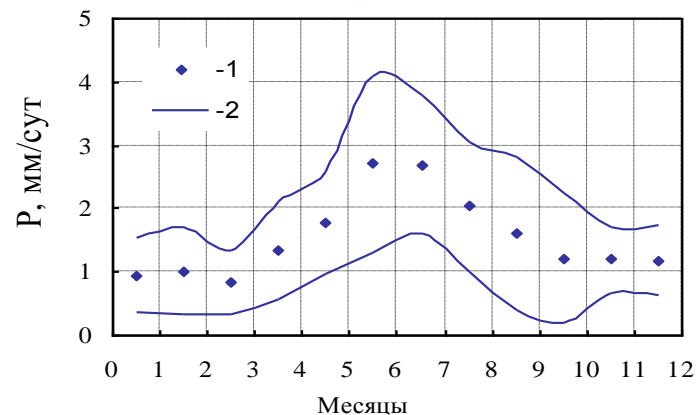


СЦЕНАРИИ СЕЗОННОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В Г. РОВНО ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ НА 1,5 °С

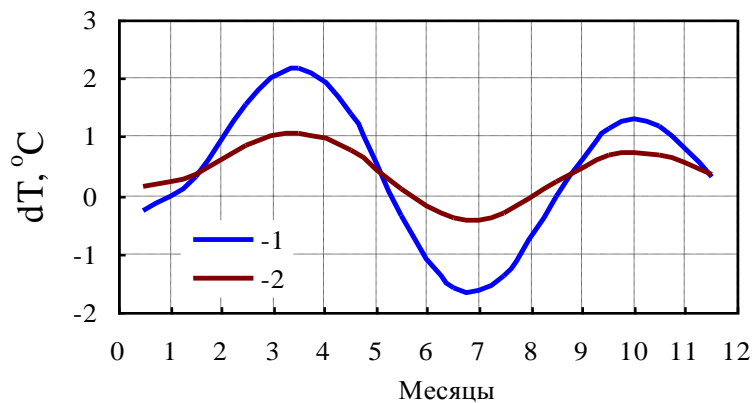
Сезонный ход среднемесячных норм температуры



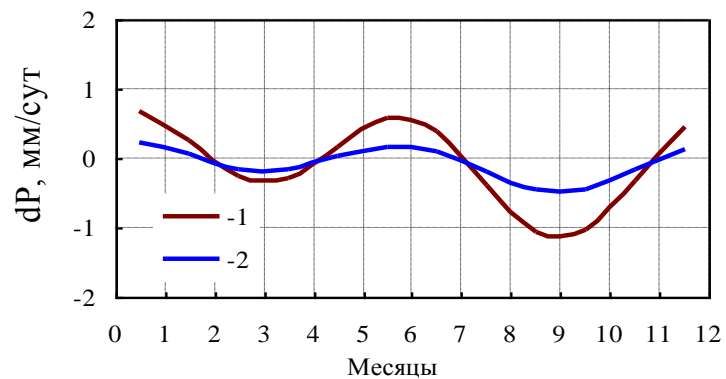
Сезонный ход месячных норм атмосферных осадков



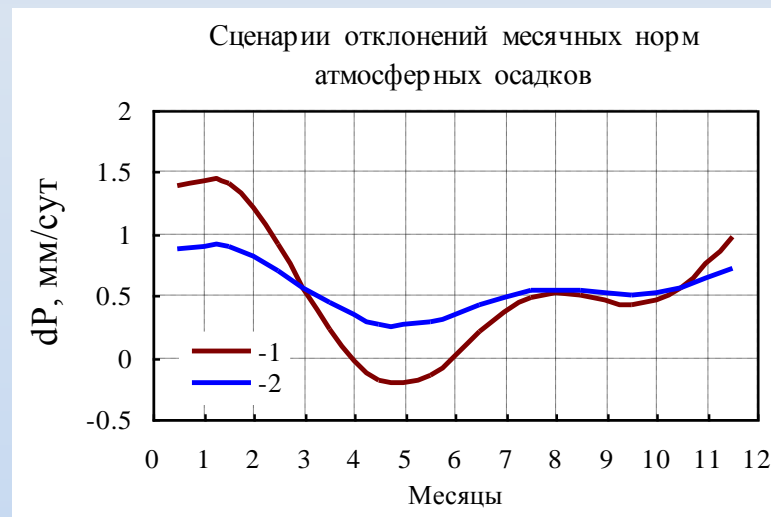
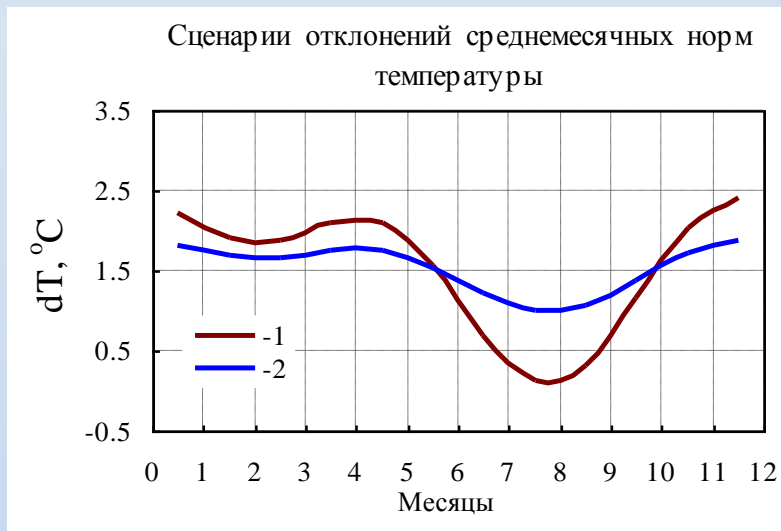
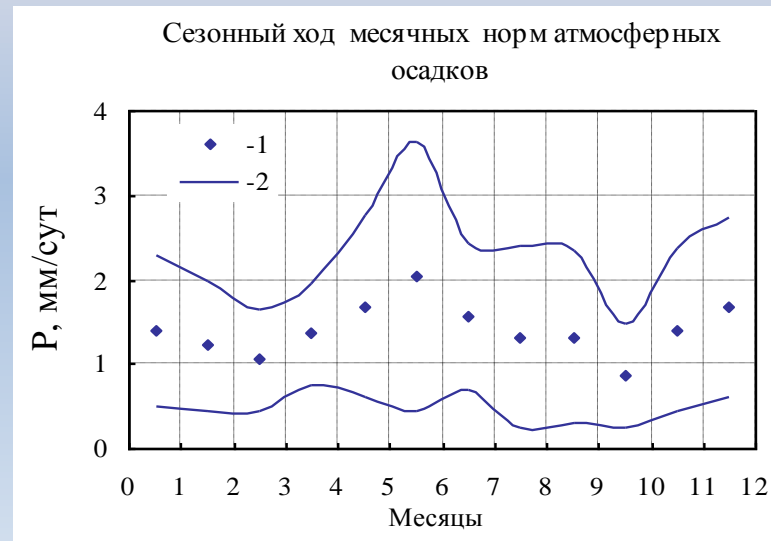
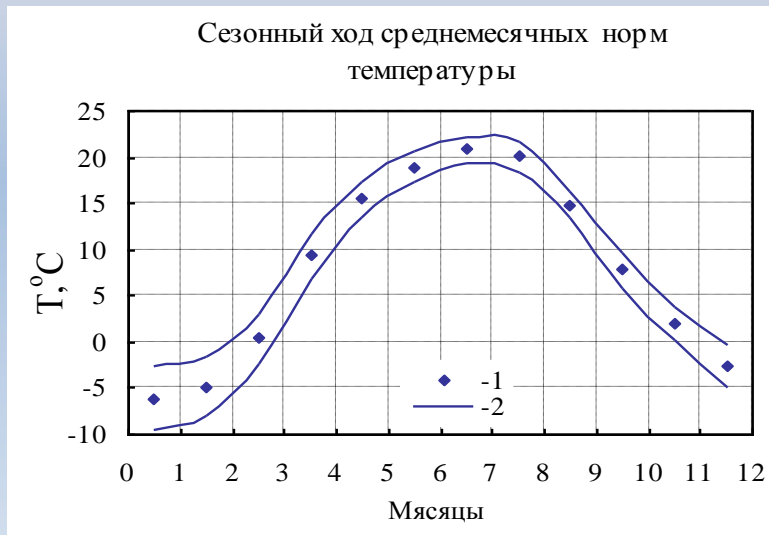
Сценарии отклонений среднемесячных норм температуры



Сценарии отклонений месячных норм атмосферных осадков



СЦЕНАРИИ СЕЗОННОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В Г. ДОНЕЦКЕ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ НА 1,5 °С



За нашими оцінками, отриманими на основі розроблених регіональних сценаріїв змін клімату, можна очікувати, що на території України до кінця 21 ст.:

- середньорічна температура підвищиться в середньому на $2,0 \pm 0,5$ °C;
- загальна кількість атмосферних опадів на всій території зросте на $15 \pm 5\%$ при рівні глобального потепління $1,5-2,5$ °C;
- продовжуватиметься поступове зниження континентальності клімату (зменшення амплітуди сезонного ходу), поки не настане ефект насичення;
- зниження кількості опадів і підвищення випаровування в південних і південно-східних регіонах України при глобальному потеплінні, більшому ніж на $2-3$ °C – через зсув північної периферії поясу субтропічних антициклонів на південні і південно-східні регіони України (цей ефект уже різко проявляється у південно-західних регіонах Європи).