

УДК: 551.582

ОБ'ЄКТИВНИЙ ВИБІР СИМУЛЯЦІЇ З АНСАМБЛЮ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

В. М. Хохлов, Е. М. Серга, Л. В. Недострелова

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

У даній статті запропоновано методику визначення оптимальної симуляції з ансамблю регіональних кліматичних моделей стосовно північно-західного узбережжя Чорного моря.

Внаслідок змін клімату, які відзначаються на території України приблизно з кінця 80-х років ХХ століття, спостерігаються зміни у різноманітних природних об'єктах. Дослідження таких змін у майбутньому можливо тільки за допомогою симуляцій глобальних або регіональних кліматичних моделей, причому чим докладніше потрібно розглянути певний, часто невеликий за розмірами, природний об'єкт, тим меншим має бути крок просторової сітки кліматичної моделі.

На узбережжі північно-західної частини Чорного моря зміни клімату характеризуються зростанням посушливості клімату та відповідним зменшенням притоку прісних вод у прибережні лимани з їхніх водозбірних басейнів, внаслідок чого екосистеми цих лиманів чутливі та вразливі до змін клімату. Дослідження впливу змін клімату на ці природні об'єкти за допомогою чисельних моделей потребує вхідної гідрометеорологічної інформації у вузлах просторової сітки, відстань між якими має відповідати горизонтальним розмірам лиманів, тобто декілька кілометрів.

В цій статті при моделюванні прогностичних змін режиму температури й опадів використовувались дані за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 ансамблю з 14 симуляцій різними регіональними кліматичними моделями експерименту CORDEX. Для кожного вузла сітки та сценарію з ансамблю відбиралася одна єдина симуляція, яка якнайкраще відтворює річний хід температури, опадів та випаровування у порівнянні з середнім по ансамблю.

Не зважаючи на достатньо велику відстань між лиманами, методика дозволила відібрати єдину оптимальну симуляцію, за якою режим опадів весною та влітку і випаровування протягом усього року істотно відрізняється у південній та північній частині узбережжя розглянутого регіону. Ця симуляція добре відтворює взаємозалежність між температурою, опадами та випаровуванням у південній та північній частині північно-західної узбережжя Чорного моря.

Ключові слова: зміна клімату, CORDEX, температура, опади, випаровування

1. ВСТУП

В останні десятиріччя, починаючи з кінця 80-х років ХХ століття, на території України спостерігаються істотні зміни клімату (див., наприклад, [1, 2]). Вплив змін клімату у минулому на окремі природні об'єкти зазвичай досліджується з використанням наявних даних спостережень або даних ре-аналізів. Для дослідження майбутніх змін клімату єдиним джерелом інформації є симуляції глобальних або регіональних кліматичних моделей, причому їхнє певне застосування залежить від задачі, яка розглядається – чим докладніше потрібно розглянути певний, часто невеликий за розмірами, природний об'єкт, тим меншим має бути крок просторової сітки кліматичної моделі.

На узбережжі північно-західної частини Чорного моря зміни клімату характеризуються зростанням посушливості клімату та відповідним зменшенням притоку прісних вод у прибережні лимани з їх водозбірних басейнів [3]. Найбільш чутливими та вразливими до змін клімату є екосистеми лиманів, умовно названих «закритими» (в західній класифікації «choked» лагуни), які у теперішній час не мають постійного зв'язку з морем і епізодично з'єднуються з ним штучно створеними відкритими каналами або іншими водопровідними гідротехнічними спорудами.

Дослідження впливу змін клімату у майбутньому на ці природні об'єкти за допомогою чисельних моделей потребує вхідної гідрометеорологічної інформації у вузлах просторової сітки, відстань між якими має відповідати горизонта-

льним розмірам лиманів, тобто декілька кілометрів. Таким вимогам задовольняють результати моделювання майбутнього клімату ансамблем з 14 симуляцій різних моделей проекту CORDEX [4].

Застосування гідротермодинамічних моделей, наприклад [5], для оцінки майбутніх гідроекологічних характеристик лиманів північно-західної частини Чорного моря можна зробити або використовуючи як вхідну інформацію результати за усім ансамблем симуляцій, або відібравши результати однієї, «оптимальної», моделі з ансамблю за умови, що ця модель відповідає певним вимогам. Такою вимогою може бути, наприклад, її найбільша близькість до середнього по ансамблю симуляцій. Тобто, по суті така оптимальна симуляція є майже «осередненою», але поля гідрометеорологічних величин у ній будуть узгоджені між собою на відміну від неузгоджених полів після звичайного осереднення.

Таким чином, метою цієї статті є розробка методики визначення оптимальної симуляції з ансамблю регіональних кліматичних моделей стосовно північно-західного узбережжя Чорного моря.

2. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СИМУЛЯЦІЇ

2.1 Моделі проекту CORDEX

В цій роботі при моделюванні прогностичних змін режиму температури й опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, виконаного Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах в глобальному масштабі. Також CORDEX використовується для проектування клімату в регіональному масштабі, використовуючи статистичні та динамічні методи. Структура проектування клімату в межах CORDEX базується на новому наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5.

Як вхідна інформація використовувались результати моделювання за проектом CORDEX для періоду 2021-2050 років. З чотирьох можливих сценаріїв брались два – RCP4.5 і RCP8.5 [6], для яких кількість симуляцій в ансамблі, які надавали інформацію з роздільною здатністю ~12,5 км у горизонтальній площині для Європи про середньомісячну приземну температуру повітря (T), швидкість вітру (V), питому вологість (q) і загальну кількість хмарності (N) та місячні суми опадів (P) і випаровування (E), становила

14 за 5 регіональними кліматичними моделями (табл. 1). Нагадаємо, що за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 передбачається збільшення радіаційного форсингу на 4,5 Вт/м² і 8,5 Вт/м² відповідно у порівнянні з передіндустріальною епохою.

В роботі [7] для сценарію RCP4.5 припускалася зміна характеру вологозабезпеченості території України у найближчі тридцять років і передбачалась велика ймовірність відсутності снігового покриву протягом усієї зими на півдні України внаслідок додатних температур. Також було показано, що майбутні місячні опади на півдні України мають тенденцію до збільшення в середньому на 20–40 мм протягом осені, зими та весни, а влітку очікується їх зменшення, причому за деякими моделями в липні та серпні опади будуть близькими до нуля, що є характерним для середземноморського клімату. У порівнянні з 1961–1990 роками, найменших змін знає середньомісячна температура повітря весною та восени (до 1 °С), тоді як збільшення температури влітку та взимку становитиме 2,5–3,5 °С. В Одесі, на відміну від сьогоднішнього, очікується додатна середньомісячна температура повітря протягом всього року, і тільки 25% симуляцій показують від'ємні середньомісячні мінімальні температури.

На рис. 1 показані вузли сітки моделей проекту CORDEX, для яких створювався архів даних про метеорологічні параметри. Відзначимо, що для моделі MPI сітка відрізняється від решти – її вузли зміщені на південний захід приблизно на 9 км.

2.2 Процедура відбору симуляції

Для кожного вузла сітки та сценарію з ансамблю відбирається одна єдина симуляція, яка якнайкраще відтворює річний хід T , P і E у порівнянні з середнім по ансамблю. Процедура відбору «оптимальної» симуляції для кожного вузла та сценарію є такою:

1. Для кожного місяця року ($m = 1 \div 12$) розраховуються середні за ансамблем симуляцій ($s = 1 \div 14$) середні за 30-тирічний період величини:

$$\bar{T}_m^a = \frac{1}{30} \sum_1^{30} \frac{1}{14} \sum_{s=1}^{14} T_{m,s},$$

$$\bar{P}_m^a = \frac{1}{30} \sum_1^{30} \frac{1}{14} \sum_{s=1}^{14} P_{m,s},$$

$$\bar{E}_m^a = \frac{1}{30} \sum_1^{30} \frac{1}{14} \sum_{s=1}^{14} E_{m,s}.$$

Таблиця 1 – Регіональні кліматичні моделі, результати яких використовуються у роботі
Table 1 – Regional climate models used in this study

Симуляція	Інститут	Регіональна модель	Глобальна модель
CLMcom1	Climate Limited-area Modelling Community	CLMcom-CCLM4-8-17 ¹	CNRM-CM5 ⁶
CLMcom2			ICHEC-EC-EARTH ⁷
CLMcom3			MOHC-HadGEM2-ES ⁸
CLMcom4			MPI-ESM-LR ⁹
DMI1	Danish Meteorological Institute	DMI-HIRHAM5 ²	ICHEC-EC-EARTH ⁷
DMI2			NCC-NorESM1-M ¹⁰
KNMI1	Royal Netherlands Meteorological Institute	KNMI-RACMO22E ³	ICHEC-EC-EARTH ⁷
KNMI2			MOHC-HadGEM2-ES ⁸
MPI	Max Planck Institute for Meteorology	MPI-CSC-REMO2009 ⁴	MPI-ESM-LR ⁹
SMHI1	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	SMHI-RCA4 ⁵	CNRM-CM5 ⁶
SMHI2			ICHEC-EC-EARTH ⁷
SMHI3			IPSL-CM5A-MR ¹¹
SMHI4			MOHC-HadGEM2-ES ⁸
SMHI5			MPI-ESM-LR ⁹

Примітки:

- <https://wiki.coast.hzg.de/clmcom/clm-community-home-92864627.html>.
- <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr06-17.pdf>.
- <http://bibliotheek.knmi.nl/knmipubTR/TR302.pdf>.
- <https://www.remo-rcm.de/059966/index.php.en>.
- https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.90275!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RMK_116.pdf.
- <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article126&lang=en>.
- <https://www.ichec.ie/partnerships/state-supported/ec-earth-climate-simulations-irelands-contributions-cmip6>.
- <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>.
- <https://mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/>.
- <https://folk.uib.no/ngfhd/EarthClim/index.htm>.
- <http://cmc.ipsl.fr/ipsl-climate-models/ipsl-cm5/>.

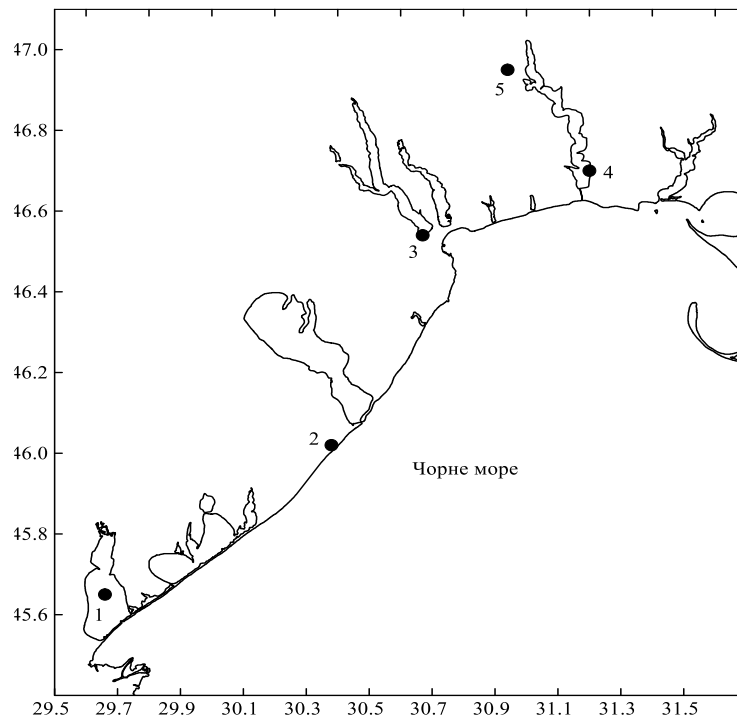


Рис. 1 – Розташування вузлів сітки моделей проекту CORDEX (чорні точки) на узбережжі північно-західної частини Чорного моря

Figure 1 – Grid points location for CORDEX models (black dots) in northwestern part of Black Sea coast

2. Для кожного місяця року розраховуються абсолютні відхилення для кожної симуляції:

$$\begin{aligned} T'_{m,s} &= |T_{m,s} - \bar{T}_m^a|, \\ P'_{m,s} &= |P_{m,s} - \bar{P}_m^a|, \\ E'_{m,s} &= |E_{m,s} - \bar{E}_m^a|. \end{aligned}$$

3. Шукаються максимальні значення $(T'_{m,s})_{\max}$, $(P'_{m,s})_{\max}$, $(E'_{m,s})_{\max}$ і розраховуються відносні відхилення:

$$\begin{aligned} T^r_{m,s} &= T'_{m,s} / (T'_{m,s})_{\max}, \\ P^r_{m,s} &= P'_{m,s} / (P'_{m,s})_{\max}, \\ E^r_{m,s} &= E'_{m,s} / (E'_{m,s})_{\max}. \end{aligned}$$

4. Для кожної симуляції розраховується сума середніх за рік відносних відхилень кожного з метеорологічних параметрів:

$$D_s = \frac{1}{12} \left(\sum_{m=1}^{12} T^r_{m,s} + \sum_{m=1}^{12} P^r_{m,s} + \sum_{m=1}^{12} E^r_{m,s} \right).$$

5. Кращою вважається симуляція з мінімальним значенням D_s .

3. РІЧНИЙ ХІД МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗА ОПТИМАЛЬНОЮ СИМУЛЯЦІЄЮ

Таблиця 2 містить результати розрахунку значень D_s по вузлах сітки, наведених на рис. 1, та сценаріях. За поданими в цій таблиці результатами можна зробити висновок, що симуляція CLMcom4 є найближчою (або, принаймні, другою за близькістю) до середнього по ансамблю симуляцій і саме тому вихідні результати цієї симуляції можна рекомендувати як вхідні параметри для моделювання гідрологічного та гідроекологічного режимів лиманів та їхніх водозборів у найближчому майбутньому.

На рис. 2–4 наведено річний хід різних метеорологічних параметрів за симуляцією CLMcom4 в різних районах Північно-західного Причорномор'я.

Річний хід температури повітря (рис. 2) у різних частинах досліджуваної території за сценаріями RCP4.5 й RCP8.5 показує певну схожість максимальних значень для всіх вузлів сітки – 24,0 °C в липні, другий максимум спостерігається в серпні і становить 23,0 °C. Мінімальні температури фіксуються у січні й грудні по обох сценаріях, але ці показники температури для

лиманів, що знаходяться на південному заході досліджуваної території, дещо більші, ніж для інших об'єктів. Наприклад, для лиманів Сасик і Будацький мінімальні температури в січні очікуються 4,0 °C, а для лиману Хаджибеївський – 1,0 °C, що розташований на північному заході регіону дослідження. Необхідно також зазначити, що мінімальні значення за сценаріями різняться: за RCP8.5 вони набувають значень на 1,0 °C менших, ніж за сценарієм RCP4.5 як у січні, так і в грудні.

Річний розподіл опадів (рис. 3) за обома сценаріями визначає максимум у листопаді в межах 56-60 мм за сценарієм RCP4.5 й 50-60 мм за сценарієм RCP8.5, причому найменші значення будуть спостерігатися на півночі Тилігульського лиману за обома сценаріями. Другий максимум кількості опадів у річному ході очікується в січні в межах 42-51 мм, але більші значення фіксуються за сценарієм RCP8.5. З рис. 3 видно, що у майбутньому хід опадів має і третій максимум, що очікується в березні-травні за сценарієм RCP4.5 і у травні-липні за RCP8.5. Мінімум опадів в обох траєкторіях визначено влітку: липень-серпень за RCP4.5 і серпень за RCP8.5. Мінімальна кількість опадів буде коливатися в межах від 15 до 22 мм, з найбільшими значеннями на півночі Тилігульського лиману.

Найбільша інтенсивність процесів випаровування (рис. 4) очікується на півдні узбережжя північно-західної частини Чорного моря, на лиманах Сасик і Будацький, з максимальними значеннями 140 мм в серпні і жовтні за сценарієм RCP4.5 і в серпні-вересні за RCP8.5. Мінімум випаровування визначено в квітні з кількістю 38-42 мм для обох траєкторій. Для Тилігульського лиману, тобто для півночі області дослідження, прогнозується максимальне випаровування у червні із значеннями 75-80 мм. Мінімум фіксується в грудні-січні і коливається в межах 10-12 мм. Найменші показники випаровування очікуються в центральній частині області, на лимані Хаджибеївський. Тут максимум виявлено в червні, який становить 60 мм. Мінімальне значення також прогнозується в грудні-січні і змінюється від 17 до 20 мм.

4. ВИСНОВКИ

Розглянута у цій статті методика відбору оптимальної симуляції є доволі простою, але дозволяє вибрати симуляцію по декількох, різних за абсолютною величиною, метеорологічних параметрах, наприклад, температурі та опадах, як це зроблено у попередньому розділі.

Відзначимо також, що у цій статті для відбору оптимальної моделі використовувались три метеорологічні параметри, але їх кількість може бути й більшою.

Не зважаючи на те, що відстань між лиманами є доволі великою (~180 км по прямій лінії між вузлами 1 і 5 на рис. 1), методика дозволила відібрати єдину оптимальну симуляцію. Скоріше за все це не може бути визначено однаковими

фізико-географічними умовами для розглянутих природних об'єктів, тому що режим опадів весною та влітку відрізняється у південній та північній частині узбережжя розглянутого регіону (див. рис. 3). Ще більш істотно відрізняється режим випаровування (див. рис. 4) і його річний хід визначається не тільки режимом температури, а й опадів.

Таблиця 2 – Сума середніх за рік відносних відхилень D_s для різних вузлів сітки

Table 2 – Annual mean relative deviations sum, D_s , for different grid points

Симуляція	Вузол 1		Вузол 2		Вузол 3		Вузол 4		Вузол 5	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
CLMcom1	0.570	0.515	0.519	0.549	0.751	0.678	0.726	0.635	0.714	0.693
CLMcom2	0.461	0.404	0.456	0.451	0.756	0.602	0.755	0.557	0.638	0.521
CLMcom3	0.970	0.960	0.969	1.100	1.237	1.228	1.102	1.173	1.094	1.172
CLMcom4	0.403	0.368	0.449	0.464	0.516	0.523	0.429	0.492	0.408	0.429
DMI1	0.794	0.888	0.836	0.938	0.850	0.768	0.667	0.541	0.642	0.594
DMI2	0.909	0.911	0.956	1.050	1.139	0.921	0.877	0.656	0.874	0.769
KNMI1	0.817	0.738	0.845	0.807	0.777	0.597	0.662	0.535	0.654	0.456
KNMI2	0.879	0.822	0.868	0.847	0.814	0.673	0.646	0.587	0.516	0.488
MPI	0.720	0.777	0.587	0.686	0.945	0.792	1.104	1.033	0.657	0.585
SMHI1	0.687	0.684	0.803	0.849	0.990	1.005	0.833	0.896	0.894	0.894
SMHI2	0.774	0.670	0.804	0.743	0.929	0.756	0.749	0.607	0.740	0.608
SMHI3	0.707	0.637	0.811	0.746	0.956	0.852	0.712	0.759	0.618	0.661
SMHI4	0.487	0.412	0.539	0.587	0.965	0.783	0.653	0.534	0.735	0.660
SMHI5	0.394	0.514	0.468	0.653	0.953	0.736	0.818	0.652	0.748	0.589

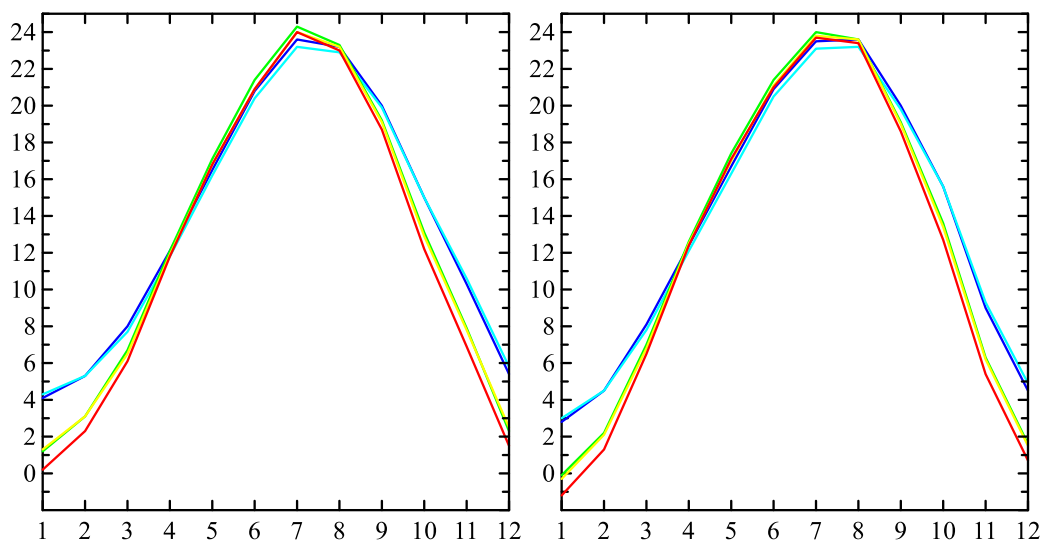


Рис. 2 – Річний хід температури (°C) у різних частинах Північно-західного Причорномор'я для сценаріїв RCP4.5 (ліва панель) та RCP8.5 (права панель)

(— Сасик, — Будакський, — Хаджибеївський, — Тилігульський-південь, — Тилігульський-північ)

Figure 2 – Intra-annual changes of air temperature (°C) in different parts of northwestern Black Sea coast for scenarios RCP4.5 (left) and RCP8.5 (right)

(— Sasyk, — Budakyskiy, — Khadzhibeivskiy, — Tyligulskiy-south, — Tyligulskiy-north)

Таким чином, результати відібраної оптимальної симуляції є узгодженими між собою і надалі можуть використовуватись як вхідна інформація до гідротермодинамічних моделей для оцінки майбутніх гідроекологічних характеристик лиманів.

Сама ж методика відбору оптимальної симуляції, беручи до уваги майбутні зміни клімату в Україні (наприклад, [8-10]), може використовуватись для інших аналогічних досліджень впливу змін клімату на природні об'єкти України.

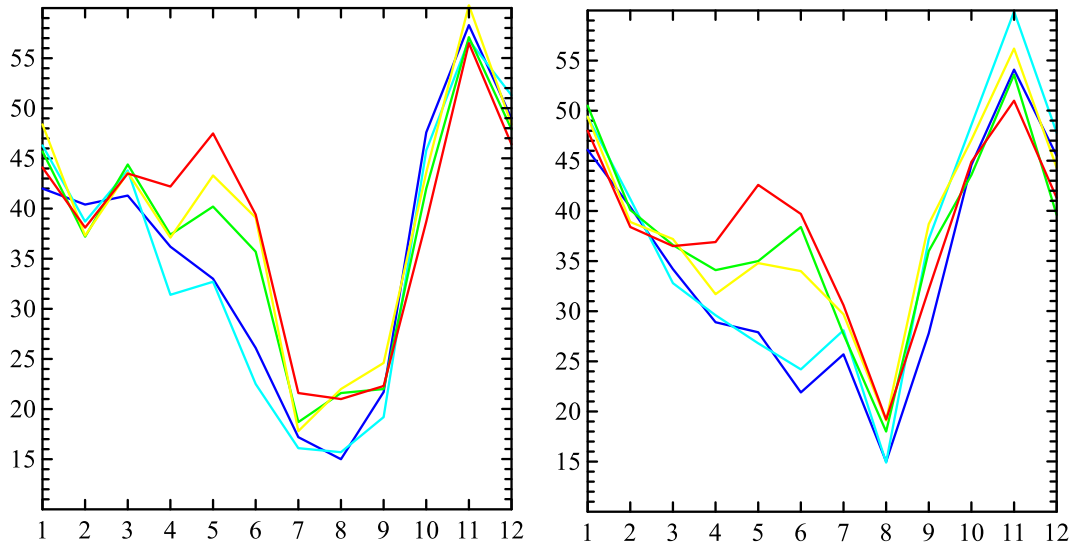


Рис. 3 – Річний хід опадів (мм) у різних частинах Північно-західного Причорномор'я для сценаріїв RCP4.5 (ліва панель) та RCP8.5 (права панель)
(— Сасик, — Будакський, — Хаджибеївський, — Тилігульський-південь, — Тилігульський-північ)

Figure 3 – Intra-annual changes of precipitation (mm) in different parts of northwestern Black Sea coast for scenarios RCP4.5 (left) and RCP8.5 (right)
(— Sasyk, — Budakyskiy, — Khadzhibeivskiy, — Tyligulskiy-south, — Tyligulskiy-north)

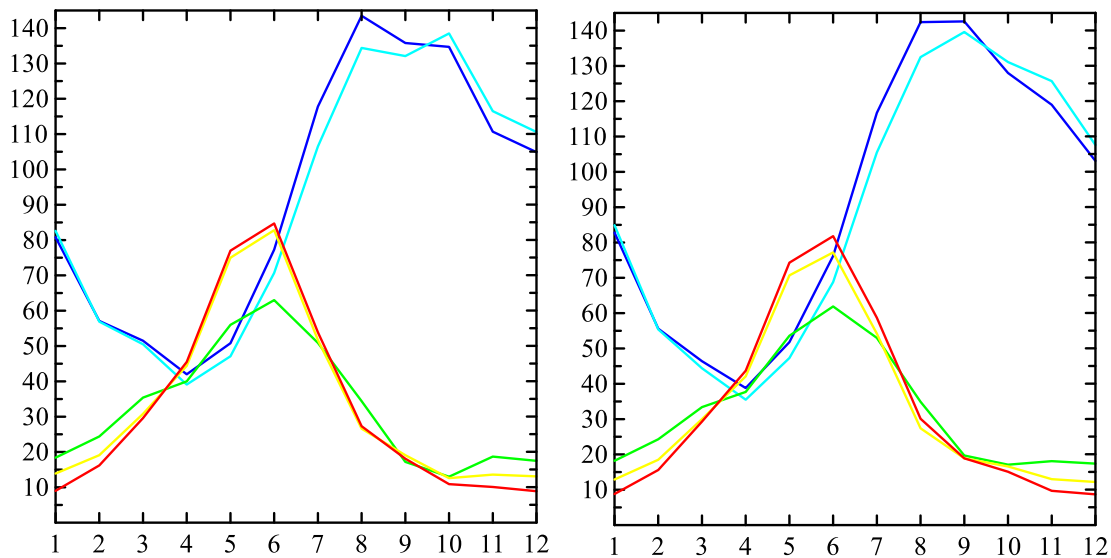


Рис. 4 – Річний хід випаровування (мм) у різних частинах Північно-західного Причорномор'я для сценаріїв RCP4.5 (ліва панель) та RCP8.5 (права панель)
(— Сасик, — Будакський, — Хаджибеївський, — Тилігульський-південь, — Тилігульський-північ)

Figure 4 – Intra-annual changes of evaporation (mm) in different parts of northwestern Black Sea coast for scenarios RCP4.5 (left) and RCP8.5 (right)
(— Sasyk, — Budakyskiy, — Khadzhibeivskiy, — Tyligulskiy-south, — Tyligulskiy-north)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хохлов В. Н. Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2007. № 2. С. 35-42.
2. Серга Е. М., Хохлов В. М., Недострелова Л. В. Сучасна динаміка показників основних кліматичних характеристик на станціях Північно-західного Причорномор'я. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 26. С. 37-49. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.03>.
3. Tuchkovenko Y., Loboda N., Khokhlov V. The physiogeographical background and ecology of Tyligulskiy Liman Lagoon. *Coastal Lagoons in Europe. Integrated Water Resource Management* / Edited by Lillebø, A. I., Stålnacke, P., Gooch, G. D. London: IWA Publishing, 2018. Pp. 77-85.
4. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research / Jacob D. et al. *Regional Environmental Change*. 2014. Vol. 14(2). Pp. 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
5. Кушнір Д. В., Тучковенко Ю. С. Модельовання мінливості гідрологічних характеристик водойми Сасик за різних варіантів її функціонування. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 26. С. 116-129. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.10>.
6. The next generation of scenarios for climate change research and assessment / Moss R. H. et al. *Nature*. 2010. Vol. 463. Pp. 747-756.
7. Замфірова М. С., Хохлов В. М. Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021-2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>
8. Хохлов В. М., Єрмоленко Н. С. Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. № 16. С. 76-82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>.
9. Проекция изменения климатических средних показателей экстремальности термического режима к середине XXI века в Украине / Балабух В. А. и др. *Природопользование*. 2018. № 1. С. 97-113.
10. Проекції приземної температури та відносної вологості повітря в областях України до середини XXI ст. за даними ансамблів регіональних кліматичних моделей / Краковська С. В. та ін. *Геоінформатика*. 2018. № 3(67). С. 62-77.

REFERENCES

1. Khokhlov, V.N. (2007). [Quantitative description of European climate change during second half of 20th century]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 2, pp. 35-42. (in Russ)
2. Serga, E.N., Khokhlov, V.M. & Nedostrelova, L.V. (2020). [Modern dynamics in main climate characteristics at sites of North-Western Black Sea coast]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 26, pp. 37-49. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.03>. (in Ukr)
3. Tuchkovenko, Y., Loboda, N. & Khokhlov, V. (2018). The physiogeographical background and ecology of Tyligulskiy Liman Lagoon. In: Lillebø, A. I., Stålnacke, P., Gooch, G.D. (eds.) *Coastal Lagoons in Europe. Integrated Water Resource Management*. London: IWA Publishing. Pp. 77-85.
4. Jacob, D. et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), pp. 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.
5. Kushnir, D.V. & Tuchkovenko, Yu.S. (2020). [Modelling the variability of hydrological parameters of the Sasyk reservoir impoundment under various options of its operation]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 26, pp. 116-129. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.10>. (in Ukr)
6. Moss, R.H. et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, pp. 747-756.
7. Zamfirova, M.S. & Khokhlov, V.M. (2020). [Air temperature and precipitation regime in Ukraine in 2021-2050 by CORDEX model ensemble]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 26, pp. 37-49. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.03>. (in Ukr)
8. Khokhlov, V. & Yermolenko, N. (2015). [Future climate change and its impact on precipitation and temperature in Ukraine]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 16, pp. 76-82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>. (in Ukr)
9. Balabukh, V. et al. (2018). [Projections of changes climatic mean and extreme parameters of thermal regime by the middle of the 21st century in Ukraine]. *Nature Management*, 1, pp. 97-113. (in Russ)
10. Krakovska, S.V. et al. (2018). [Projections of air temperature and relative humidity in Ukraine regions to the middle of the 21st century based on regional climate model ensembles]. *Geoinformatika [Geoinformatics]*, 3(67), pp. 62-77. (in Ukr).

OBJECTIVE SELECTION OF MODEL RUN FROM REGIONAL CLIMATE MODELS ENSEMBLE

V. Khokhlov, E. Serga, L. Neodstrelova

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

In this paper, a method was developed in relation to the north-western coast of the Black Sea in order to determine the optimal model run from regional climate models ensemble.

As a result of climate change, which has been observed since the late 1980s in Ukraine, various natural objects changes have been also transformed. The study of such changes in the future is possible only by using runs of global or regional climate models. Moreover, the step of the spatial grid in the climate model must be comparative with the spatial size of a natural object under study.

In the north-western coast of the Black Sea, climate change is characterized by increasing aridity of climate and a corresponding decrease in freshwater inflows into coastal lagoons from their catchments, making ecosystems of these lagoons sensitive and vulnerable to climate change. Using numerical models in order to study climate change impact on these natural objects requires input hydrometeorological information in the spatial grid points, the distance between which should correspond to the horizontal size of lagoons, i.e. several kilometers.

In this paper, data from the scenarios RCP4.5 and RCP8.5 of the ensemble from 14 model runs with different regional climatic models of the CORDEX project were used to simulate the future changes of the temperature and precipitation regime. For each grid point and scenario, a single simulation was selected from the ensemble, which best reproduces the intra-annual changes of temperature, precipitation, and evaporation compared to the ensemble means.

Despite the sufficiently large distance between the estuaries, the method allowed the selection of a single optimal model run, which shows the significant differences in spring and summer precipitation as well as year-around evaporation in the southern and northern parts of the northwestern coast of the region. This run well reproduces the relationship between temperature, precipitation, and evaporation in the southern and northern parts of the northwestern coast of the Black Sea.

Keywords: climate change, CORDEX, temperature, precipitation, evaporation

ОБЪЕКТИВНЫЙ ВЫБОР СИМУЛЯЦИИ ИЗ АНСАМБЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В. Н. Хохлов, Э. Н. Серга, Л. В. Недострелова

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>*

В данной работе разработана методика определения оптимальной симуляции из ансамбля региональных климатических моделей относительно северо-западного побережья Черного моря.

В результате изменений климата, которые отмечаются на территории Украины примерно с конца 80-х годов XX века, наблюдаются изменения в различных природных объектах. Исследование изменений в различных природных объектах как следствие изменений климата в будущем возможно только с помощью симуляций глобальных или региональных климатических моделей.

На северо-западном побережье Черного моря изменения климата характеризуются ростом засушливости климата и уменьшением притока пресных вод в прибрежные лиманы, в результате чего страдают экосистемы этих лиманов. Исследование влияния изменений климата на эти природные объекты с помощью численных моделей требует входной гидрометеорологической информации в узлах пространственной сетки, расстояние между которыми должно соответствовать горизонтальным размерам лиманов, то есть несколько километров.

В этой работе при моделировании будущих изменений режима температуры и осадков использовались данные по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 ансамбля из 14 симуляций региональных климатических моделей эксперимента CORDEX. Для каждого узла сетки и сценария из ансамбля отбиралась одна единственная симуляция, которая наиболее близка к среднему по ансамблю годовому ходу температуры, осадков и испарения. Эта симуляция хорошо воспроизводит взаимозависимость между температурой, осадками и испарением в южной и северной части северо-западного побережья Черного моря.

Ключевые слова: изменение климата, CORDEX, температура, осадки, испарение.

*Подання до редакції : 20. 10. 2021
Надходження остаточної версії : 19. 11. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*