

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЛІВ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН МЕТОДОМ
СЕЛЕКТИВНОЇ ЛОКАЛЬНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

THE FORECASTING FIELDS OF HYDROMETEOROLOGICAL VALUES BY MEANS OF
SELECTIVE LOCAL APPROXIMATION METHOD



Артеменко Владислав Андрійович, UT5UDJ, магістр екології, Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, науковий співробітник відділу гідрохімії, e-mail: artemenko@uhmi.org.ua, тел. 380936011250, Україна, 03028, м. Київ, просп. Науки 37, к.34.

<https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>



Петровиц Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, тел. +380442807338, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138.,

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Анотація. Розглянуті можливості прогнозування природних (у тому числі метеорологічних) полів за допомогою методу хаотичної динаміки (методу локальної апроксимації).

Як вихідні, були використані середньомісячні дані для полів мінімальної та максимальної температури повітря, а також приземного тиску.

Якість прогнозу визначали, порівнюючи прогнозні та істинні (контрольні) значення полів.

Оскільки є два поля (прогнозне та істинне), тобто дві матриці, їх попередньо перетворювали у вектор-стовпці, та знаходили лінійний коефіцієнт кореляції між ними. При цьому було враховано, що коефіцієнт кореляції може бути також використаний поза залежністю від характеру вихідних даних.

Зважаючи на те, що найбільший інтерес у даному випадку являє якість прогнозу, вихідні середньомісячні дані попередньо не фільтрували.

Для підтримання необхідної якості, прогнозування виконували тільки на один крок (один місяць) вперед.

Число аналогів, необхідних для визначення вектору стану, у всіх випадках дорівнювало одиниці.

Встановлено, що для природних процесів, що мають сталу періодичність, найкращі результати прогнозування методом локальної апроксимації досягаються при використанні не всіх вихідних даних, а тільки спеціально виділеної їх частки.

Враховуючи це, авторами був запропонований метод селективної локальної апроксимації.

Метод селективної локальної апроксимації підвищує у середньому коефіцієнт кореляції між реальними та прогнозними значеннями полів до 10% у порівнянні із класичним методом *LA*.

Наведені результати прогнозування полів для кожного місяця відповідного року.

Запропоновані спеціальні критерії якості прогнозу – побічні та прямі критерії. При цьому між побічними та прямими критеріями спостерігається достатньо сильний взаємозв'язок.

Якість прогнозу розглянута також із позицій непараметричного аналога стандартного відхилення, який характеризує розкид даних прогнозування. Визначено, що якість прогнозу із позицій

“середнього” коефіцієнта кореляції знаходиться у взаємо-зворотній залежності від “середнього” розкиду даних.

З точки зору промислового прогнозування запропонована нова градація якості.

Із позицій такої градації порівнюється якість прогнозу для різних полів перш за все за числом місяців, для яких якість буде незадовільною.

Результати дослідження показали, що для зазначених полів погіршення якості прогнозу спостерігається у період “початок весни ... середина літа”.

Ключові слова: метод селективної локальної апроксимації, прогнозування гідрометеорологічних полів, критерії якості прогнозу.

Мета роботи – розробка методу прогнозування полів метеорологічних величин з точки зору промислового прогнозування.

Задачі дослідження:

1. Розробити основи методу селективної локальної апроксимації;
2. Виконати прогнозування метеорологічних полів за допомогою методу селективної локальної апроксимації;
3. Визначити спеціальні критерії якості прогнозу метеорологічних полів;
4. Встановити градацію прогнозованості полів метеорологічних величин.

*Я більш за все дорожу аналогіями,
моїми самими вірними вчителями.*

Й. Кеплер

*Процес пізнання є відшукуванням
аналогій.*

Л. Больцман

Вступ

За останні роки середня температура повітря в Україні помітно зросла, спостерігалась значна кількість екстремальних погодних ситуацій.

Як відомо, дані про зміни погодньо-кліматичних умов безпосередньо враховуються при вирішенні багатьох задач проектування та експлуатації автомобільних доріг [1,2].

При цьому надійність будь-яких прогнозів температури повітря залишається актуальною проблемою.

Роботи багатьох авторів свідчать про повну відсутність адекватних результатів при застосуванні методів теорії ймовірності при прогнозуванні природних процесів, використанні методів, які не відповідають сучасним запитам практики.

Разом з цим, завдяки розвитку методів хаотичної динаміки, у прогнозуванні природних (у тому числі температурних) рядів та полів вже одержані вагомі позитивні результати [3,4].

Для реалізації прогнозів був використаний апарат методу локальної апроксимації нульового порядку. Даний метод, по-суті, є стандартом прогнозування у хаотичній динаміці та безпосередньо виражає ключові ідеї цього метода.

Разом з цим, як відмічалось у наших попередніх дослідженнях, природні ряди та поля мають характерні особливості, і у переважній більшості випадків не тотожні ідеальним детерміновано-хаотичним часовим рядам та полям.

У роботі пропонується новий метод підвищення якості прогнозування природних (у тому числі метеорологічних) полів, заснований на ідеях хаотичної динаміки.

Вихідні дані

Якщо в [4] аналізували тільки поле приземного тиску, то в даному дослідженні – вже три поля: приземного тиску, мінімальної приземної та максимальної приземної температури.

Метеорологічне поле **TMIN** (приземної мінімальної температури) має розмір 7x21 (точки).

Вісь **X** (горизонтальна) – від 5⁰ до 55⁰ Східної довготи з кроком 2,5⁰, вісь **Y** (вертикальна) – від 40⁰ до 55⁰ Північної широти з кроком 2,5⁰.

Метеорологічне поле **TMAX** (приземної максимальної температури) має аналогічні координати.

Метеорологічне поле P (приземного тиску) при розмірі 7×21 (точку) має координати: по вісі X – від 30° Західної довготи до 70° Східної довготи з кроком 5° , по вісі Y – від 40° до 70° Північної широти з кроком 5° .

Для всіх зазначених полів використовували середньомісячні дані (усереднення із середньодобових полів), починаючи із січня 1990 року і закінчуючи груднем 2017 року.

Оцінка якості прогнозу

В роботі [4] розглядали прогнозування гідрометеорологічного поля як цілісного об'єкта.

Однак якість прогнозу детальному дослідженню не підлягала.

У даній роботі нас цікавила перш за все якість прогнозу, тому вихідні дані попередньо не фільтрували.

Як відомо, існує безліч різних варіантів оцінки якості прогнозу.

У загальному випадку використовують лінійний коефіцієнт кореляції (CC).

Однак при цьому лінійний коефіцієнт кореляції накладає ряд істотних обмежень на вихідні дані.

Зважаючи на це, в даному дослідженні цей критерій був використаний поза межею “жорсткого” виконання умов його застосування. Так, наприклад, така статистика (величина) як стандартне відхилення, має свідчити про те, що дані нормально розподілені.

Разом з цим, ця статистика може бути використана також для даних із будь-яким типом розподілення.

Звісно, при довільному (не нормальному) розподіленні у більшому або меншому ступені втрачається певна “інформативність” цієї статистики, але її загальний смисл (ступінь розкиду даних) цілком зберігається.

Тобто слід розуміти, що у даному випадку лінійний коефіцієнт кореляції – це просто зручна міра, певний стандарт, який використовують поза залежністю від характеру даних.

Оскільки маємо два поля – реальне та прогнозне (тобто дві матриці), ці поля попередньо перетворювали у вектор-стовпці або вектор-строки, а далі знаходили вже лінійну кореляцію поміж ними. При цьому векторизацію полів здійснювали за правилами, прийнятими у мові програмування **FORTRAN** (або **MATLAB**) – по стовпцям.

Матриця (поле) M після векторизації трансформувалась у вектор (одновимірний ряд) V за правилом

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 6 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{bmatrix}.$$

Якість прогнозу визначали, порівнюючи прогнозні значення із значеннями істинними (контрольними).

Для підтримання достатньої якості прогнозу здійснювали прогнозування на один місяць (крок) вперед.

Метод селективної локальної апроксимації.

У своєму класичному виконанні метод локальної апроксимації (метод LA) припускає використання всіх без винятку вихідних даних для одержання прогнозу на майбутнє.

Методика вибору аналога при цьому була детально розглянута в [5], траєкторна матриця формувалась класичним способом.

Однак достатньо прості процедури розпізнавання, які добре працюють для ідеальних детерміновано-хаотичних рядів, у випадку природних рядів нас не задовільняють.

Тому класична процедура розпізнавання була модернізована – вона стала мати додаткову можливість прив'язки аналога до реальної дати.

Для природніх процесів, що мають більш-менш виявлену періодичність (сезонність), найбільш адекватні результати прогнозування досягаються при використанні не всіх вихідних даних, а тільки

спеціально виділеної їх частки. Такий різновид методу *LA*, спеціально розроблений нами, був названий методом селективної локальної апроксимації.

Особливості застосування методу селективної *LA* розглянемо на конкретному прикладі. Необхідно здійснити прогноз на травень місяць 2017 року.

У даному випадку число аналогів, необхідних для визначення поточного вектору стану, приймаємо рівним одиниці.

За класичною методикою при прогнозуванні методом *LA* слід знаходити аналог для квітня 2017 року серед всіх попередніх вихідних даних. Однак, як показує практика, близький аналог може бути знайдений як серед квітнів, так і серед, наприклад, жовтнів.

Знайдений аналог серед усіх попередніх квітнів призводить до правильного результату прогнозування, оскільки після квітня йде травень.

Очевидно, що знайдений аналог для всіх попередніх жовтнів призводить до неадекватних результатів, тому що після жовтня звичайно прогнозується похолодання, в той час як повинно бути потепління.

Таким чином, виконуючи прогноз на травень місяць 2017 року, ми повинні використовувати вихідні дані тільки для квітнів 1990 ... 2016 років.

Припустимо, що знайдений аналог – це квітень 1992 року. Наступний за ним травень цього року і буде прогнозом на травень 2017 року.

Зазначимо, що вище була подана тільки схема методу селективної *LA*, тому виклад методу достатньо спрощений.

Як показує практика, запропонований метод селективної *LA* підвищує у середньому коефіцієнти кореляції між реальними та прогнозними значеннями полів на 10% у порівнянні із класичним методом, що з позицій прогнозування являє собою досить відчутний результат.

Особливості програмної реалізації методу селективної локальної апроксимації.

Авторами була розроблена достатньо проста в експлуатації програма на мові програмування *MATLAB*.

MATLAB – код був написаний таким чином, щоб не важко було перевести його у *FORTRAN* – код, або із невеликими витратами часу – у *PASCAL* – код.

При цьому не використовувались звернення до функцій спеціалізованих бібліотек – код працездатний також у безкоштовних аналогах *MATLAB : OCTAVE* та *FREEMAT*. Для програм, що були написані на мовах *FORTRAN* та *PASCAL*, для візуалізації полів застосовували *OPENGL* (на основі *GLUT*).

При умові застосування *OPENGL* звертались до спеціальної процедури, яка дозволяла візуалізувати поле у вигляді контурного графіка (із “заливкою” або без неї).

Програма (поза залежності від мови реалізації) виконувала наступні дії:

1. Перевіряла коректність вихідних даних та час прогнозу на основі бази даних, яка у оперативній роботі повинна поповнюватись кожного місяця;
2. Зважаючи на дати необхідного прогнозу, вибирала із бази відповідні дані (наприклад, “всі січні”);
3. Згідно відібраних даних підбирала найкращий аналог (для “Зразка”) шляхом знаходження мінімуму евклідової норми різниці векторів. При цьому поля, як було попередньо зазначено вище, трансформувались у вектора. Далі виконувалась часова “прив’язка” знайденого найкращого “Аналога”;
4. Часова “прив’язка” аналога перераховувалась власне у “Прогноз”, а далі знайдене у базі даних “Прогнозне поле” візуалізувалось.

Для тестових прикладів, коли “Прогнозне” поле та “Істинне” (“Реальне”) поле знаходяться у базі даних, програма також визначала якість прогнозу. У цьому випадку візуалізувалось як “Істинне” (“Реальне”) поле, так і поле “Прогнозне”. Зрозуміло, що при реальному прогнозуванні “Істинне” поле стає відомим тільки тоді, як мине місяць. Тому якість прогнозу “прямо зараз” розрахувати неможливо. Однак попередньо можливо орієнтуватись на “усереднену” якість прогнозування для певного місяця.

Отримані результати та їх обговорення.

Авторами були виконані прогнози методом селективної *LA* на всі місяці 2001 ... 2017 років.

Для можливості визначення якості прогнозу частина даних була залишена як контрольна.

Отримані результати характеризують адекватність даного метода прогнозування відповідно до конкретного поля.

На рис.1 представлені результати прогнозування поля *TMIN* для січня 2013 року.

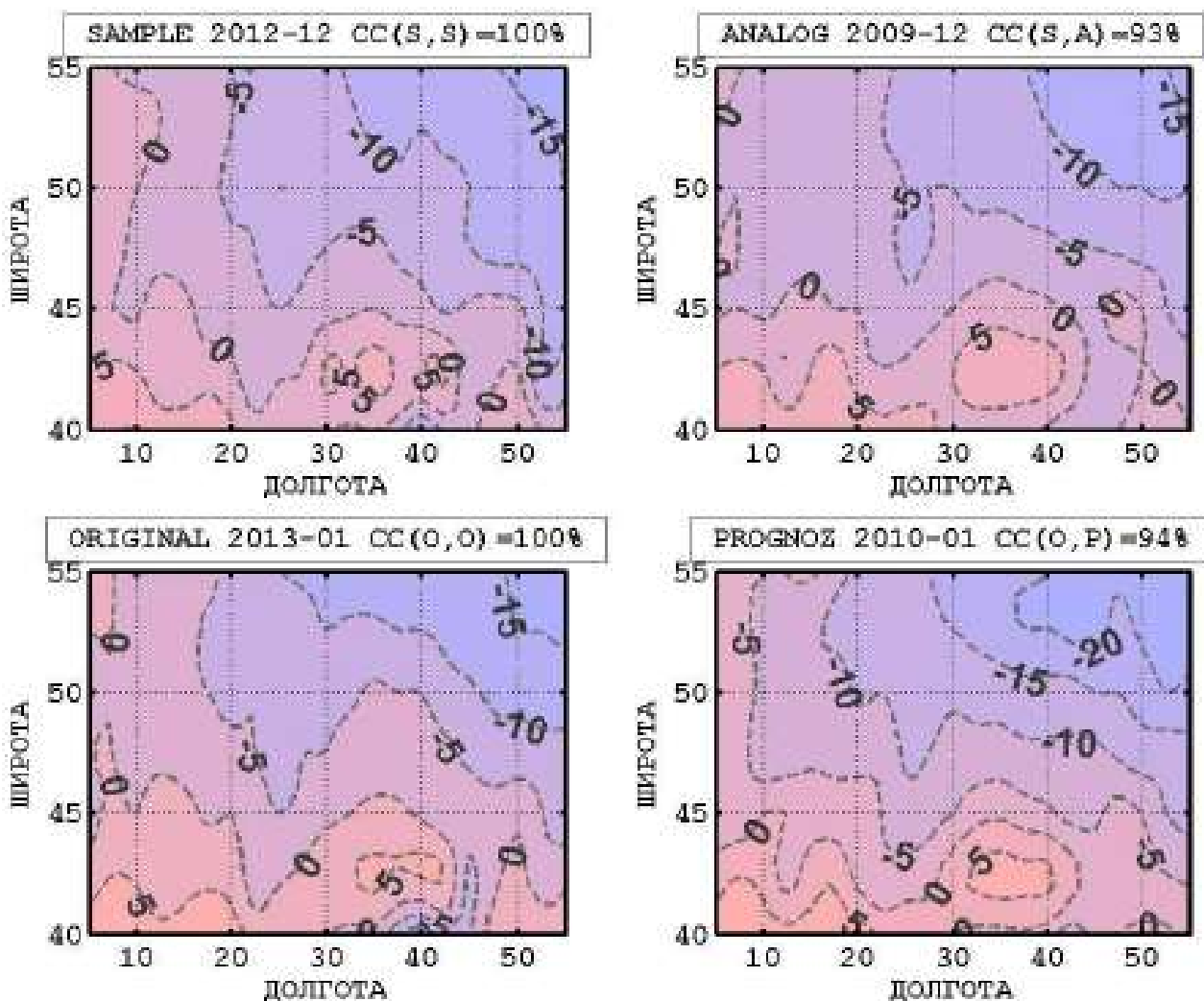


Рисунок 1 – Графіки результатів прогнозування для січня 2013 року.

Figure 1 – The graphs result forecast for January 2013.

Знизу зліва – контурний графік “Істинного” (“Original”) поля. Коефіцієнт кореляції “Істинного” поля із “самим собою”, очевидно, буде завжди дорівнювати 100% (залишено для контролю).

Як було зазначено вище, якість прогнозу визначає значення коефіцієнта кореляції поміж “Істинним” та “Прогнозним” полем.

Знизу справа – поле прогнозне. Прогноз для січня 2013 року буде достатньо близьким полю січня 2010 року.

Використовуючи даний метод, можливо прогнозувати просторову конфігурацію поля, місця розташування його максимумів та мінімумів.

Але навіть при значній схожості конфігурацій “Істинного” та “Прогнозного” полів числові значення контурних ліній виявляються більш-менш різними. Коефіцієнт кореляції $CC(O,P)$, тобто “Істинного” поля / “Прогнозного” поля у даному випадку складає 94% (або 0,94).

Зверху зліва наведений контурний графік для “Зразка”. В даному випадку “Зразок” (“Sample”) – це поле грудня 2012 року.

Зверху справа – контурний графік “Аналога” (“Analog”). Найкращий аналог, знайдений для “Зразка” – поле грудня 2009 року.

“Зразок” та “Аналог” визначали згідно [5].

Для поглибленого аналізу процесу прогнозування визначали значення коефіцієнта кореляції між “Зразком” та його “Аналогом”, тобто $CC(S,A)$.

Коефіцієнт кореляції $CC(S,A)$ у даному випадку складає 93% (0,93), що також побічно характеризує якість прогнозу.

“Просуваючи” прогнози у хронологічному порядку, одержували значну кількість даних, які надалі обробляли методами математичної статистики. При цьому приблизно половина даних за коефіцієнтом кореляції не були нормально розподіленими.

Зважаючи на це, для спільності оцінки аналізували не середнє арифметичне, а медіану, тобто використовували квантілі Q (точніше, персентилі) рівнів 2,5%, 50% та 97,5%.

Персентиль 50% - це медіана, аналог середньоарифметичного, але для будь-якого статистичного розподілення.

Також визначали величину такої статистики, як $MAD ()$ – медіану “абсолютних відхилень від медіани” (Median Absolute Deviation), яка є аналогом стандартного відхилення (для даних із будь-яким статистичним розподіленням):

$$MAD (V) = MEDIAN(ABS(V - MEDIAN(V))),$$

де V – вектор даних.

Статистики для ряду знайдених значень $CC(O,P)$, $CC(S,A)$ та $MAD ()$ наведені в Таблиці.

Таблиця – Статистики значень $CC(O,P)$, $CC(S,A)$ та $MAD ()$.

Table – Statistics of values $CC(O,P)$, $CC(S,A)$ and $MAD ()$.

Найменування показника		Значення показника					
		Поле $TMIN$		Поле $TMAX$		Поле P	
		$CC(S,A)$	$CC(O,P)$	$CC(S,A)$	$CC(O,P)$	$CC(S,A)$	$CC(O,P)$
Квантілі	Q 2,5%	68	51	71	31	50	-22
	Q 50%	90	84	92	85	86	62
	Q 97,5%	96	95	97	95	97	94
Величина $MAD ()$		3	6	3	7	6	19

Дані були розраховані для кожного типу поля окремо. Як видно, у середньому (точніше, при медіані Q 50%) коефіцієнт кореляції між “Зразком” та “Аналогом” буде більше у порівнянні із коефіцієнтом кореляції “Істинне” поле / “Прогнозне” поле, тобто

$$CC(S, A) > CC(O, P).$$

Однак досить часто спостерігаються випадки (див. рис.1), коли величина

$$CC(S, A) < CC(O, P).$$

На рис.2 наведені результати прогнозування для вересня 2001 року.

Як видно, у даному разі вже $CC(S, A) > CC(O, P)$.

В той же час для даних “Зразок” / “Аналог” величина $MAD ()$ буде менше, ніж для даних “Істинне” поле / “Прогнозне” поле. Тобто ступінь розкиду даних при переході від величини “Зразок” / “Аналог” до величини “Істинне” поле / “Прогнозне” поле буде збільшуватися:

$$MAD(S, A) < MAD(O, P).$$

Таким чином, між коефіцієнтом кореляції та величиною $MAD ()$ спостерігається протилежна поведінка.

Враховуючи, що поля $TMIN$, $TMAX$ та поле P – поля природні, слід, безумовно, чекати, що прогнозованість цих полів у різні місяці року буде істотно різною.

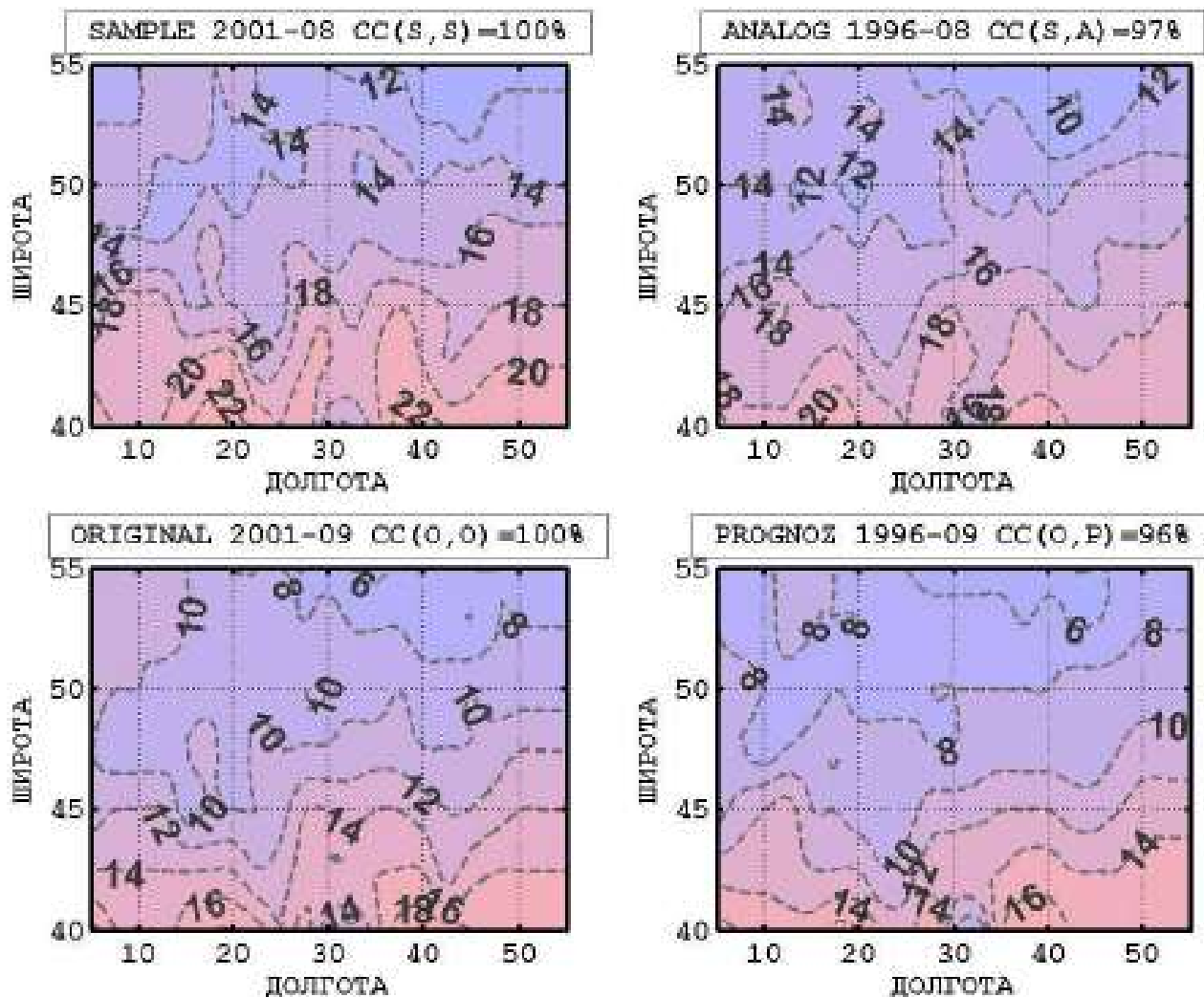


Рисунок 2 – Графіки результатів прогнозування для вересня 2001 року.
Figure 2 – The graphs result forecast for September 2001.

На рис 3 наведені результати прогнозування полів за місяцями.

Розглянуті сумісно графіки для медіани коефіцієнтів кореляції “Зразок” / “Аналог” $MEDIAN(CC(S,A))$ та “Істинного” поля / “Прогнозного” поля $MEDIAN(CC(O,P))$.

Як видно, криві ведуть себе достатньо узгоджено.

Пошук “Аналога” за “Зразком” досить добре здійснюється у місяці 1; 2; 3; 4 та 8; 9; 10; 11; 12, дещо гірше – наприкінці весни та практично до середини літа (місяці 5; 6 та 7).

Однак з точки зору практики найбільш важливим є саме безпосередній прогноз.

Згідно із рис.3, помітне погіршення якості безпосереднього прогнозу для поля $TMIN$ спостерігається у місяці 3; 4; 5; 6 та 7, тобто починаючи із початком весни та закінчуючи серединою літа. При цьому навіть у самому гіршому випадку коефіцієнт кореляції, що характеризує у середньому якість прогнозу, не “падає” менше 78%.

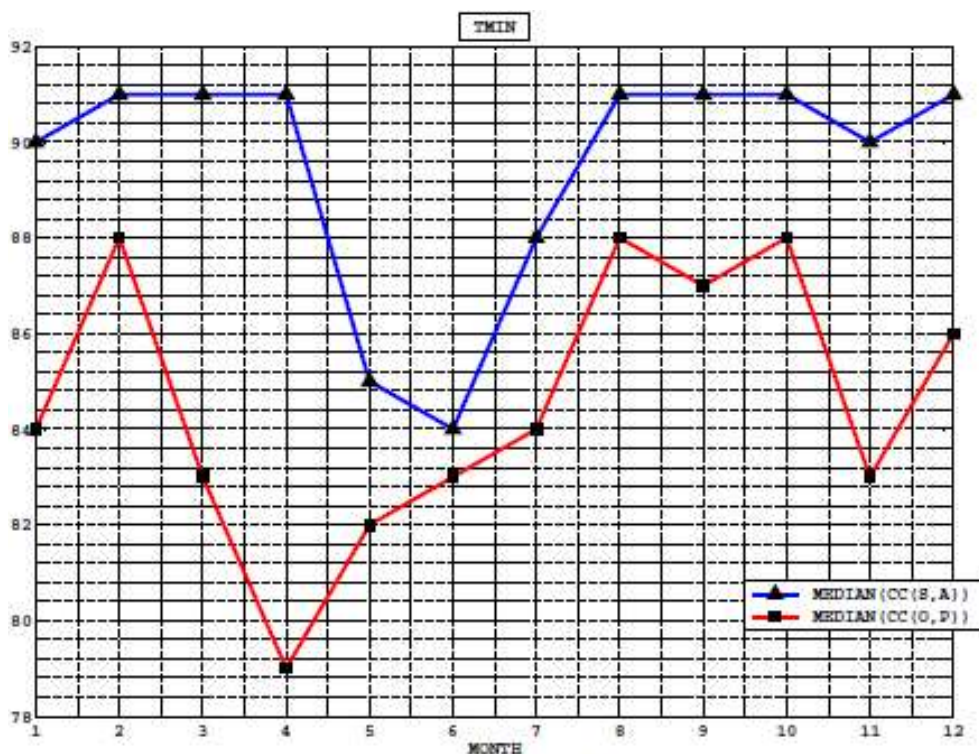


Рисунок 3 – Медіани статистик результатів прогнозу за місяцями для коефіцієнтів кореляції полів *TMIN*.

Figure 3 – The median of statistician results of the forecast along month for correlation coefficients of the *TMIN* fields.

Для поля *TMAX* погіршення прогнозованості також припадає приблизно на цей період (див. рис.4).

Щодо поля приземного тиску *P*, то якість прогнозу катастрофічно падає практично до нуля для травня місяця.

Як показують проведені дослідження, прогнозування метеорологічних полів буде успішним, якщо значення $MEDIAN(CC(O,P)) \geq 70\%$.

Поріг у 70% визначений на основі схожості поведінки багатьох полів та відповідає реальним запитам практики.

Авторами пропонується слідуєча градація якості прогнозу:

погана якість прогнозу – $MEDIAN(CC(O,P)) < 70\%$;

задовільна якість – $MEDIAN(CC(O,P)) = 70 \dots 80\%$;

добра якість – $MEDIAN(CC(O,P)) = 81 \dots 90\%$;

відмінна якість – $MEDIAN(CC(O,P)) > 91\%$.

Із цих позицій результати прогнозу можуть бути представлені наступним чином.

ПОЛЕ *TMIN*:

Задовільна якість прогнозу – місяць 4 (квітень),

всі інші місяці – якість прогнозу добра.

ПОЛЕ *TMAX*:

погана якість прогнозу – місяць 5,

задовільна якість – місяці 4; 6; 7 та 8,

добра якість – місяці 3; 9 ... 12,

відмінна якість – місяці 1 та 2.

ПОЛЕ *P*:

погана якість прогнозу – місяці 3 ... 6; 8 та 9,

задовільна якість – місяці 1; 2; 7; 10 та 11,

добра якість – місяць 12.

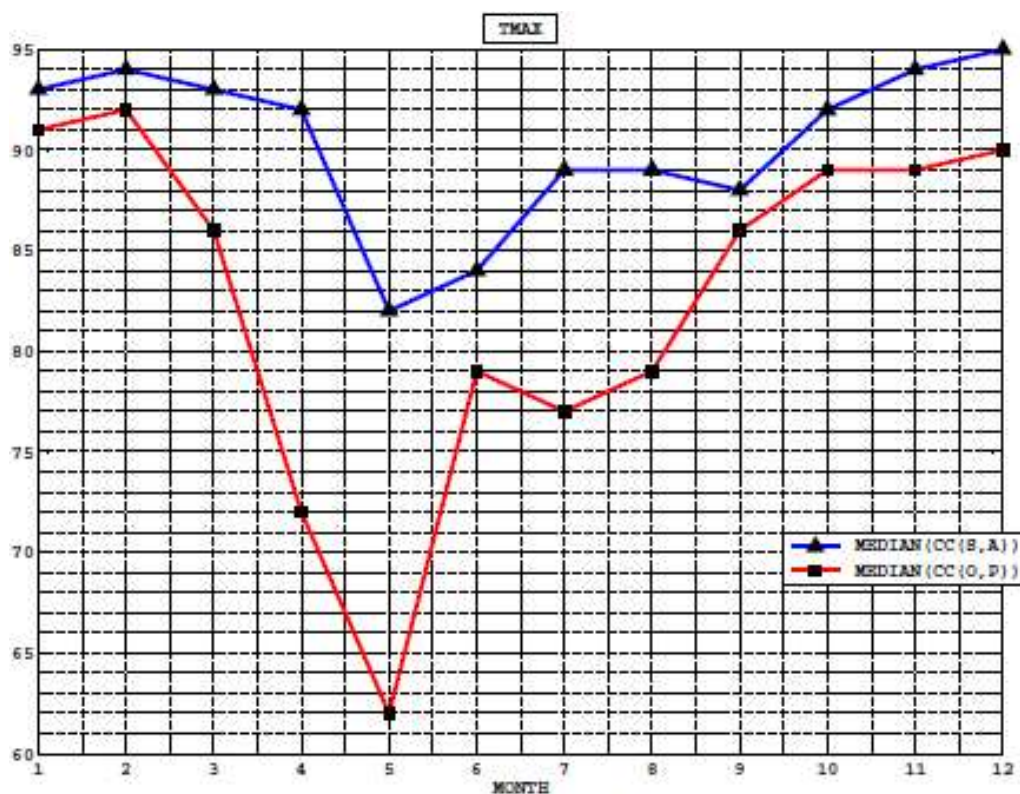


Рисунок 4 – Медіани статистик результатів прогнозу за місяцями для коефіцієнтів кореляції полів *TMAX*.

Figure 4 – The median of statistician results of the forecast along month for correlation coefficients of the *TMAX* fields.

Таким чином, має сенс порівнювати якість прогнозів метеорологічних полів за числом місяців, для яких якість буде поганою (незадовільною). Для поля *TMIN* таких місяців немає, для поля *TMAX* маємо один поганий місяць, поля *P* – шість таких місяців.

На рис.5 наведені дані, що характеризують розкид результатів прогнозування навколо “середнього” значення (медіани).

У даному випадку $MAD(CC(S,A))$ – це “медіана абсолютних відхилень від медіани” для коефіцієнтів кореляції “Зразок”/”Аналог”, значення $MAD(CC(O,P))$ – для коефіцієнтів кореляції “Реальне” поле / “Прогнозне” поле.

Як видно, чим буде більшим розкид отриманих даних(тобто результатів), тим буде гірша якість прогнозу, і навпаки. Тобто криві $MAD ()$ йдуть “вверх” при погіршенні якості прогнозу, або вниз – по мірі їх поліпшення.

На рис 6. представлені відповідні дані для поля *TMAX*.

Порівнюючи графіки на рис. 5 та рис. 6, можливо зробити висновок, що поля *TMIN* та *TMAX* із позиції розкиду даних певним чином відрізняються. А виконання такої статистики, як $MAD ()$, тільки підкреслює різницю між цими полями.

В результаті проведеної роботи розроблений метод промислового прогнозування природніх (у тому числі метеорологічних) полів, що заснований на сучасних ідеях детермінованого хаоса.

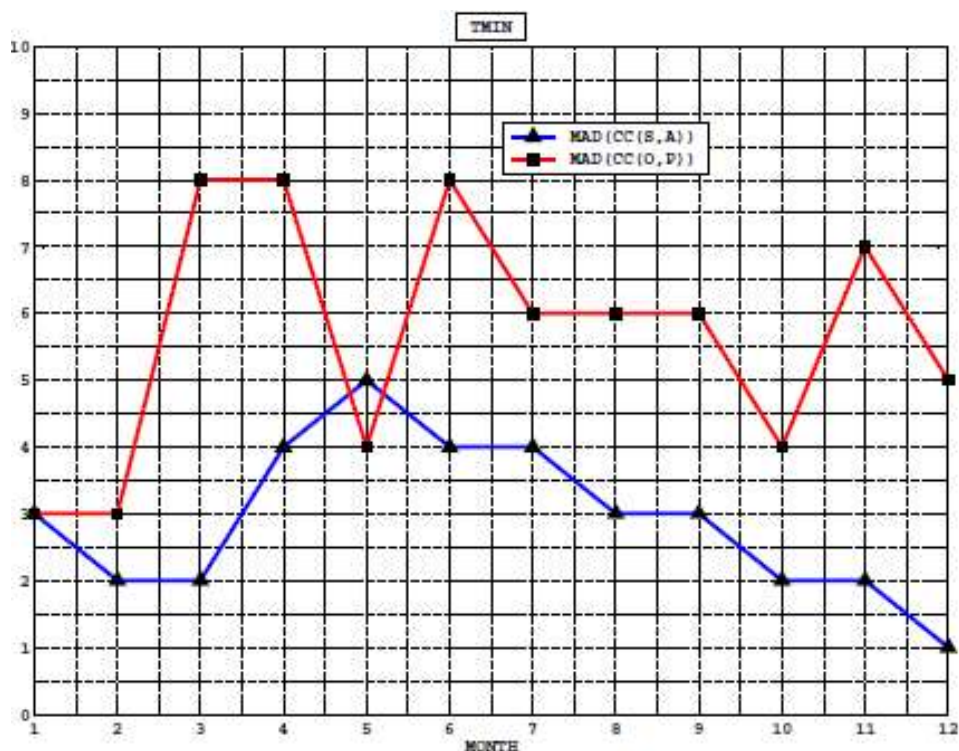


Рисунок 5 – Значення MAD () для статистик результатів прогнозу за місяцями для коефіцієнтів кореляції полів $TMIN$.

Figure 5 – Values of MAD () for statistics of prediction results on along monthes for correlation coefficients by $TMIN$ fields.

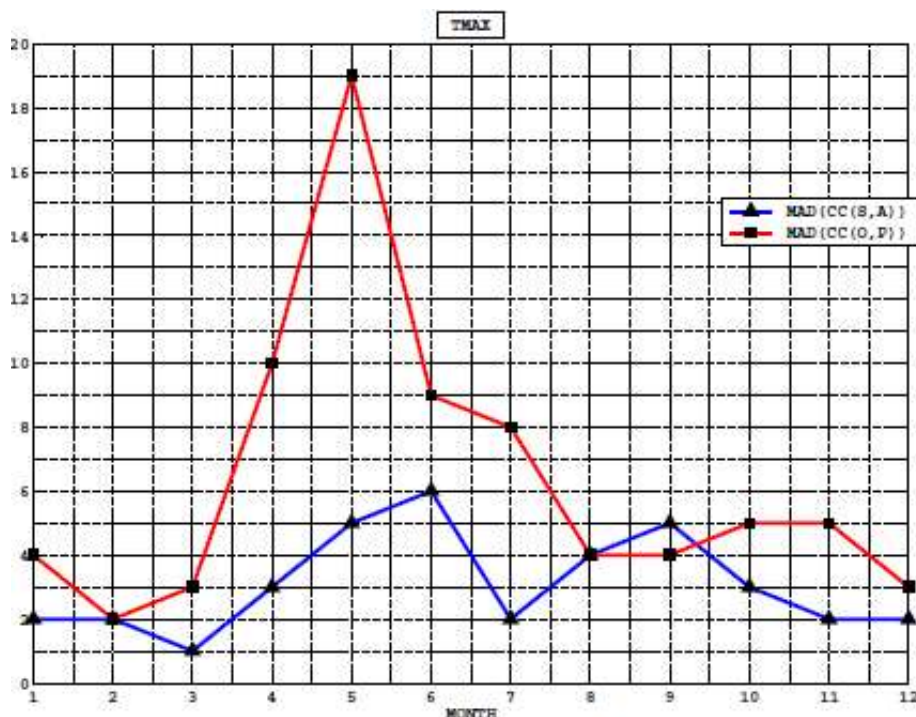


Рисунок 6 – Значення MAD () для статистик результатів прогнозу за місяцями для коефіцієнтів кореляції полів $TMAX$.

Figure 6 – Values of MAD () for statistics of prediction results on along monthes for correlation coefficients by $TMAX$ fields.

Висновки

У роботі розглянутий процес прогнозування трьох метеорологічних полів: мінімальної та максимальної приземної температури повітря, приземного тиску.

Як показано у дослідженні, у випадку природніх процесів, що мають більш-менш виражену періодичність, значно кращі результати прогнозування методом *LA* досягаються при використанні не всіх вихідних даних, а тільки спеціально виділеної їх частки. У цьому зв'язку і був запропонований різновид методу локальної апроксимації – селективна локальна апроксимація (селективна *LA*).

Розроблений метод селективної *LA* підвищує у середньому коефіцієнти кореляції між реальними та прогнозними значеннями полів до 10% у порівнянні із класичним методом, що з позицій прогнозування є досить вагомим результатом.

У статті наведені результати прогнозування полів методом селективної *LA* для кожного місяця відповідного року.

Число аналогів, необхідних для визначення вектору стану, в усіх випадках приймалося рівним одиниці.

Запропоновані спеціальні критерії якості прогнозу, які попередньо були розподілені на дві групи – побічні критерії, які розглядають співвідношення між “Зразком” та “Аналогом”, та критерії прямі, що розглядають співвідношення між “Прогнозним” та “Істинним” полем.

При цьому між побічними та прямими критеріями якості спостерігається достатньо сильний взаємозв'язок: чим краща якість прогнозу з точки зору побічних критеріїв, тим звичайно краща і якість безпосереднього прогнозу.

Також якість прогнозу була розглянута з позицій непараметричного аналога стандартного відхилення, який характеризує розкид даних прогнозування.

Використання міри розкиду даних для характеристики якості прогнозу підкреслює різницю між полями (точніше, їх прогнозованістю).

Показано, що якість прогнозу з позицій “середнього” коефіцієнта кореляції знаходиться у взаємозворотній залежності від “середнього” розкиду даних.

З точки зору промислового прогнозування запропонована градація на погану (незадовільну), задовільну, добру та відмінну якість.

З позицій такої градації порівнюється якість прогнозу для різних полів за числом місяців, для яких якість прогнозу буде незадовільною.

У відповідності з цим для поля *TMIN* таких місяців немає, для поля *TMAX* маємо один такий місяць, для поля *P* – шість таких місяців.

Тобто температурні метеорологічні поля прогноуються значно краще, ніж поле приземного тиску.

Встановлено, що для всіх зазначених полів погіршення якості прогнозу спостерігається у період “початок весни ... середина літа”.

Для поля *P* таке погіршення може бути катастрофічним (промисловий прогноз стає практично неможливим).

Особливо звертається увага на істотну різницю між критеріями якості прогнозу, які пропонують автори статті, та критеріями якості у інших дослідників по цьому питанню. У даному випадку використані найбільш “жорсткі” критерії, які диктуються застосуванням промислового прогнозу.

Напрямок подальших досліджень

Попередньо зазначимо, що автори статті розглядають тільки ті напрямки, за якими проводяться найбільш перспективні дослідження.

Як відомо, локальні методи прогнозування (перш за все метод *LA* нульового порядку) вимагають перетворення часового ряду у траєкторну матрицю, але не розглядають таку матрицю у повному обсязі. На відмінну від цього глобальні методи використовують регресії на основі радіальних базисних функцій (*RBF*), тобто ядерні (англ. *KR*) регресії с *RBF* –ядром, так звані *RBFR*–регресії.

У цьому випадку аналізують хаотичний аттрактор як цілісний об'єкт, тобто оперують із хаотичним аттрактором глобально.

Цей підхід дає певні переваги при прогнозуванні природніх полів у порівнянні із методом локальної апроксимації.

Тому цілком очевидним є проведення також подальшого аналізу особливостей прогнозування полів методом *RBFR*, та порівняння ефективності застосування цих методів.

Перелік посилань

1. Васильев А.П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения.-М: Транспорт, 1986. -248 с.
2. Жосткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог/ Г.И. Глушков, В.Ф. Бабков, И.Ф. Медников и др. М.: Транспорт, 1987. -255с.
3. Артёменко В.А., Петрович В.В. О возможностях прогнозирования температурных временных рядов методом локальной аппроксимации. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 89. К.: Вид-во Націон. трансп. ун-ту, 2013. С.159-171.
4. Артеменко В.А., Петрович В.В. Прогнозування полів природних процесів методами хаотичної динаміки. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 91. К.: Вид-во Націон. трансп. ун-ту, 2014. С.128-138.
5. Артеменко В.А., Петрович В.В. Прогнозування нерегулярних часових рядів методом локальної апроксимації. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 86. К.: Вид-во Націон. трансп. ун-ту, 2012. С.176-195.

**THE FORECASTING FIELDS OF HYDROMETEOROLOGICAL VALUES BY MEANS OF
SELECTIVE LOCAL APPROXIMATION METHOD**

Artemenko Vladuslav A., UT5UDJ, Master of Ecology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Service on Emergencies of Ukraine and National Academy of Science of Ukraine, Hydrochemical Research, Scientific Employee, e-mail: artemenko@uhmi.org.ua, tel. 380936011250, Nauki avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03028, room 34, <https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>

Petrovych Volodymyr V., Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichyv60@ukr.net, tel. +380442807338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138, <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Abstract. Aim of the investigations this estimation further possibilities of the forecast natural (hydrometeorological) fields by means of chaotical dynamic methods.

Method of Local Approximation of the zero order (LA \emptyset -method) was used.

Raw data this mean – month fields of minimal and maximal temperature and air pressure (ground level for all this fields).

At raw data beforehand were not filtered.

Quality of the forecast defined by way of the comparison forecasting values and true values. True and forecasting fields are present itself matrix.

So fields transformed to vector – columns and then found linear factor to correlation between them. Herewith suppose that linear factor to correlation measures quality of the forecast (outside of dependencies from probabilistic law of the raw datas).

For conservation of the goodness of the forecast prediction itself run for one step ahead (one month ahead).

For current vector of the state found only one analogue (for all considered in article examples).

Variety of the method was designed to Local Approximation which authors have named as Selective Local Approximation.

Selective Local Approximation method at the average enlarges factor to correlation between real and forecasting fields on 10% in contrast with classical method of the Local Approximation.

Results of the forecasting hydrometeorological fields by Selective Local Approximation method were presented on each month for corresponding years.

Special criteria quality forecast were incorporated (two groups of such criterion).

Indirect criteria consider correspondence to between “Sample” and “Analog (ue)”.

Direct criteria consider correspondence to between real field and forecasting field.

It was found that between direct and indirect criteria is present enough strong intercoupling (than better forecasting quality with position of the indirect criterion that usually better and quality most forecast).

Also quality of the forecast is considered with position nonparametric analog of the standard deviation (scattering forecasting results).

In article is show that quality of the forecast with position of the average factor of correlations is found as

inverse value with average of scatter data.

With position of the forecasting for public facilities is offered corresponding to categorization quality forecast. In offered categorizations quality forecast is defined numbers of the months (from 12) of which forecast unsatisfactory.

Researches have shown that for all considered fields forecasting grows worse for a period of begin "springtimes ... a midde summer".

Is it specifically chosen very large difference between extremely hard criteria given to article and criteria (quality of the forecasting) used other authors.

Keywords: Selective Local Approximation method, hydrometeorological fields forecasting, forecasting quality criterias.

References

1. Vasil'yev A.P. *Proyektirovaniye dorog s uchetom vliyaniya klimata na usloviya dvizheniya.*-M: Transport, 1986. -248 s. [in Russian].
2. *Zhostkiye pokritiya aerodromov i avtomobil'nykh dorog/* G.I. Glushkov, V.F. Babkov, I.F. Mednikov i dr. M.: Transport, 1987. [in Russian].
3. Artemenko V.A., Petrovich V.V. *O vozmozhnostyakh prognozirovaniya temperaturnykh vremennykh ryadov metodom lokal'noy approksimatsii. Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo.* Vyp. 89. K.: Vyd-vo Natsion. transp. un-tu, 2013. S. 159-171.
4. Artemenko V.A., Petrovych V.V. *Prohnozuvannya poliv pryrodnykh protsesiv metodamy khaotychnoyi dynamiky. Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo.* Vyp. 91. K.: Vyd-vo Natsion. transp. un-tu, 2014. S. 128-138. [in Ukrainian].
5. Artemenko V.A., Petrovych V.V. *Prohnozuvannya nerehulyarnykh chasovykh ryadiv metodom lokal'noyi aproksymatsiyi. Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo.* Vyp. 86. K.: Vyd-vo Natsion. transp. un-tu, 2012. S. 176-195. [in Ukrainian].