

С.В. Морозова

**ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗА
ЭКСТРЕМУМОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

S.V. Morozova

**PHYSICAL-STATISTICAL METHOD OF FORECASTING
EXTREMA OF METEOROLOGICAL VARIABLES**

Предлагается физико-статистический метод прогноза экстремумов метеорологических величин с месячной заблаговременностью на основе определения «эталонных» полей и нового принципа аналогичности атмосферных процессов. Описаны этапы расчетной схемы составления прогноза, причем наиболее подробно – блоки для работы в оперативном режиме. Приведена оправдываемость прогнозов волн тепла и холода и периодов выпадения осадков.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз погоды, аналогичность атмосферных процессов, принцип периодических составляющих.

The regional model of physical-statistical forecast of sudden changes of day-night air temperature is suggested. The stages of the rated scheme are described and the units for the work in operative regime are described in details. The justification of test results of dependent and independent choice is determined.

Key words: long-term weather forecast, similarity in atmospheric processes, the principle of periodic components.

Общий температурно-влажностный режим месяца создаётся определёнными синоптическими процессами, вызывающими потепления, похолодания и периоды выпадения осадков. Понятно, что эти периоды могут совершенно произвольно чередоваться внутри месяца, но общий температурно-влажностный режим остается постоянным. Поэтому прогнозы среднемесячных и среднесезонных аномалий зачастую не удовлетворяют запросам потребителей. Наибольшую информативную ценность имеют прогнозы экстремумов метеорологических величин, но оправдываемость их, к сожалению, ниже оправдываемости прогнозов среднемесячных и среднесезонных аномалий. Поэтому разработка новых методов прогноза экстремумов метеорологических величин является важной и актуальной фундаментальной научной задачей.

В настоящей работе излагается метод прогноза экстремумов метеорологических величин, позволяющий прогнозировать резкие перепады средней суточной температуры воздуха и периоды выпадения осадков с месячной заблаговременностью.

Основным методом прогнозирования для синоптических и физико-статистических моделей остается метод аналогов, который привлекает внимание кажущейся простотой, физической очевидностью и позволяет автоматически учесть многие линейные и нелинейные связи системы океан-атмосфера-суша. Традиционный принцип аналогичности заключается в том, что, если на некотором участке земной поверхности наблюдается синоптический процесс, идентичный наблюдавшемуся в прошлом на той же территории и примерно в те же календарные сроки, то допускается, что текущий процесс в течение некоторого времени будет развиваться аналогично наблюдаемому в прошлом [Руководство, 1968, 1972].

При разработке физико-статистического метода прогноза экстремумов метеорологических величин расширен традиционный принцип аналогичности и использован метод «плавающего аналога», предложенный В.Ф. Мартазиновой на основе сочетания двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов с обобщением традиционного понятия аналогичности [Мартазинова и др., 1987, 1987а, 1991, 1991а, 1986].

Под методом «плавающего аналога» понимается такой способ определения аналогичности атмосферных процессов на Северном полушарии, когда снимается условие их совпадения над одной и той же территорией. Таким образом, при подборе аналога следует учитывать лишь наилучшее геометрическое подобие фигур планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) и текущего синоптического процесса, допуская их географическое несовпадение, если используется АТ-500 гПа. Если же прогноз составляется по приземной карте, то следует стремиться к наилучшему сходству полей в распределении знака барического поля, исключая условие совпадения географических координат.

Учитывая указанные замечания, разработан метод долгосрочного прогнозирования экстремумов метеорологических величин в течение месяца.

Исходными для составления прогноза являются архив барических полей на пространстве I естественного синоптического района (е.с.р.), ограниченного меридианами 30° з.д. и 70° в.д. и параллелями 40° и 70° с.ш., представленный ежедневными данными о давлении воздуха на уровне моря, снятых в узлах регулярной сетки с шагом по широте и долготе 5° , дни резких перепадов средней суточной температуры воздуха и дни выпадения осадков. Дни резких перепадов средней суточной температуры воздуха определялись с помощью введения понятия волн тепла и холода. Под волной тепла (холода) понималось повышение (понижение) средней суточной температуры воздуха не менее чем на 10°C продолжительностью 2 и более дней. Пики волн тепла (холода) считались днями резких перепадов средней суточной температуры воздуха.

Расчетная схема составления прогноза включает в себя следующие этапы:

1. В каждом месяце определяются даты резких перепадов средней суточной температуры воздуха отдельно для случаев волн тепла и волн холода и даты

выпадения сильных осадков, суточное количество которых превышает 8 мм в сутки. Такие осадки названы сильными.

2. Согласно определенным датам создается выборка полей давления из архива отдельно для волн тепла и волн холода в каждом месяце, а также для дней с сильными осадками. Для лучшего представления процесса потепления (похолодания) для каждой волны выбирается по два поля – в день пика волны и в день, предшествующий ему.

3. В группах барических полей, относящихся к волнам тепла, к волнам холода и дням с сильными осадками отдельно для каждого месяца определяются эталонные поля давления воздуха по формулам:

$$C(i, p) = \frac{1}{q} \sqrt{\sum_{j=1}^q (x[i, j] - x(p, j))^2}, \quad (1)$$

$$i, p = 1, k;$$

$$q = 147,$$

где $C(i, p)$ – параметр близости (удаленности) между i -м и p -м барическими полями; $x(i, j)$, $x(p, j)$ – давление в j -й точке i -го и p -го полей; k – число выбранных полей; q – число узлов регулярной сетки.

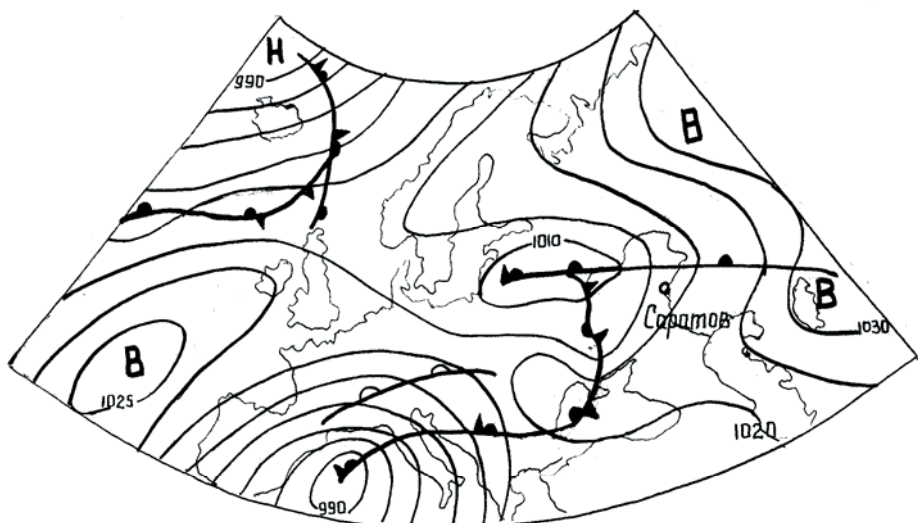
По формуле

$$S(i) = \frac{1}{k} \sum_{p=1}^k C(i, p) \quad (2)$$

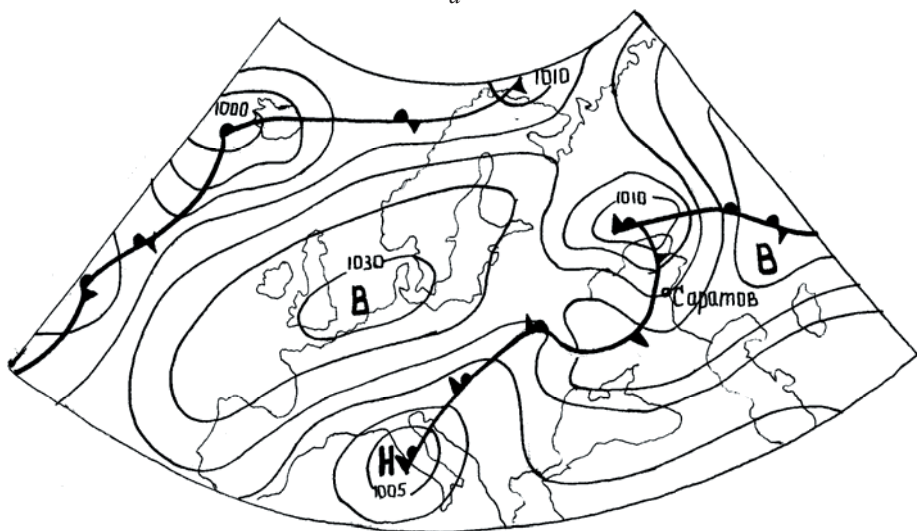
определялось подобие i -го поля со всеми остальными. Наименьшее значение $S(i)$ указывает, что i -е поле наиболее близко ко всем p -полям, и поэтому его можно считать эталоном для этих полей. Параметры $C(i, p)$ и $S(i)$ позволяют объективно выделять эталонное поле давления – конкретное гидрометеорологическое поле, наиболее характерное в данной выборке при сходных процессах.

Синоптический анализ эталонных полей давления для каждого месяца показал, что резкие потепления в каждом месяце вызываются чаще всего распространением на территорию ядер субтропического происхождения или тёплыми секторами полярно-фронтовых депрессий. Как пример, на рис. 1 представлено эталонное поле давления интенсивных волн тепла марта для региона Нижнего Поволжья.

Резкие похолодания в каждом месяце определяются при поступлении на территорию арктических ядер или холодных воздушных масс в тылу циклона. Как пример, на рис. 2 представлено эталонное поле давления интенсивных волн холода апреля при похолодании в Нижнем Поволжье.

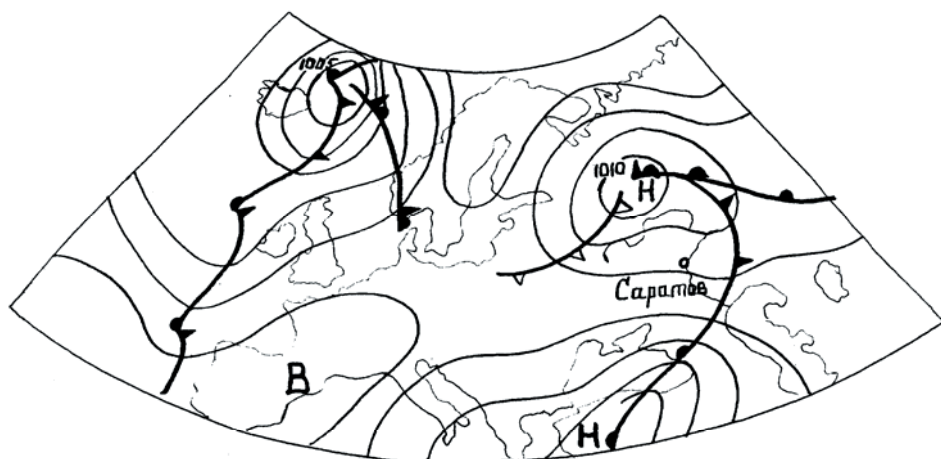


a

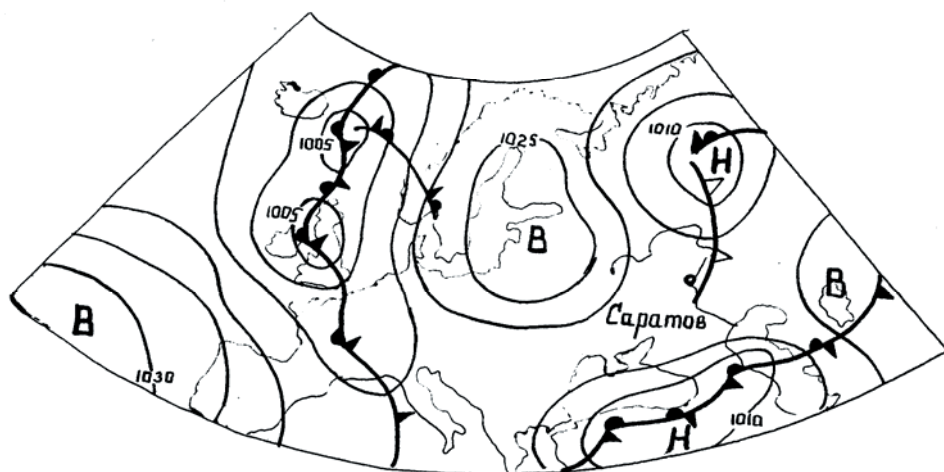


b

Рис. 1. Эталонные поля давления интенсивных волн тепла марта:
a – 24 марта 1991 г., б – 25 марта 1991 г.



a



б

Рис. 2. Эталонные поля давления интенсивных волн холода апреля:
а – 24 апреля 1991 г., б – 25 апреля 1991 г.

Эталонное поле сильных осадков предполагает наличие над территорией, для которой составляется прогноз, обширной области низкого давления (рис. 3).

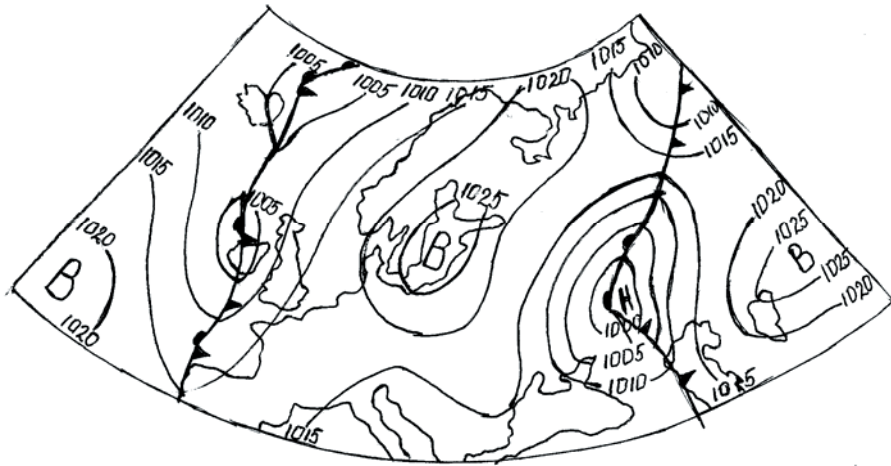


Рис. 3. Эталонное поле давления интенсивных осадков – 29 сентября 1993 г.

Таким образом, на данном этапе получены эталонные поля давления, реальные гидрометеорологические поля, связанные с определенным типом волн в каждом месяце, и наиболее характерные фактические поля, определяющие периоды выпадения осадков.

4. К выявленным эталонным полям давления подбираются аналоги по способу «плавающий аналог» на основе двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов. Согласно этому принципу, аналоговые поля отыскиваются среди ежедневных полей давления, которые отстоят на два месяца назад от эталонных и в каждом случае имеют своё пространственно-временное смещение. Временное смещение соответствует примерно двум месяцам. Пространственное смещение в каждом случае индивидуально, но не выходит за пределы первого естественного синоптического района ($\pm 60^\circ$ вдоль круга широты и $\pm 30^\circ$ по меридиану). Отбор аналогов производится с помощью критерия ρ , оценивающей сходство полей по знаку:

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{N}, \quad (3)$$

где n_+ – число узлов, в которых знак отклонения давления сравниваемых полей совпадает; n_- – число узлов, в которых знак отклонения давления сравниваемых полей противоположный; N – общее число узлов регулярной сетки.

Определенные таким образом аналоговые поля являются предикторами полей давления, обуславливающих резкие изменения температуры воздуха в течение месяца и периоды выпадения осадков. Так же, как и эталонное поле, поле аналога – конкретное гидрометеорологическое поле (в данном случае поле давления), отвечающее за прогностическое осуществление волн тепла (холода) или выпадение осадков.

5. Для составления прогноза на конкретный месяц используются аналоговые поля давления, отвечающие за прогностическое осуществление волн тепла (холода) и выпадения осадков в нем и ежедневные (текущие) поля давления месяца, отстоящего на один месяц назад от прогнозируемого.

С помощью показателя $C(i, p)$ сравниваются аналоговые и текущие поля и определяются даты, в которые значения параметра $C(i, p)$ наименьшие, что указывает на наилучшее сходство аналоговых и текущих полей в эти дни.

6. Согласно определенным в предыдущем пункте дням и по принципу двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов определяются даты экстремумов волн тепла (холода) в прогнозируемом месяце и периоды выпадения осадков, а именно, определенные в предыдущем пункте даты с точностью ± 1 день указывают на осуществление волн тепла (холода) в прогнозируемом месяце и периоды выпадения осадков.

Таким образом, по описанной схеме составления прогноза возможно прогнозирование экстремумов метеорологических величин с заблаговременностью один месяц.

Ниже приводится алгоритм составления прогноза для работы в оперативном режиме, который состоит из трех основных блоков (рис. 3).

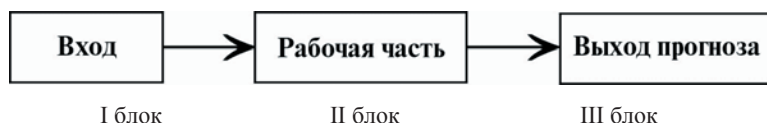


Рис. 3. Алгоритм рабочей схемы составления прогноза

I блок – блок ввода исходных данных. Вводятся 30 барических полей из архива прошедшего месяца (например, 1–30 июня 2003 г.) и вводятся аналоги эталонных барических полей, определяющих резкие потепления и похолодания во втором месяце вперед от прошедшего (например, по прошедшему июню прогнозируется будущий август). В данном случае вводятся аналоги эталонных полей давления волн тепла и холода августа.

II блок – рабочий. В этом блоке производится расчет параметра $C(i, p)$ и отбор полей по минимальным значениям этого параметра.

III блок – составление прогноза. Присвоение осуществления волн тепла (холода) дню прогнозируемого месяца из условий двухмесячной квазипериодичности. Например, если наименьшие значения параметра $C(i, p)$ в случае волн тепла приходятся на 1 июня, то (1 июня + 60 дней = 1 августа), следовательно, 1 августа ожидается резкое потепление. Аналогично определяются дни с резким похолоданием. Поскольку в первых числах июля имеем прогноз на 1 августа, то заблаговременность оказывается равной одному месяцу. Таким образом, получаем прогноз резких колебаний средней суточной температуры воздуха с месячной заблаговременностью. Аналогично определяются периоды выпадения осадков. Подробный алгоритм рабочей схемы представлен на рис. 4.

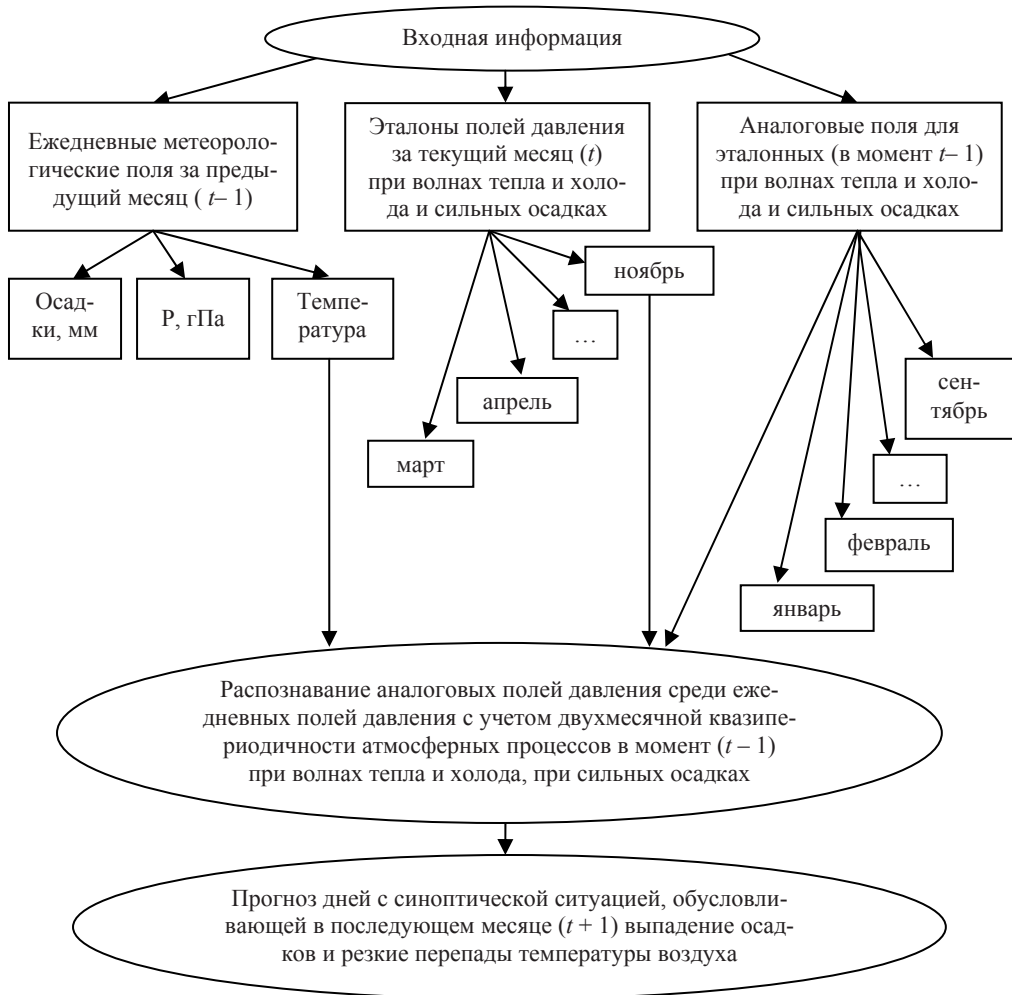


Рис. 4. Схема прогноза волн тепла и холода с месячной ($t + 1$) заблаговременностью

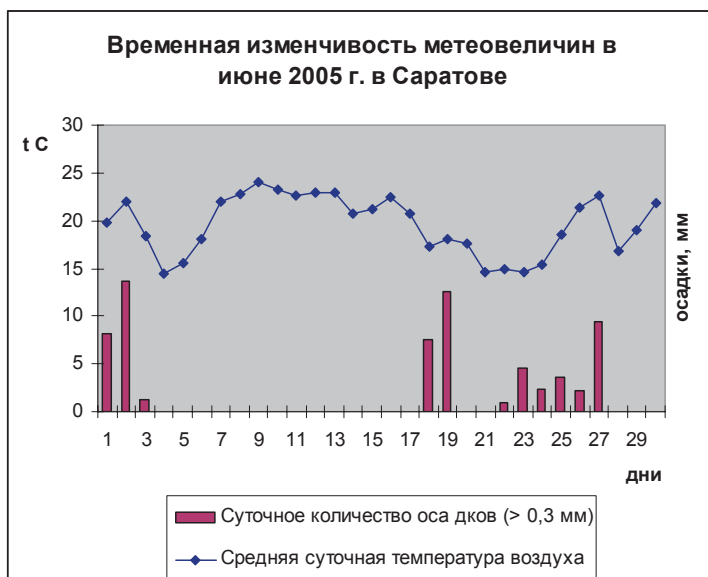
Вид прогностической продукции представлен в таблице, где в качестве примера приведен прогноз на июнь 2005 г., составленный 1 мая 2005 г.

Прогноз резких изменений погоды в июне 2005 г.

Ожидаемые даты		
волн тепла	волн холода	выпадения осадков
1–2	5–6	1–2
12–15	22–25	14–15
26–27		22–25

Таким образом, в июне 2005 г. резкие потепления ожидалось 1–2, 12–15 и 26–27 июня, резкие похолодания – 5–6 и 22–25 июня; выпадение осадков предполагалось 1–2, 14–15 и 22–25 июня. При проверке волна тепла (холода) счита-

лась оправдавшейся, если наблюдалось повышение (понижение) средней суточной температуры воздуха не менее чем на 5 °С и время осуществления экстремума волны либо совпадало с днем прогноза, либо сдвиг не превышал ± 2 дня. Прогноз дней с осадками считался оправдавшимся, если факт их выпадения отстоял не более чем на два дня от ожидаемой даты их выпадения и суточное количество составляло не менее 0,3 мм. На рисунке представлена изменчивость средней суточной температуры воздуха и дни суточное количество осадков в июне 2005 г.



Как видно из рисунка, максимальные повышения температуры наблюдались 1–2, 8–9 и 26–27 июня, а ожидаемые – 1–2, 12–15 и 26–27 июня. Таким образом, из трёх волн тепла оправдались первая и третья, а потепление, рассчитанное на начало второй декады, осуществилось раньше – в конце первой декады, но по критериям оправдываемости превышен допустимый временной сдвиг и вторая волна тепла отнесена к неоправдавшимся. Из прогнозируемых двух волн холода оправдались обе, причем первая с абсолютной точностью, а вторая – раньше на два дня, что вполне допустимо. Из трёх периодов выпадения осадков оправдались все, так как здесь не превышен временной сдвиг (не более двух дней) согласно критериям оправдываемости.

Проверка успешности прогнозов за 2005–2010 гг. показала, что они имеют довольно неплохую оправдываемость – для волн тепла – 71%, для волн холода – 69% и для осадков – 65%. Учитывая довольно успешную оправдываемость прогнозов при довольно жёстких критериях, изложенный метод прогноза следует считать перспективным для прогноза экстремумов метеорологических величин.

Литература

1. *Мартазинова В.Ф.* Временная изменчивость ультрадлинных волн общей циркуляции атмосферы // Труды УкрНИГМИ. 1987. Вып. 225, с. 78-84.
2. *Мартазинова В.Ф.* К вопросу о временной изменчивости зональных составляющих общей циркуляции атмосферы // Труды УкрНИГМИ. 1987. Вып. 225, с. 73-78.
3. *Мартазинова В.Ф., Мельник Н.П.* Результаты испытаний детализированного прогноза приземного давления по методу «плавающий аналог» для пятидневки по территории I е.с.р. и территории Украины // Труды УкрНИГМИ. 1991. Вып. 239, с. 75-81.
4. *Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А.* Определение квазипериодичности атмосферных процессов на северном полушарии с помощью метода «плавающий аналог» // Труды УкрНИГМИ. 1986. Вып. 219, с. 37-42.
5. *Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А., Иванова Е.К., Мацак В.В.* Аномальные атмосферные процессы над Украиной и их прогноз с месячной заблаговременностью // Труды УкрНИГМИ. 1991. Вып. 239, с. 63-68.
6. Руководство по долгосрочным прогнозам погоды на 3–10 дней. – Л., 1968.
7. Руководство по месячным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 366 с.