УДК 551.509.313+551.580

В.Ф. Мартазинова, Е.К. Иванова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОВ ПЛАВАЮЩЕГО И ТРАДИЦИОННОГО АНАЛОГОВ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ ТЕКУЩИХ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Предложен оригинальный подход в определении года-аналога для использования в долгосрочном прогнозе погоды, не меняющий сущности самого аналога, который относится к методу традиционного аналога. Показана возможность совместного использования информации методов плавающего и традиционного аналогов в представлении ежедневных полей приземного давления в виде разложения в ряд по полиномам Чебышева.

Введение

Одной из важных задач метеорологии является решение проблемы использования информации аналогов синоптических процессов для долгосрочного прогноза. Хотя, как указывал Г.В.Груза [1], использование в прогнозе аналога синоптических процессов есть физическая очевидность, однако, по утверждению Э.Лоренца, аналоговый синоптический процесс через 2-3 дня в большинстве случаев превращается в случайный. Умение успешно использовать информацию аналогов в прогнозе остается до настоящего времени одной из наиболее сложных задач метеорологии [2-8]. Случайные аналоги для прогноза могут использоваться только в пределах естественно-синоптического периода до 5 суток, и это определяется периодом инерции синоптических процессов, по окончании которого два синоптических процесса становятся случайными по отношению друг к другу. Для того чтобы избежать использования случайных аналогичных процессов в прогнозе, необходимо выявить закономерности синоптических процессов, их периодичность, которые позволят успешно применить в прогнозе метод аналога. На основании метода плавающего аналога, предложенного в работе В.Ф.Мартазиновой [9], выявлена двухмесячная квазипериодичность, которая позволила расширить использование

информации аналога для прогноза на более длительное время – около двух месяцев. Однако, подход двухмесячной квазипериодичности для долгосрочного прогноза погоды, который применяется в настоящее время в оперативной практике УкрНИГМИ, прогнозирует погодные условия через два месяца при сохранении исходного сезонного фона. Наилучшим для данного метода долгосрочного прогноза погоды является развитие синоптических процессов двухмесячной квазипериодичности на соответствующем прогнозу сезонном фоне. Автоматическое присвоение синоптическим процессам через два месяца аналогов двухмесячной квазипериодичности будет создавать определенную ошибку прогноза, и поэтому для уменьшения ошибки при работе расчетной схемы предусмотрено распознавание синоптических процессов аномальных погодных условий по предшествующим им аналогам за два месяца назад. Для этого ниже предлагается новый подход совместного использования традиционного и плавающего методов аналога.

Основные положения методов плавающего и традиционного аналогов, метода эталонов

Метод «плавающий аналог» является продолжением работ по традиционному методу аналогов атмосферных процессов. В отличие от традиционного метода аналога (ТА), т.е. когда на некоторых участках земной поверхности в течение некоторого времени наблюдается синоптический процесс, аналогичный в прошлом на той же территории и в те же календарные сроки, то текущие процессы будут развиваться аналогично. Метод плавающего аналога снимает ограничение совпадения барических образований во времени и пространстве.

Метод плавающего аналога, используя известные критерии аналогичности: критерий геометрического подобия ρ и минимакса расстояния η, позволяет выявить наилучшую пространственную связь двух полей, в то время как метод ТА имеет только одну определенную связь между двумя полями. Различие возможностей двух методов аналогов показано на рис. 1.

Как видно на рисунке 1, метод ПА позволил построить автокорреляционную функцию полей геопотенциала на среднем уровне тропосферы, из которой выявлена двухмесячная квазипериодичность крупномасштабных атмосферных процессов во все сезоны года в Северном полушарии, в то время как метод ТА таких связей не обнаруживает.

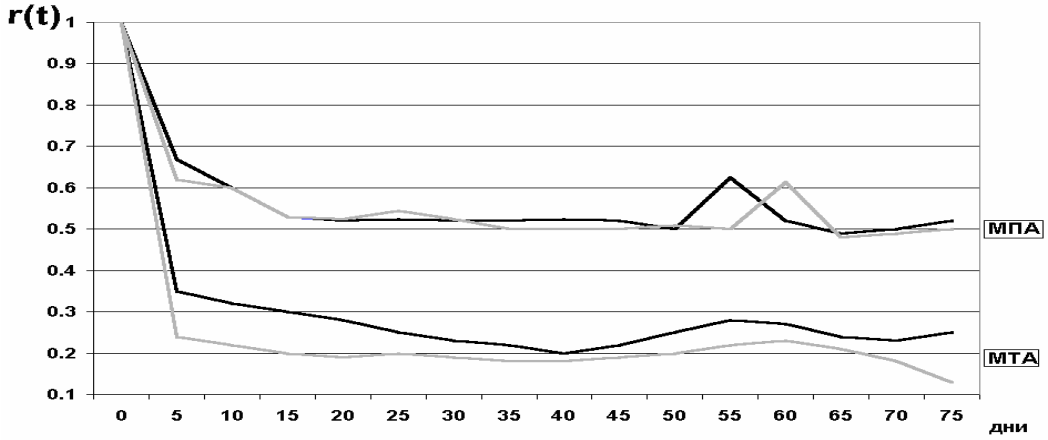

Рис. 1. Автокорреляционная функция r(t) поля геопотенциала на уровне 500 гПа Северного полушария (*черный – январь, серый – июль*) (В.Ф.Мартазинова, 1986 г.)

Это объясняется тем, что традиционный аналог определяет аналогичные процессы двух случайных процессов, схожих в течение 3-5 дней естественного синоптического периода, в то время как плавающий аналог на протяжении двух месяцев имеет аналогичные процессы двухмесячной квазипериодичности.

Метод “эталонов”, разработанный проф. В.Ф.Мартазиновой [12], является универсальным методом объективной типизации синоптических процессов. Метод “эталона” позволяет выявить наиболее вероятный синоптический процесс, который формирует основные погодные условия сезонов каждого десятилетия.

Классификация синоптических процессов осуществляется с помощью метода аналогов полей давления по известным критериям аналогичности ρ и η . Геометрическое подобие полей определяется критерием ρ, количественный критерий η оценивает близость по абсолютным значениям двух барических полей. В каждом классе синоптических процессов отмечается одно поле давления, которое со всеми процессами класса имеет $\rho \geq 0{,}3$; $\eta \leq 1$ и называется эталоном данного класса полей. Класс с наибольшим (наименьшим) количеством аналогичных синоптических ситуаций является наиболее (наименее) вероятным [10-12]. Метод эталонов позволяет обнаружить эталон – наиболее информативное поле класса синоптических процессов.

Каждый месяц последнего десятилетия в результате проведенных исследований получил классификацию синоптических процессов в виде нескольких эталонов синоптических ситуаций. Это позволило создать

каталог эталонов синоптических процессов каждого месяца последнего десятилетия.

Также предлагается представлять крупномасштабные атмосферные процессы над территорией Атлантико-Европейского сектора в виде разложения в ряд по полиномам Чебышева, которые используются для аналитического представления барического поля на ограниченной территории [13-15].

Каждый коэффициент разложения приземного барического поля в ряд по полиномам Чебышева имеет свою климатическую часть в синоптическом процессе. Если коэффициенты полиномов низкого порядка отвечают за фон синоптического процесса, на котором происходит развитие мелких барических образований, то коэффициенты полиномов более высокого порядка отвечают за мелкие барические образования. При этом сохраняется использование двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов и предлагается совместное использование информации методов плавающего и традиционного аналога, а также метода эталонов.

Использование каталога эталонов синоптических процессов для определения года-аналога текущим синоптическим процессам

Метод подбора аналогов синоптических процессов успешно развивался на протяжении XX столетия благодаря работам Б.П.Мультановского, Г.Я.Вангенгейм, А.А.Гирса, С.Т.Пагавы, Н.И.Зверева, Г.В.Грузы, Н.А.Багрова и др. Во многих методах долгосрочного прогноза широко применяются аналогичные процессы из синоптического архива многих лет. С развитием вычислительной техники появились возможности улучшения способов подбора аналогов с помощью количественных критериев аналогичности [5-9, 12, 16, 17]. Ранее для задач долгосрочного прогноза погоды аналогичные процессы для месяца подбирались преимущественно по осредненным за месяц полям аномалии температуры воздуха. Такой подход не позволял ориентироваться в изменении температурного режима внутри месяца. В результате при одинаковых среднемесячных полях аномалии температуры воздуха появлялись расхождения изменения температурного поля внутри месяца, что приводило к низкой оправдываемости долгосрочного прогноза погоды. Ниже предлагается другой новый объективный подход.

В результате классификации синоптические процессы каждого месяца можно представить с помощью нескольких эталонов [10-12]. Эти

эталоны объективно показывают, какие синоптические процессы и с какой вероятностью отмечались на протяжении любого месяца из архива. Представим архив ежедневных синоптических процессов для каждого месяца в архивном году через эталоны:

$$Q_{lk} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_h \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где l – номер года в архиве, k – номер месяца в l -ом году, h – количество классов синоптических процессов lk –го месяца, i соответствует классу, при $i=1$ относится к классу большей вероятности, при $i= h$ – к классу наименьшей вероятности, Q_i – эталон i – го класса.

Q_i есть поле давления воздуха в узлах географической сетки:

$$Q_i = (q_1,...,q_j,...,q_K), \qquad (2)$$

где K – количество узлов географической сетки (равное 147).

Общий архив эталонов за десять лет можно записать так:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1k} & \cdots & Q_{112} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{l1} & Q_{l2} & \cdots & Q_{lk} & \cdots & Q_{l12} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{101} & Q_{102} & \cdots & Q_{10k} & \cdots & Q_{1012} \end{bmatrix}, \qquad (3)$$

где Q_{kl} – эталоны lk –го месяца.

Текущие поля за последние два месяца также классифицируются на эталоны, и тогда эталоны этих месяцев можно записать как Q_{k-1}, Q_k .

С помощью критериев аналогичности ρ и η на первом шаге определяется наибольшее значение $(Q_1)_k$ с $(Q_1)_{lk}$ из архива.

На втором шаге выявленный месяц-год с наибольшими ρ для Q_{1lk} по $(Q_l)_k$ проверяется на аналогичность с другими эталонами текущего месяца по ρ. Тот год, в котором k-тый месяц отмечает наибольшее подобие с эталонами текущего месяца, принимается за год-аналог, синоптические процессы которого могут использоваться для долгосрочного прогноза. Такая же процедура определения года-аналога используется для Q_{k-1}.

В качестве примера для синоптических процессов января 2008 г. был отобран по эталонам наилучший год-аналог 2001 г. На рисунке 2 представлены поля-эталоны наиболее вероятных классов января 2008 г. и 2001 г., критерии подобия этих полей – ρ = 0,79 и η = 0,73.

Таким образом, предложенный новый подход в определении аналогов не меняет сущность самого аналога, который относится к методу традиционного аналога.

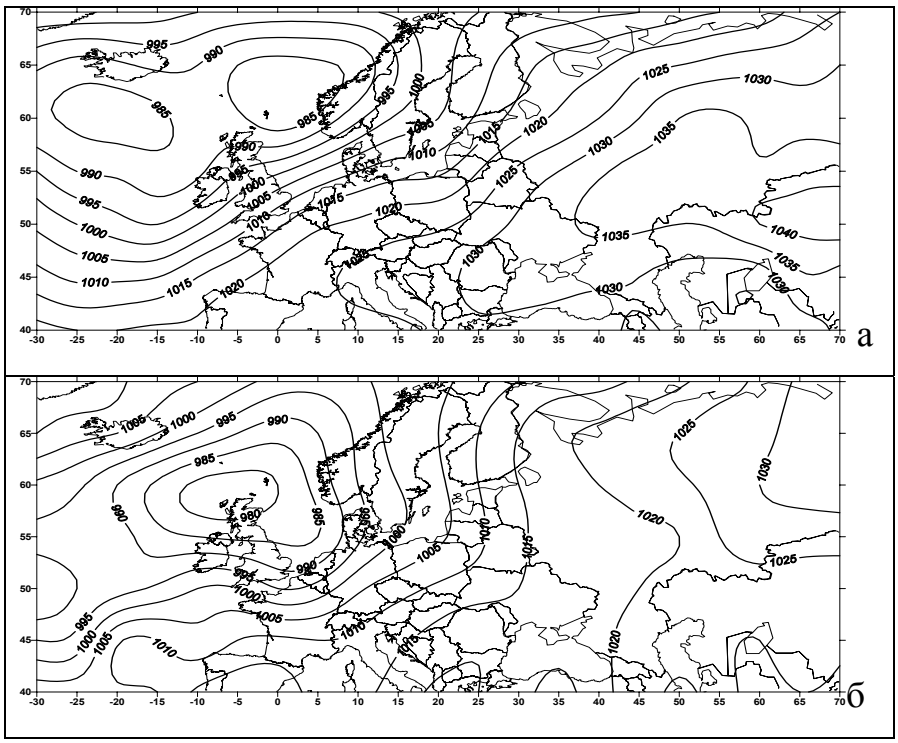

Рис. 2. Эталоны наиболее вероятных классов синоптических процессов января 2008 г. (а) и 2001 г. (б)

Использование двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов для аналога текущим синоптическим процессам

Двухмесячная квазипериодичность атмосферных процессов на территории Северного полушария была обнаружена с помощью метода плавающего аналога [9]. В отличие от традиционного метода аналога метод плавающего аналога имеет сезонность, которая зависит от характера градиента температуры суша-океан, полюс-экватор. В результате этого аналогичные процессы с двухмесячной квазипериодичностью имеют смещение в пространстве в зависимости от сезона, которое отмечено в таблице 1 из [9].

Поля давления у земли текущего месяца могут ”плавать” от долготы до долготы и от широты до широты с шагом 5^0 по полю давления два месяца назад и находить себе лучшее подобие. С помощью метода ПА можно находить положение текущих полей относительно их полей двухмесячной квазипериодичности или можно использовать климатические смещения от сезона к сезону (табл. 1).

Таблица 1

Сезонное смещение двухмесячной аналогичности атмосферных процессов относительно текущих в Северном полушарии

Текущий месяц	Месяц-аналог	смещение $\Delta\varphi^0$	$\Delta\lambda^0$
Январь	Ноябрь	0	-10
Февраль	Декабрь	0	-10
Март	Январь	0	-10
Апрель	Февраль	-5	-5
Май	Март	-5	-10
Июнь	Апрель	-5	-15
Июль	Май	-10	0
Август	Июнь	-5	+20
Сентябрь	Июль	-10	+20
Октябрь	Август	0	+15
Ноябрь	Сентябрь	10	+15
Декабрь	Октябрь	5	±15

Метод плавающего аналога, используя известные критерии аналогичности ρ и η, позволяет выявить наилучшую пространственную связь двух полей, в то время как метод ТА имеет только одну определенную связь между двумя полями.

Таким образом, все синоптические процессы в архиве независимо от времени, сезона и года имеют аналоги двухмесячной периодичности.

Совместное использование информации года-аналога и двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов в представлении текущих синоптических процессов

Использование двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов в долгосрочном прогнозе погоды имеет один недостаток, который приводит к определенной ошибке в прогнозе. Упрощенное применение двухмесячной квазипериодичности состоит в том, что каждому ежедневному полю можно присвоить его поле двухмесячной

квазипериодичности, при этом необходимо учитывать только сезонное смещение. Однако присвоенное барическое поле двухмесячной квазипериодичности имеет свой сезонный фон, который описывается первыми членами разложения барического поля в ряд по полиномам Чебышева. Поэтому, если использовать фон синоптических процессов года-аналога, который относится к традиционному методу аналогов, т.е. на той же территории и в тот же сезон, то использование двухмесячной квазипериодичности будет вносить в разложение свою неполную информацию. Это отличие будет определяться в замене первых членов разложения полей двухмесячной квазипериодичности на первые члены разложения поля давления из года-аналога.

Каждое ежедневное поле давления P_t можно представить с помощью его аналога – поля давления P_p двухмесячной квазипериодичности в виде разложения в ряд по полиномам Чебышева:

$$P_p = A_{00}(\Delta\varphi,\Delta\lambda,t\text{-}60) + A_{10}(\Delta\varphi,\Delta\lambda,t\text{-}60)\,\psi_1(x)\,\psi_0(y) + \\ + A_{01}(\Delta\varphi,\Delta\lambda,t\text{-}60)\,\psi_0(x)\,\psi_1(y) + \ldots + A_{ks}(\Delta\varphi,\Delta\lambda,t\text{-}60)\,\psi_k(x)\,\psi_s(y), \qquad (4)$$

где $\Delta\lambda$ и $\Delta\varphi$ показывают сезонное смещения по долготе λ и широте φ относительно текущего поля P_t.

Каждое ежедневное поле давления P_t можно представить с помощью традиционного метода аналога – поля давления P_a в виде разложения в ряд по полиномам Чебышева:

$$P_a = A_{00} + A_{10}\,\psi_1(x)\,\psi_0(y) + A_{01}\,\psi_0(x)\,\psi_1(y) + \ldots + A_{ks}\,\psi_k(x)\,\psi_s(y). \qquad (5)$$

Однако восстановленные с помощью разложений (4) и (5) поля P_p и P_a:

$$P_p \approx P_t \quad \text{и} \quad P_a \approx P_t, \qquad (6)$$

имеют небольшие отличия относительно их аналога – текущего поля P_t. Разница между P_p и P_t появляется за счет первых членов разложения (4), которые сохраняют сезонность крупномасштабной циркуляции поля P_p. Разница между P_a и P_t появляется за счет последних членов разложения (5), которые характерны для поля традиционного аналога. Тогда преобразованное аналитическое представление (4) с помощью традиционного аналога для поля давления P_t будет иметь более точный вид:

$$P_t = A_{00}(t) + A_{10}(t)\,\psi_1(x)\,\psi_0(y) + A_{01}(t)\,\psi_0(x)\,\psi_1(y) + A_{11}(t)\,\psi_0(x)\,\psi_1(y) + \\ + A_{21}(\Delta\varphi,\Delta\lambda,t\text{-}60)\,\psi_k(x)\,\psi_s(y) + \ldots + A_{ks}(\Delta\varphi,\Delta\lambda,t\text{-}60)\,\psi_k(x)\,\psi_s(y) = P' + P'', \qquad (7)$$

где P' – первые члены разложения (5); P"– члены разложения при *k,s>1* (4).Для примера использования информации традиционного и плавающего аналогов в виде разложения (7) приведем расчет поля давления на 6 января 2008 г. с учетом поля 7 ноября 2007 г. (двухмесячной квазипериодичности P_p) и поля 5 января 2001 г. (традиционного аналога P_a) (рис. 3).

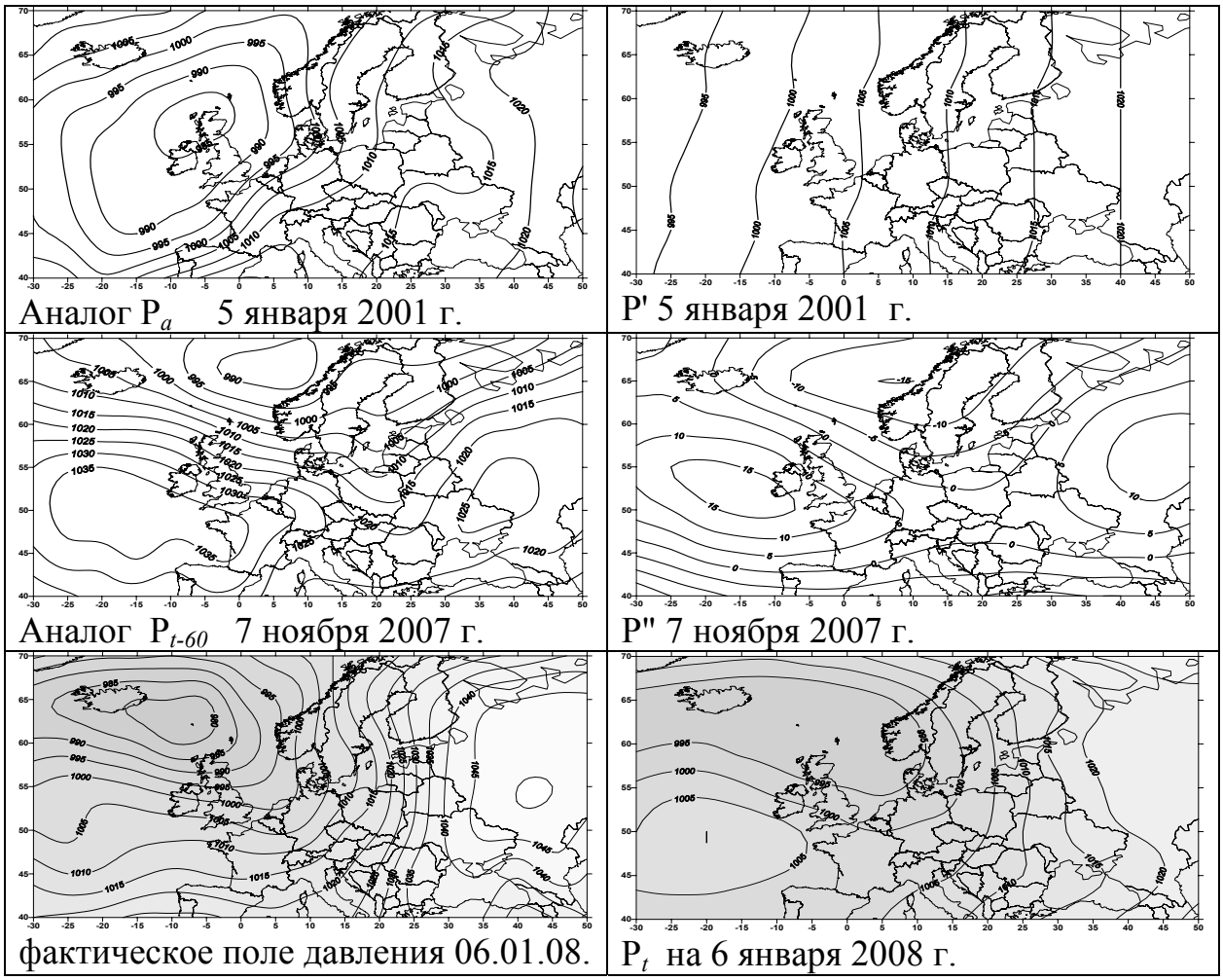

Рис. 3. Расчетное поле приземного давления на 6 января 2008 г. с использованием информации традиционного и плавающего аналогов

Как видно из рисунка 3, наилучшее подобие поля давления для 6 января 2008 г. в годе-аналоге отмечается 5 января 2001 г. Для двух полей основными барическими образованиями отмечаются обширный глубокий циклон над Северной Атлантикой и область высокого давления над Восточной Европой.

Аналог двухмесячной квазипериодичности имеет отличительное расположение барических образований на территории Атлантико-

Европейского сектора. Однако такое отличие можно уменьшить, если использовать смещение аналогов двухмесячной квазипериодичности (табл. 1). Расчетное поле на 6 января 2008 г. с применением информации традиционного аналога 5 января 2001 г. и аналога двухмесячной квазипериодичности 7 ноября 2007 г. с сезонным смещением при сравнении с фактическим полем показывает успешную аналогичность при $\rho = 0{,}74$ и $\eta = 0{,}99$.

Таким образом, в данной статье показана возможность совместного использования информации методов плавающего и традиционного аналогов в представлении ежедневных полей приземного давления для долгосрочного прогноза погоды.

* *

Запропоновано оригінальний підхід у визначенні року-аналога для використання в довгостроковому прогнозі погоди, що не змінює суті самого аналога, який належить методові традиційного аналога. Показано можливість сумісного використання інформації методів плаваючого і традиційного аналогів для представлення щоденних полів приземного тиску у вигляді розкладання в ряд за поліномами Чебишева.

* *

1. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Об использовании аналогов для оценки предсказуемости и долгосрочного прогноза полей среднемесячной температуры воздуха // Метеорология и гидрология. – 1981. – №1. – С. 13-22.
2. *Гирс А.А., Кондратович К.В.* Методы долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 343 с.
3. *Лоренц Э.* Некоторые аспекты предсказуемости поведения атмосферы // Сб. Долгосрочные и среднесрочные прогнозы погоды. – М.: Мир, 1982. – С.7-10.
4. *Livezey R.E., Barnston A.G., Neumeister B.K.* Mixed analog/persistence prediction of seasonal mean temperatures for the USA // Int. J.Climatol, 1990. – №10. – P. 329-340.
5. *Васюков К.А., Зверев Н.И., Педь Д.А.* Прогноз синоптических процессов на текущий период с помощью аналога // Метеорология и гидрология. – 1962. – № 1. – С. 27-33.
6. *Мартазинова В.Ф.* К вопросу об использовании аналоговых полей метеоэлементов для прогноза // Тр. УкрНИГМИ, 1986.– Вып. 219. – С. 37-42.
7. *Багров Н.А.* О некоторых вопросах подыскания аналога для данного образа // Тр. ГМЦ СССР. – 1973. – Вып. 106. – С. 78-104.

8. *Батырева О.В., Вильфанд Р.М., Лукиянова Л.У., Мерцалова Н.И. и др.* Подбор аналогов к полю приземного давления с помощью индексов аналогичности // Инф. сб. Проблемы долгосрочного прогноза и короткопериодных колебаний климата, совершенствование обеспечения потребителей этой продукцией. – С.Пб.: Гидрометеоиздат, 1995. – С. 64-69.
9. *Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А.* Определение квазипериодичности атмосферных процессов на Северном полушарии с помощью метода плавающий аналог // Тр. УкрНИГМИ. – 1986. – Вып. 219. – С. 42-46.
10. Martazinova V.F. Progress report on long-range weather forecasting in the Ukraine // Long-range forecasting progress report for 1997/1998. WMO/TD. – 1999. – № 967. – P. 79-82.
11. *Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Остапчук В.В., Прохоренко В.М.* Характер изменения среднесуточной температуры воздуха на территории Украины в последние десятилетия и физико-статистический метод его прогноза с длительной заблаговременностью // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 1999. – Вип. 247. – С. 36-48.
12. *Martazinova V.* The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs // J. Environ. Sci. Eng., 2005. – 7. – P. 61-65.
13. *Багров Н.А.* Аналитическое представление полей // Тр. ЦИП. – 1958. – Вып. 64. – С. 3-25.
14. *Багров Н.А., Зверев Н.И.* Способ прогноза поля геопотенциала H_{500} на средние сроки // Тр. ЦИП. – 1961. – Вып. 108. – С. 3-22.
15. *Зверев Н.И., Пурганская И.П.* Практические приемы разложения полей метеорологических элементов по полиномам Чебышева // Тр. ЦИП. – 1963. – Вып. 123. – С. 78-86.
16. *Груза Г.В., Рейнтенбах Р.Г.* О применении принципа аналогичности в исследовании предсказуемости атмосферных процессов и в решении задач прогноза // Метеорология и гидрология. – 1973. – № 11. – С. 22-31.
17. *Барг Б., Бёме В., Кубаш Х.* Объективный способ подбора аналогов и его применение при составлении прогнозов погоды малой заблаговременности // Проблемы общей циркуляции атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – С. 121-125.

Украинский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт, Киев