інших станціях Закарпатської області норми кількості опадів зросли. Найбільше зростання норм спостерігається в центральних областях України; зокрема, за даними метеорологічних станцій Черкаської області норми збільшились на 18-31 мм, Кіровоградської – на 19-27 мм.

Висновки. Порівняння стандартних кліматичних норм метеорологічних величин за періоди 1981-2010 рр. та 1961-1990 рр., свідчить про те, що сезонні та річні норми температури повітря і парціального тиску водяної пари в цілому по території України збільшилися, а норми швидкості вітру — зменшилися. Змінювання норм кількості опадів по території України неоднозначне: на одних станціях вони збільшилися, на інших не змінилися або зменшилися. Інтенсивність змінювання норм метеорологічних величин як по сезонах, так і по території України різна. Результати порівняння стандартних кліматичних норм метеорологічних величин за періоди 1981-2010 рр. та 1961-1990рр. свідчать про досить інтенсивне змінювання клімату України.

УДК 551.524.35: 551.583.14

Мкртчян О.С., Шубер П.М.
Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів

АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕТЕОСТАНЦІЙ ЗАХОДУ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕВОЛЮЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ

Кліматичні зміни є вкрай актуальною глобальною проблемою, до якої прикута увага людства. Важливе значення має виявлення та аналіз регіональних проявів цих змін, які насамперед виявляються у зростанні температурних показників. Нами проаналізовані часові ряди середньої місячної та річної температури повітря, з використанням програмного забезпечення Eureqa, в якому реалізовано методику «еволюційного пошуку». Суть даної методики полягає в тому, що програма довільно генерує випадкові рівняння і значення параметрів, співставляє велику кількість (до кількох мільярдів) таких рівнянь з реальними даними (на основі обрахунку похибок та кореляції), і відбирає ті з рівнянь, які краще узгоджуються з даними. Далі у відібрані рівняння вносяться випадкові модифікації, і нове «покоління» рівнянь знову співставляється з даними для відбору найбільш відповідних рівнянь. Цей процес продовжується до настання конвергенції, коли наступне «покоління» рівнянь вже не показує суттєво кращу відповідність з даними у порівнянні з попередніми «поколіннями». Даний процес є подібним до процесу природного відбору, коли в кожному поколінні виживають найбільш пристосовані організми та передають свої гени у спадок наступному поколінню. Аналогом пристосованості до середовища в даному випадку є узгодженість з даними [1].

Програма працює з даними у табличній формі, де колонки відповідають окремим змінним. Також вона здатна ефективно працювати з часовими серіями, коли в одній з колонок містяться значення змінної, а в другій – дата, якій відповідають ці значення. Користувач задає набір математичних операторів та функцій, з яких програма як з цеглинок будує рівняння, підбираючи довільним чином їхні параметри. На виході, як правило, отримуємо декілька відносно простих рівнянь, які найкраще узгоджуються із заданими даними. При цьому, серед низки рівнянь різного рівня складності з приблизно однаковими показниками похибок та кореляції слід надавати перевагу більш простим – таким, що містять менше параметрів та включають змінні з нижчими показниками степеню (принцип «бритви Оккама»).

В нашому дослідженні проаналізовано динаміку показників температури повітря за період 1960 – 2014 р. для низки метеостанцій заходу України. Для 9 метеостанцій в межах Львівської області використано дані метеорологічних щорічників Державного комітету СРСР з метеорології та дані архівів метеостанцій (табл. 1). На основі цих даних побудовано ряди середньорічних температур повітря. Також було використано часові ряди відкритих даних Глобальної мережі історичної кліматології (Global Historical Climatology Network, GHCN) для метеостанцій Львова, Чернівців та Ужгорода [2], які було попередньо оброблено та узагальнено з використанням програмного середовища R.

Результати аналізу рядів середньорічних температур метеостанцій Львівської області виявили виражений лінійний тренд до зростання температур для усіх 9-ти метеостанцій. Середні темпи зростання температури (обраховані за лінійним коефіцієнтом регресії) становили від 1°C / 40 років (метеостанція Турка) до 1°C / 29 років (метеостанція Броди). Водночас, значення кореляції та похибки для квадратичної моделі не відрізнялись помітно від таких для лінійної. Це означає, що достовірною є лінійна модель, тоді як більш складна квадратична (що відповідає прискореному зростанню температур) не є на зазначених даних достатньо обґрунтованою.

Ряди середньомісячних температур повітря за цей же період проаналізовано для метеостанцій Львів, Чернівці та Ужгород, для яких наявні найбільш повні часові ряди у архіві GHCN. Для Львова на рівні конвергенції 100% отримано 3 моделі, які виявили лінійний, квадратичний та кубічний тренд. Коефіцієнт при моделі з лінійним трендом склав 0,00318 (відповідає підвищенню температури на 1°C кожні 26,2 років). Коефіцієнт при квадратичному члені складав від $4{,}97*10^{-6}$, тоді як коефіцієнт при кубічному тренді – $8{,}08*10^{-9}$.

Для Чернівців на рівні конвергенції 100% отримано 3 моделі, які виявили лише лінійний тренд. Коефіцієнт при моделі з лінійним трендом складав від 0,0035 до 0,0043 (відповідає підвищенню температури на 1°C кожні 23,8 та 19,4 років, відповідно). Для Ужгорода отримано 8 моделей, по 2 з яких показали тренд першого (лінійний), другого, третього і четвертого ступенів. Коефіцієнти при моделі з лінійним трендом становили 0,00227 та 0,00228 (відповідають підвищенню температури на 1°C кожні 36,6 років).

Отже, для жодної із зазначених метеостанцій не було виявлено суттєвої відмінності у коефіцієнтах кореляції та значеннях похибки між моделями різних порядків. Це означає, що використані ряди дозволяють стверджувати лише про тенденцію до зростання температур повітря за період 1960–2014 р., проте не дають підстав говорити про прискорене (чи сповільнене) їх зростання.

Щодо регіональної диференціації показників, наразі можливо лише стверджувати про тенденцію до більш помітного зростання температур для станцій, розташованих східніше (Чернівці, а також Броди Львівської області), і менш помітного потепління – для розташованих західніше (Ужгород, а також турка Львівської області).

Таблиця 1. **Результати аналізу температурних рядів метеостанцій Львівської області**

Метеостанція	Коефіцієнт кореляції лінійної моделі	Середня квадратична похибка лінійної моделі	Лінійний коефіцієнт	Коефіцієнт кореляції квадратичної моделі	Середня квадратична похибка квадратичної моделі
Славське	0.67	0.39	0.03234	0.73	0.33
Турка	0.52	0.55	0.02486	0.53	0.53
Дрогобич	0.59	0.59	0.03075	0.60	1.76
Мостиська	0.60	0.58	0.03046	0.62	0.56
Стрий	0.58	0.58	0.02781	--	--
Львів	0.63	0.50	0.03793	0.66	0.48
Рава Руська	0.60	0.54	0.03213	0.63	0.52
Кам’янка Бузька	0.65	0.43	0.03031	0.65	0.43
Броди	0.62	0.57	0.03489	0.62	0.57

Отже, еволюційні алгоритми є перспективним інструментом аналізу часових рядів кліматичних показників. В майбутньому планується розширити сферу даного дослідження за рахунок більшої кількості метеостанцій і більш широкого територіального охоплення, дослідження сезонних відмінностей у багаторічній динаміці температурних показників, дослідження часових рядів інших кліматичних параметрів (кількостей опадів, тощо).

Список літератури

1. *Keim B.* Download your own robot scientist // Wired. 2009. https://www.wired.com/2009/12/download-robot-scientist/ ***2.*** *Menne M.J., Durre I., Vose R.S., Gleason B.E., Houston T.G.* An overview of the Global Historical Climatology Network-Daily Database // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2012, V. 29. P. 897–910.