

УДК 551.509.312+551.509.314

## **Физико-статистическая модель долгосрочного прогноза весенних дат перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С**

***С.В. Морозова, М.А. Алимпиева***

*Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия  
swetwl@yandex.ru*

Показана возможность долгосрочного прогнозирования даты перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С в Саратовской области. Рассмотрены синоптические условия наступления ранних, поздних дат перехода и переходов в нормальные сроки. На основании учета асинхронных связей между состоянием циркуляционных систем Атлантико-Евразийского сектора полушария построена модель непараметрического дискриминантного анализа, позволяющая разделять не две, что делается традиционно, а три кластерные области, соответствующие трем фазам предиктанта. Приводятся результаты тестирования прогнозов по обучающей и контрольной выборкам. Делается вывод об эффективности применения модели в региональном прогнозировании.

*Ключевые слова:* долгосрочный прогноз погоды, дата перехода, дискриминантный анализ, физико-статистическая модель

## **A physical-statistical model of long-term forecast of spring dates of average daily air temperature crossing 10 °C**

***S.V. Morozova, M.A. Alimpieva***

*Saratov State Universiti, Saratov, Russia;  
swetwl@yandex.ru*

The possibility of long-range forecasting of the date of average daily air temperature crossing 10 °C in the Saratov region is demonstrated. Synoptic conditions of early, late, and normal dates are considered. Based on asynchronous relationships between the circulation systems in the Atlantic-Eurasian sector, the model of nonparametric discriminant analysis was constructed. It separates not two (as usually) but three cluster ranges corresponding to three phases of predictants. The model is tested based on prospective and retrospective forecasts. A conclusion is made on the efficiency of the model application to the regional forecasting.

*Keywords:* long-term weather forecast, date of crossing, discriminate analysis, physical-statistical model

### **Введение**

В связи с наблюдаемыми климатическими изменениями, которые прослеживаются и глобально, и в отдельных регионах, в том числе на юго-востоке Русской равнины, все активнее распространяются к северу многие

южные культуры. В частности, от традиционных районов возделывания (Крым, Кавказ, Краснодарский край) далеко на северо-восток шагнула зона выращивания винограда. Плантации виноградников все активнее закладываются в Волгоградской, Саратовской и даже Самарской областях. Вопросы развития в нашей стране виноградарства активно обсуждаются и на уровне Правительства, и в научных кругах. Так, в частности, в Саратове на базе аграрного университета им. Н.И. Вавилова 27 февраля 2017 года прошла конференция по виноградарству с участием представителей Минсельхоза, где была поставлена задача дальнейшего развития данной отрасли сельхозпроизводства.

В связи с этим актуальной становится задача обеспечения этой отрасли растениеводства региональной прогностической продукцией, особенно прогнозами тех характеристик гидрометеорологического режима, которые имеют решающее значение для вегетации культуры. Для винограда такой характеристикой является дата весеннего перехода средней суточной температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ . Укажем, что такой прогноз является узко специализированным, официальные прогнозы этой характеристики не выпускаются, однако потребность в такого рода прогностической продукции исключительно высока, особенно в аграрных регионах страны.

Отметим, что гидродинамические прогнозы дают больше возможностей для разработки специализированных прогнозов с учетом доступа к использованию расширенного списка метеопараметров, обеспечения лучшей пространственной и временной детализации и сопровождения вероятностной интерпретации специализированных прогнозов за счет наборов ансамблей, однако в данном случае важным оказывается не столько детализация (строгая числовая оценка предиктанта), сколько заблаговременная информация о наступлении его определенной фазы. По нашему мнению, в предлагаемой физико-статистической модели достигается сочетание необходимой степени детализации и оптимальной заблаговременности.

### Материалы и методы

Материалами для выполнения исследования послужили данные о средней суточной температуре по метеостанциям Саратовской области, расположенным в долине Волги. Именно эта территория является самой благоприятной для закладки виноградников. Временным промежутком исследования стали 1971–2018 гг., из которых 1971–2010 гг. были отнесены к обучающей выборке, а 2011–2018 гг. – к контрольной. Данные о средней суточной температуре воздуха взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД [24], а также из оригинальных архивов лаборатории агрометеорологии Научно-исследовательского института сельского хозяйства юго-востока (НИИСХ Юго-Востока, г. Саратов). Даты перехода средней суточной температуры через  $10^{\circ}\text{C}$  определялись для шести метеостанций области,

расположенных в долине Волги: Хвалынский, Вольск, Маркс, Саратов Юго-Восток, Октябрьский городок, Золотое. В среднем многолетнем переходе средней суточной температуры через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит на этих станциях 26–28 апреля [13], однако изменчивость сроков наступления этой даты очень велика. Например, по данным метеостанции Саратов ЮВ на исследуемом временном промежутке самые ранние даты перехода отмечались 3 апреля 1975 и 2008 гг., а самая поздняя – 7 мая 2007 г. Размах варьирования составил 37 дней, что подчеркивает необходимость разработки методических прогнозов. Укажем, что по этим станциям  $\sigma = 2,94\text{--}3,01$ , а  $Cv = 0,01$ . Такие малые значения коэффициента вариации указывают на равномерный разброс величины относительно среднего значения.

Типизация дат перехода происходила в соответствии с рекомендациями, разработанными Г.Н. Чичасовым [20]. Переход через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  считался ранним, если дата перехода опережала климатическую норму более чем на три дня, поздним – когда дата перехода запаздывала более чем на три дня по отношению к норме. Все остальные случаи отнесены к нормальным.

Поскольку объектом прогнозирования является качественное состояние предиктанта (фаза), то для этой цели применена модель непараметрического дискриминантного анализа. Отметим, что до настоящего времени применение дискриминантных моделей ограничивалось разделением только двух фаз явлений [1, 3, 4, 20]. В нашем случае поставлена конкретная задача – разделить три фазы предиктанта, что делается впервые. Разделение трех, а не двух фаз предиктанта диктуется и практическими запросами: каждый тип даты перехода (ранний, поздний или нормальный) специфически влияет на вегетацию этой культуры, и при каждом типе даты перехода развиваются специфические группы заболеваний и особые виды вредителей этой культуры [16].

Очевидно, что поскольку развитие текущих над регионом синоптических процессов, определяющих тот или иной характер погоды, зависит от состояния крупномасштабных циркуляционных структур, то вполне резонно в качестве потенциальных предикторов использовать их характеристики. В качестве таких циркуляционных структур выбраны Исландский минимум (ИМ) и зимний Азиатский антициклон – Сибирский максимум (СМ). Эти центры действия атмосферы (ЦДА) наиболее близко расположены к району Нижнего Поволжья и проявляют наибольшую активность в зимний период. Описанный подход базируется на теоретических разработках о дальних (teleconnection) и асинхронных связях циркуляционных систем с режимами погоды в различных географических районах [4, 6, 22].

Во многих работах [1, 4, 20, 22] показано, что между различными погодными режимами и структурными элементами общей циркуляции атмосферы (ОЦА) имеют место довольно устойчивые дальние связи, проявляющиеся не только в синхронном, но и асинхронном плане. Отметим, что в подобных работах [6, 21, 22] чаще всего рассматривается только

интенсивность структурных объектов ОЦА через различные циркуляционные индексы, однако все циркуляционные системы испытывают заметные смещения по меридиану и вдоль круга широты [9], которые тоже могут быть включены в прогностические модели. Поэтому авторы помимо интенсивности выбранных центров действия атмосферы в физико-статистической модели использовали и изменение пространственной локализации их центров.

В качестве исходных данных в модель вводились не сами характеристики ЦДА (широта, долгота, давление в центре), а аномалии, которые рассчитывались как алгебраические отклонения от средних многолетних значений. Данные о состоянии ЦДА с 1971 по 2010 г. были позаимствованы из электронного приложения к справочной монографии [14]. Характеристики ЦДА с 2011 по 2018 г. снимались визуально со средних карт, выпускаемых Гидрометцентром России.

Выявление прогностических зависимостей проводилось с помощью прикладного пакета программ «STATISTICA». Применялась процедура последовательного включения предикторов, количество переменных определялось по статистическим оценкам набора параметров:  $R^2$ , частная  $\lambda$ ,  $F$ ,  $p\text{-level}_{max}$ .

$R^2$  – коэффициент детерминации (квадрат коэффициента корреляции), показывающий долю объясненной дисперсии функции отклика в уравнениях регрессии, не только линейной, но и нелинейной, а также множественной. Принято, что если модель описывает около 50 % разброса, то она считается удачной и используется в практических расчетах [17]. Частная  $\lambda$  – аналог частного коэффициента корреляции, показывающий меру линейной связи функции отклика с независимой переменной в модели множественной регрессии после исключения влияния на нее всех оставшихся переменных.  $F$  – критерий Фишера, применяется для оценки адекватности (значимости) регрессионной модели. Критерий  $p\text{-level}_{max}$  – уровень значимости, или вероятность события, которым решено пренебречь в данных расчетах [17, 18].

### **Анализ синоптических условий ранних, нормальных и поздних дат перехода**

Очевидно, что ранний, поздний переход средней суточной температуры воздуха через определенный предел или переход в нормальные сроки зависят от складывающихся погодных условий, что, в свою очередь, определяется развитием синоптических процессов. Авторами проанализированы синоптические условия, приводящие к осуществлению различных фаз изучаемого явления. Выделение процесса, приводящего к осуществлению различных фаз (типов) предиктанта, проводилось двумя способами: с применением метода эталонов и с использованием вероятностной статистики.

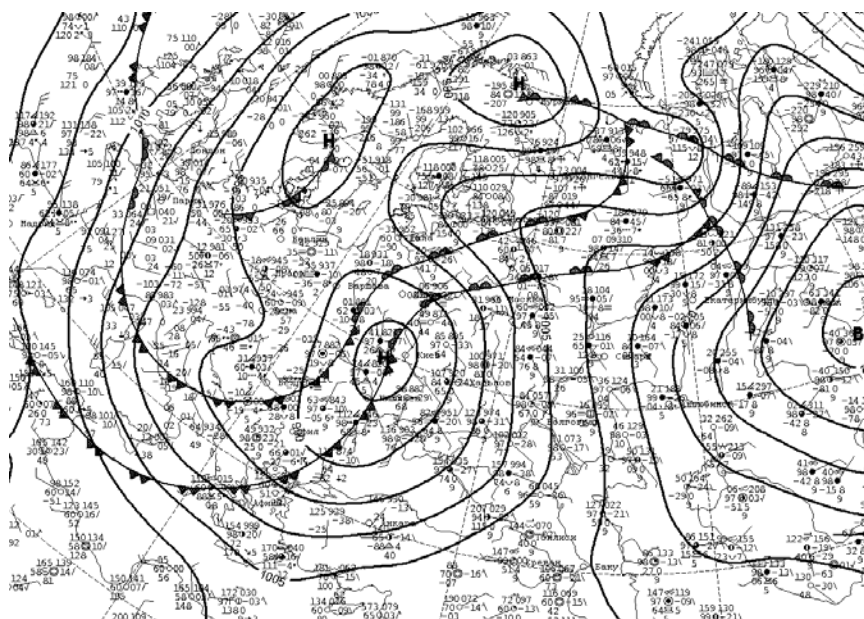
Технология применения метода эталонов к анализу синоптических процессов достаточно полно и подробно описана в [10–12]. В этом случае получаем типичное барическое поле для каждого типа перехода: раннего, позднего или перехода в нормальные сроки. При втором подходе определяется наиболее вероятный синоптический процесс, приводящий к осуществлению той или иной фазы предиктанта. Тип синоптического процесса определялся в соответствии с региональной типизацией В.Л. Архангельского – Е.А. Полянской [2, 15].

С применением метода эталонов получено, что наиболее типичный процесс, приводящий к раннему типу перехода через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – мощный вынос теплых воздушных масс в передней части обширной полярнофронтальной депрессии. Пример такого процесса приведен на рис. 1 а. При этом на АТ-500 гПа над регионом и восточнее него располагается обширный барический гребень; высотная фронтальная зона, расположенная севернее, препятствует распространению холодных воздушных масс на регион (рис. 1 б).

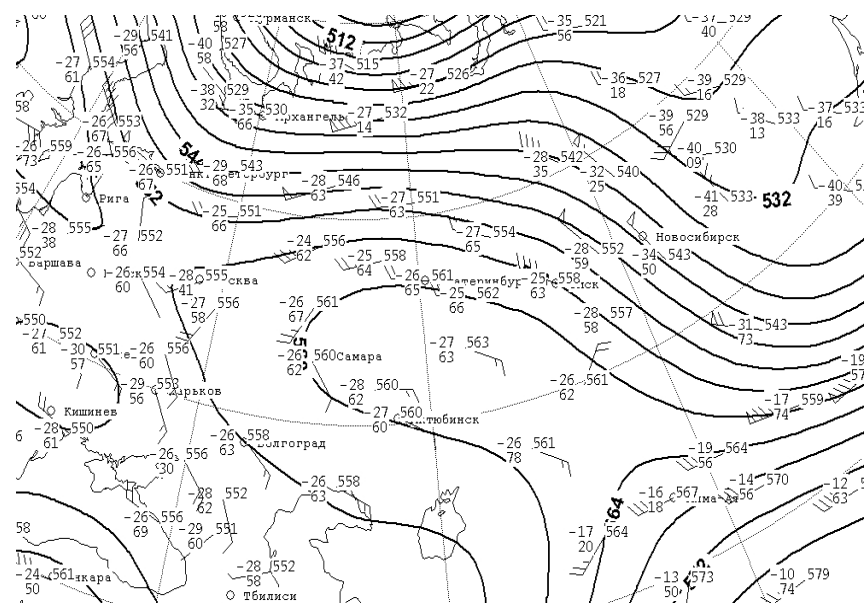
Характерный процесс, приводящий к позднему переходу средней суточной температуры через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , связан с поступлением холодных воздушных масс в тыловых частях циклонов, развитых на арктическом фронте. Пример такого процесса представлен на рис. 2 а, где хорошо видна адвекция холода на Среднюю и Нижнюю Волгу после прохождения холодного фронта в тыловой части двухцентровой депрессии и продолжающееся поступление арктической воздушной массы по восточной периферии антициклона, примыкающей к западной части циклона. На АТ-500 гПа хорошо видна мощная адвекция холода на регион.

Переход средней суточной температуры воздуха через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в нормальные сроки происходит преимущественно тогда, когда на территорию распространяется отрог субтропического антициклона (рис. 3а), при этом на АТ-500 над регионом наблюдается довольно разреженное поле изогипс, а адвекция холода направлена на территории западнее и восточнее Средней и Нижней Волги.

При вероятностном подходе было получено, что наиболее вероятный синоптический процесс, приводящий к раннему сроку перехода средней суточной температуры через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – циклоническая деятельность на полярном фронте (VI тип – 67 %), с вероятностью 33 % ранний переход осуществляется при воздействии субтропического антициклона (IV тип) на регион. Поздний переход наблюдается в 62 % случаев при смещении на территорию циклонов, развитых на арктическом фронте (I тип), и в 38 % случаев под воздействием арктических антициклонов (II тип). Переход в нормальные сроки происходит при V типе процесса (84 %) – малоградиентное поле повышенного давления или процессе типа X – деформационное поле (16 %).



a)



b)

**Рис. 1.** Фрагменты приземной карты погоды 25 марта 2008 г. (а) и АТ-500 гПа 31 марта 2008 г. (б). В 2008 году переход через указанный предел был ранним и произошел 3 апреля.

**Fig. 1.** Fragments of the surface weather map on March 25, 2008 (a) and AT-500 hPa on March 31, 2008 (b). In 2008, the transition through 10 °C was early and occurred on April 3.

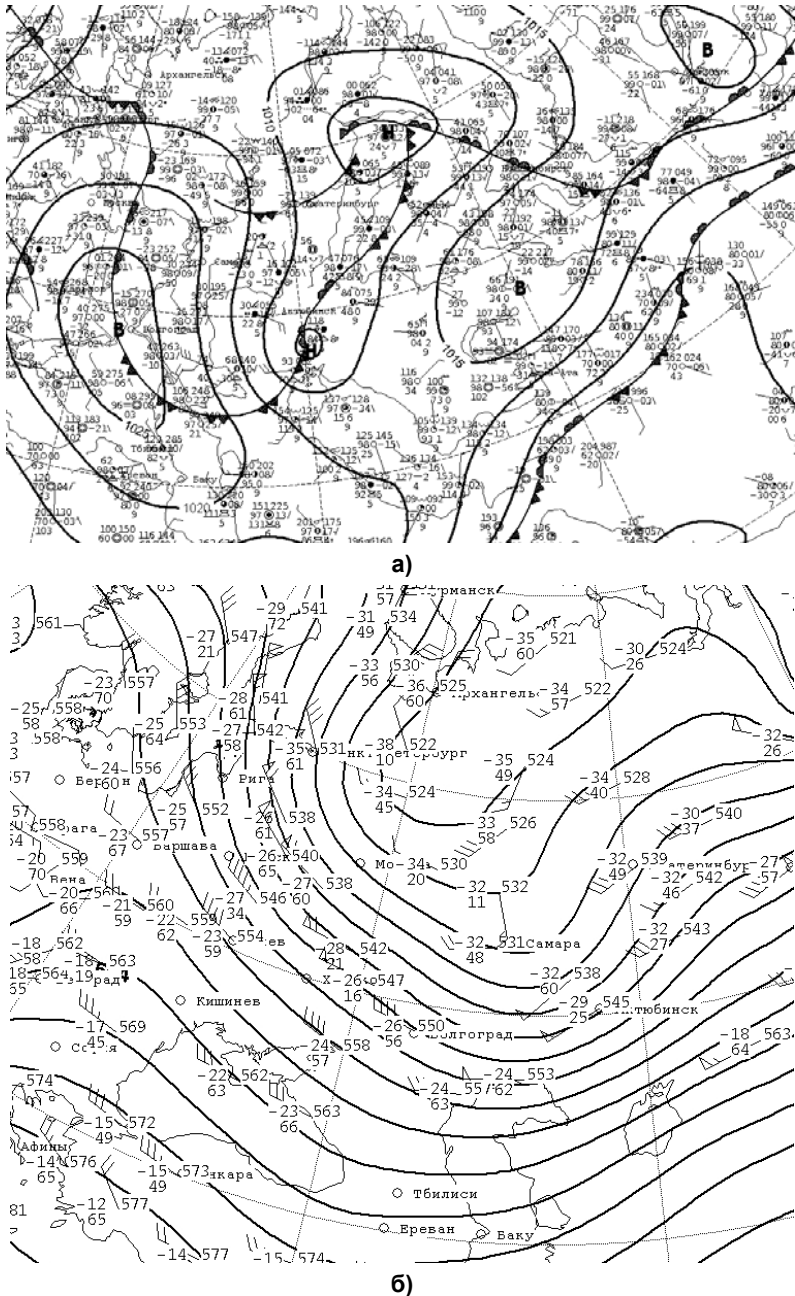
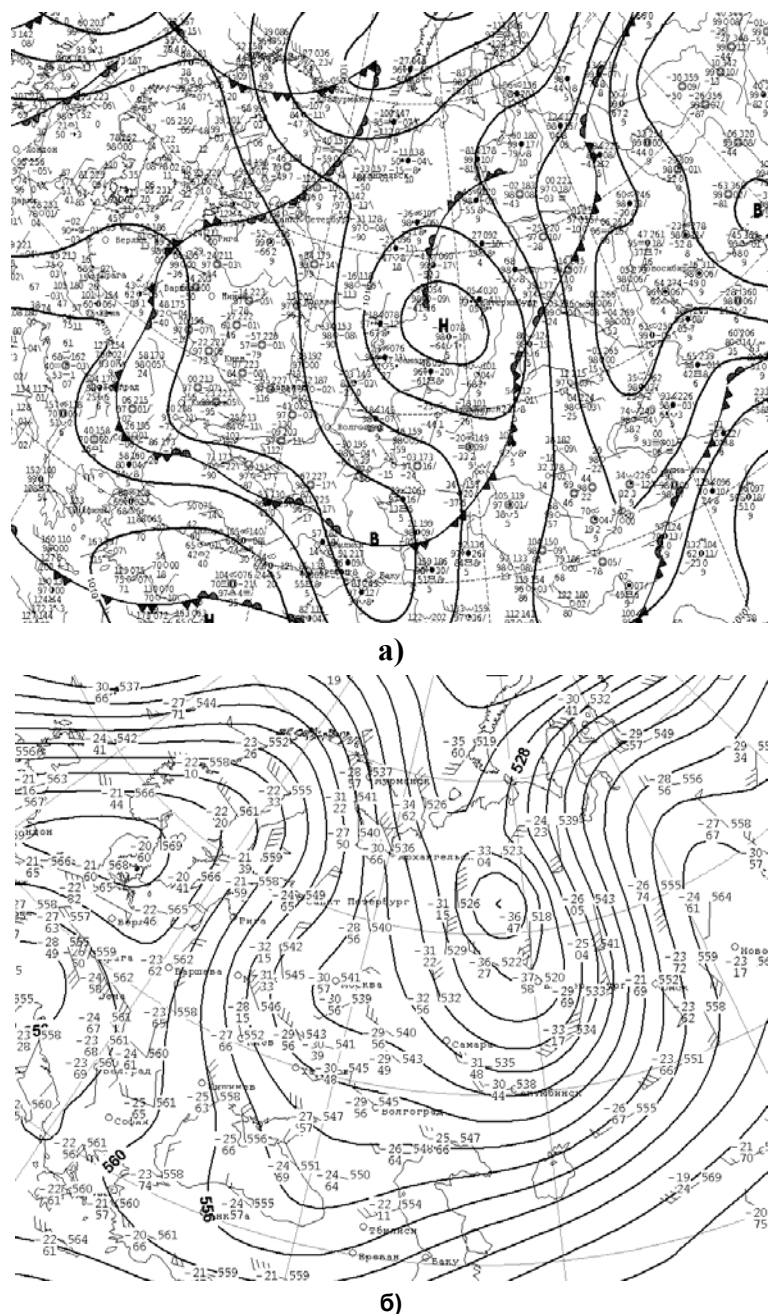


Рис. 2. Фрагменты приземной карты погоды 7 мая 2007 г. (а) и АТ-500 гПа 5 мая 2007 г. (б). В 2007 г. переход через указанный предел был поздним и произошел 7 мая.

Fig. 2. Fragments of the surface weather map on May 7, 2007 (a) and AT-500 hPa on May 5, 2007 (b). In 2007, the transition through 10 °C was late and occurred on May 7.



**Рис. 3.** Фрагменты приземной карты погоды 23 апреля 2009 г. (а) и АТ-500 гПа 24 апреля 2009 г. (б). В 2009 году переход через указанный предел произошел в нормальные сроки – 25 апреля.  
**Fig. 3.** Fragments of the near-surface weather map April 23, 2009 (a) and AT-500 hPa April 24, 2009 (b). In 2009, the transition through 10 °C and occurred in normal terms - April 25.



### Результаты прогнозирования и их оценка

В отличие от кластерного анализа, при котором в зависимости от объективно выбираемого признака выделяются различные кластерные области, в дискриминантном анализе заранее задаются признаки группируемых величин (явлений). В нашем случае три различных типа даты перехода – в ранние, поздние и нормальные сроки.

В качестве потенциальных предикторов исследовались аномалии широты, долготы и давления в центрах ЦДА предыдущего осенне-зимнего периода за исключением февраля. Введение в модель характеристик ЦДА в феврале делает заблаговременность прогноза практически нулевой, в результате чего прогноз становится не актуальным.

В результате серии прогностических экспериментов выбраны четыре предиктора, которые включаются в модель, их статистическое оценивание представлено в табл. 1.

Как видно, модель описывает около половины изменчивости предиктанта. Однако множественные коэффициенты корреляции намного выше частных, что указывает на необходимость использования комплекса предикторов. Критерий Фишера в 2–3 раза превышает его критическую величину. В табл. 2 указаны физические характеристики предикторов и коэффициенты разделяющих функций.

**Таблица 1.** Статистическая оценка параметров модели ( $F_{кр} = 2,6430$ )

**Table 1.** Statistical estimation of model parameters

Предиктор	$R^2$	$F$ -статистика	$p$ -уровень	Частная $\lambda$
$X_1$	0,473	6,66486	0,0073	0,243
$X_2$	0,449	4,16849	0,0336	0,203
$X_3$	0,683	6,01393	0,0105	0,232
$X_4$	0,580	4,10420	0,0351	0,202

**Таблица 2.** Значения коэффициентов разделяющих функций и характеристика предиктора

**Table 2.** Values correlation coefficient of separating functions and the predictor characteristics

Предиктор	Значения коэффициентов		Физическая характеристика предиктора
	$L_1$	$L_2$	
$X_1$	0,33	0,06	Аномалия давления СМ в октябре
$X_2$	0,09	-0,12	Аномалия давления ИМ в январе
$X_3$	-0,05	0,01	Аномалия долготы ИМ в сентябре
$X_4$	-0,13	0,12	Аномалия давления ИМ в ноябре
Константа	-0,41	0,15	–

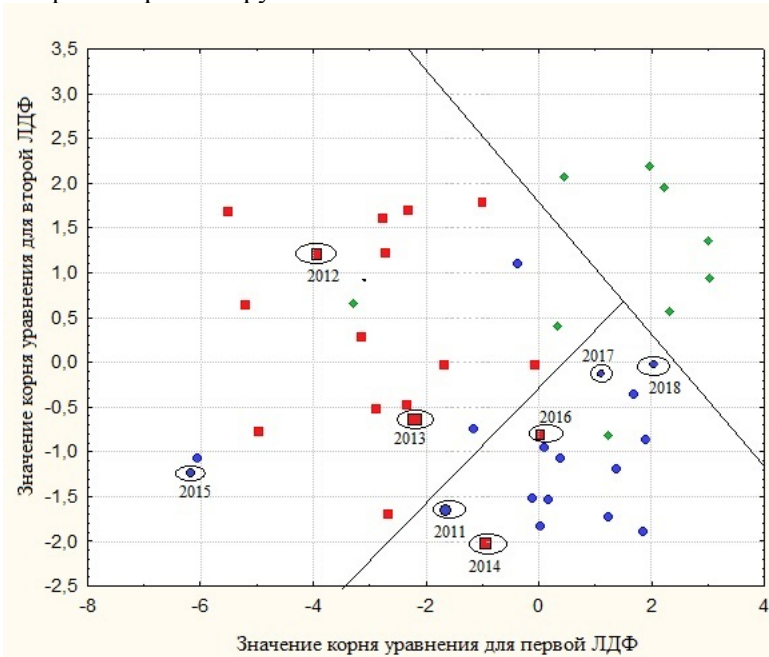
В соответствии с табл. 2 составлены уравнения линейных дискриминантных функций (ЛДФ):

$$L_1 = -0,41 + 0,33X_1 + 0,09X_2 - 0,05X_3 - 0,13X_4;$$

$$L_2 = 0,15 + 0,06X_1 - 0,12X_2 + 0,01X_3 + 0,12X_4.$$

Как видно из первого уравнения ЛДФ, наиболее значимым для прогноза является интенсивность зимнего Азиатского антициклона в октябре и глубина Исландского минимума в ноябре. По второму уравнению ЛДФ наиболее значимыми для прогноза является глубина Исландского минимума в ноябре и январе. Прогностические уравнения составлены на материале 1971–2010 гг., значения корней линейных дискриминантных функций для 2011–2018 гг. рассчитаны по полученным уравнениям по данным о состоянии центров действия атмосферы.

Визуализация прогностических зависимостей приведена на рис. 4. На рисунке видно хорошее разделение кластерных областей, соответствующих трем фазам прогнозируемого явления.



**Рис. 4.** Прогностический график для разделения ранних, нормальных и поздних дат перехода. Красный квадрат – ранний переход через 10 °С, синий кружок – переход в нормальные сроки, зелёный ромб - поздняя дата перехода. В овал заключены результаты испытаний на независимом материале.

**Fig. 4.** Predictive chart for the separation of early, normal and late transition dates. Red square - early transition through 10 °C, blue circle - transition in normal time, green diamond - late date of transition. In the oval, the results of tests on an independent material are concluded.

По рис. 4 можно заключить, что разделение фаз предиктанта и по обучающей выборке, и с учетом независимых испытаний вполне успешное. Из восьми случаев прогнозов, составленных по данным контрольной выборки, правильными оказались пять.

Более четко оценить качество предлагаемого метода можно с помощью матрицы сопряженности [19]. В нашем случае вид матрицы сопряженности адаптирован к трехфазному прогнозу. В табл. 3 приведены результаты испытаний прогнозов по обучающей (числитель дроби) выборке и с включением данных испытаний модели на независимой выборке (знаменатель дроби). По таблице легко определить число случаев оправдавшихся прогнозов и дифференцированно рассмотреть неоправдавшиеся случаи, например, сколько прогнозируемых поздних переходов попало в область ранних или сколько переходов в нормальные сроки попало в область поздних и т. п.

**Таблица 3.** Матрица сопряженности оправдываемости прогнозов дат перехода средней суточной температуры через 10 °С весной

**Table 3.** Contingency matrix of the accuracy of the forecasts of the transition dates of the average daily temperature through 10 °C in the spring

Фактически наблюдалось $\Phi_i$	Прогнозировалось $\Pi_i$			$\sum_{j=1}^m n_i$
	Ранняя $\Pi_1$	Нормальная $\Pi_2$	Поздняя $\Pi_2$	
Ранняя $\Phi_1$	13/15	3/4	2/2	18/21
Нормальная $\Phi_2$	0/2	10/13	1/1	11/16
Поздняя $\Phi_3$	0/0	0/0	6/6	6/6
$\sum_{j=1}^m n_i$	13/17	13/17	9/9	35/43

По этой матрице легко рассчитать различные показатели, например общепринятые: показатель  $Q$  – долю оправдавшихся прогнозов и узко специфические [19, 23], оценивающие ранговую меру связи, чувствительность модели к редкому явлению и т. п.

Доля оправдавшихся прогнозов к их общему числу (показатель  $Q$ ) составила по контрольной выборке 83 %, а с учетом независимых испытаний – 79 %.

Определим чувствительность модели к редкому явлению по формуле:

$$\lambda^* = q_{11} / p_{01},$$

где  $q_{11}$  – доля оправдавшихся прогнозов редкого явления;  $p_{01}$  – доля всех прогнозов редкого явления.

Поскольку реже всего наблюдается поздняя дата перехода, определим чувствительность модели с прогнозу именно этой даты. С учетом данных

и зависимых, и независимых испытаний  $\lambda^*$  оказалась равной 0,67. Заметим, что наиболее трудно прогнозировать именно редкие явления. Правильное прогнозирование моделью двух случаев редкого явления из трех можно считать очень хорошим результатом.

Рассчитаем ранговую меру связи по Гудмэну и Крускалу  $\gamma$  [19] (в случае симметричной матрицы аналог показателя  $\rho$ ), показывающую вероятностную оценку соотношения всех правильных и всех неправильных прогнозов:

$$\gamma = \frac{s - D}{s + D},$$

где  $S$  – общее число пар наблюдений, для которых либо одновременно  $i_1 > i_2$  и  $j_1 > j_2$ , либо  $i_1 < i_2$  и  $j_1 < j_2$ , т. е. когда ранги пар измерений совпадают;  $D$  – общее число пар наблюдений, для которых либо  $i_1 > i_2$  и  $j_1 < j_2$ , либо  $i_1 < i_2$  и  $j_1 > j_2$ , т. е. когда ранги пар измерений не совпадают.

В долях единицы величина этого показателя по зависимым испытаниям составила 0,67, с учетом независимых – 0,58. Отметим, что с учетом независимых испытаний доля неправильных прогнозов несколько повышается, что вполне обычно для физико-статистических моделей.

Дополнительную информацию при разработке новых методов прогноза дают показатели, позволяющие оценить степень снижения ошибочности прогнозирования. К таким показателям относится, например, мера Гутмана  $\lambda$  [19]. Этот показатель рекомендуется рассчитывать для симметричных матриц ( $m = n > 2$ ). Он позволяет оценить меру двусторонней взаимной связи признаков.

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^m (n_{j\max} - n_{i0\max}) + \sum_{i=1}^n (n_{i\max} - n_{0j\max})}{2N - n_{i0\max} - n_{0j\max}},$$

где  $n_{j\max}$ ,  $n_{i0\max}$ ,  $n_{i\max}$ ,  $n_{0j\max}$  – максимальные и минимальные значения из  $n_{i0}$  и  $n_{0j}$ , которые берутся из матрицы сопряженности оправдываемости прогнозов [19].

Для прогнозов, составленных по зависимой выборке,  $\lambda$  равна 0,48, с учетом независимых испытаний 0,41. Таким образом, с увеличением длины ряда и с привлечением новых данных связность прогнозируемых явлений практически не меняется, что указывает на надежность применения методики в составлении перспективных прогнозов.

В качестве оценки меры мастерства (по отношению к климатическому прогнозу) [8] принята величина  $QS$ :

$$QS = 1 - \frac{Q}{Q_{cl}},$$

где  $Q$  – ошибка методического прогноза;  $Q_{cl}$  – ошибка методического прогноза для климатического прогноза.

Климатический прогноз строился в предположении, что все даты перехода соответствуют климатической норме, т. е. переход происходит в нормальные сроки. С учетом этого предположения  $QS = 0,63$ .

### Заключение

1. Получены прогностические разработки по определению будущего типа даты перехода через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  для отдельного региона и проведена их визуализация. Оценка прогнозов, составленных по зависимой выборке и с учетом независимых испытаний, показала надежность и хорошие перспективы предлагаемой методики для прогнозирования сезонных гидрометеорологических явлений. Прогностическая разработка, несомненно, вносит вклад в решение задач региональной детализации и детализации прогнозов на внутрисезонных масштабах времени, а также в развитие физико-статистического направления долгосрочного прогнозирования [5, 7].

2. Применен прием непараметрического дискриминантного анализа для разделения трех групп объектов: раннего, нормального и позднего сроков наступления даты перехода через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Применение дискриминантной модели для разделения трех групп явлений расширяет возможности физико-статистического направления в долгосрочном прогнозировании по более глубокой дифференциации прогнозируемых явлений. Аналогичная технология применима к прогнозу различных сезонных гидрометеорологических явлений и легко может быть адаптирована к другим регионам.

3. В качестве самостоятельного вывода можно указать необходимость дальнейших разработок по оправдываемости долгосрочных узко специализированных прогнозов, в том числе и многофазных.

### Список литературы

1. Адрианова Л.В. К вопросу прогноза дат наступления сезонных метеорологических явлений в Саратовской области // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. Саратов: Из-во Саратов. ун-та, 1970. Вып. 6. С. 54-58.
2. Архангельский В.Л. Региональная синоптика Нижнего Поволжья. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 1968. 208 с.
3. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С. 123-138.
4. Байдал М.Х., Неушкин А.И. Макроциркуляционные факторы и прогноз засух в основных сельскохозяйственных районах страны // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1979. Вып. 59. 140 с.
5. Вильфанд Р.М., Мартазинова В.Ф., Цепелев В.Ю. и др. Комплексирование синоптико-статистических и гидродинамических прогнозов температуры воздуха на месяц // Метеорология и гидрология. 2017. № 8. С. 5-17.

6. *Крыжов В.* Связь средних месячной, сезонной и годовой температур воздуха на Севере России с индексами зональной циркуляции зимой // *Метеорология и гидрология*. 2003. № 2. С. 15-28.

7. *Киктев Д.Б., Толстых М.А., Заринов Р.Б. и др.* Выпуск детализированных метеорологических прогнозов в рамках деятельности Северо-Евразийского Климатического Центра (СЕАКЦ) // *Труды Гидрометцентра России*. 2017. Вып. 366. С. 14-28.

8. *Мирвис В.М., Мелешко В.П., Львова Т.Ю., Матюгин В.А.* Пятилетний опыт оперативного прогнозирования метеорологических условий на срок до 45 суток на основе модели общей циркуляции атмосферы ГГО (версия MGO-3 T63L25) // *Труды Гидрометцентра России*. 2017. Вып. 366. С. 29-50.

9. *Морозова С.В.* Комплексное исследование поведения центров действия атмосферы Атлантико-Евразийного сектора полушария // *Учёные записки РГГМУ*. 2011. Вып. 21. С. 53-56.

10. *Морозова С.В.* Исследование синоптических процессов методом эталонов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. 164 с.

11. *Морозова С.В.* Технология долгосрочного прогноза периодов выпадения осадков для Саратовской области // *Труды Гидрометцентра России*. 2015. Вып. 358. С. 145-158.

12. *Морозова С.В.* Прогноз волн тепла и холода для Саратовской области с использованием физико-статистического метода В.Ф. Мартазиновой «плавающий аналог» // *Труды Гидрометцентра России*. 2017. Вып. 363. С. 138-159.

13. *Морозова С.В., Денисов К.Е., Молчанова Н.П.* Климатическая характеристика дат перехода средней суточной температуры воздуха через определенные пределы (на примере Саратова) // *Сборник статей межд. науч.-практ. конф., посвященной 128-й годовщине со дня рожд. акад. Н.И. Вавилова, Саратов, 2015*. С. 187-188.

14. *Неушкин А.И., Сидоренков Н.С., Санина А.Т., Иванова Т.Б., Бережная Т.В., Панкратенко Н.В., Макарова М.Е.* Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие. Обнинск, 2013. 200 с.

15. *Полянская Е.А.* Синоптические процессы и явления погоды в Нижнем Поволжье. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1986. 208 с.

16. *Рябушкин Ю.Б., Рязанцев Н.В.* Хозяйственно-биологическая оценка сортов винограда для выращивания в Правобережье Саратовской области. // *Аграрный научный журнал*. 2015. № 5. С. 23-27.

17. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: Из-во РГГМУ, 2007. 280 с.

18. *Смирнов Н.П., Вайновский П.А., Титов Ю.Э.* Статистический диагноз и прогноз океанологических процессов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 199 с.

19. *Хандожко Л.Т.* Экономическая метеорология: Учебник. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 490 с.

20. *Чичасов Г.Н.* Технология долгосрочных прогнозов погоды. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 304 с.

21. *Kryjov V.N.* Searching for circulation patterns affecting Northern Europe annual temperature // *Atmos. Sci. Lett.* 2004. Vol. 5, № 1. P. 23-24.

22. *Wallace J.M., Gutzler D.S.* Teleconnections in the geopotential height field during the Northern hemisphere winter // *Mon. Wea. Rev.* 1981. Vol. 109. P. 784-812.

23. *Wilks D.S.* Statistical methods in the atmospheric sciences. M.: Academic Press, 1995. 467 p.

24. Данные о срочных значениях температуры воздуха для метеостанций Саратовской области ВНИИГМИ-МЦД. URL: <http://meteo.ru/index.html> (дата обращения 22.02.2018).

### References

1. *Adrianova L.V.* К вопросу прогноза дат наступления сезонных метеорологических явлений в Саратовской области. *Voprosy klimata i pogody Nizhnego Povolzh'ya*. Saratov: Saratov State University publ., 1970, vol. 6, pp. 54-58. [in Russ.].
2. *Arhangel'skii V.L.* Regional'naya sinoptika Nizhnego Povolzh'ya. Saratov: Saratov State University publ., 1968, 208 p. [in Russ.].
3. *Bagrov N.A., Kondratovich K.V., Ped' D.A., Ugryumov A.I.* Dolgosrochnye meteorologicheskie prognozy. Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1985, pp. 123-138. [in Russ.].
4. *Baydal M.Kh., Neushkin A.I.* Makrotsirkulyatsionnye faktory i prognoz zasukh v osnovnykh sel'skokhozyaystvennykh rayonakh strany. *Trudy VNIIGMI-MTSD*, 1979, vol. 59, 140 p. [in Russ.].
5. *Vil'fand R.M., Martazinova V.F., Tsepelev V.Yu., et al.* Integration of synoptic and hydrodynamic monthly air temperature forecasts. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2017, vol. 42, no. 8, pp. 485-493, DOI: 10.3103/S1068373917080015.
6. *Kryzhov V.N.* Connection Between Monthly Mean, Seasonal, and Annual Air Temperatures in Northern Russia and Winter Zonal Circulation Indices. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2003, no. 2, pp. 9-19.
7. *Kiktev D.B., Tolstykh M.A., Zaripov R.B., Kruglova E.N., Kulikova I.A., Tishenko V.A., Khan V.M.* Issue of detailed meteorological forecasts in North Eurasian Climate Centre (NEACC). *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2017, vol. 366, pp. 14-28. [in Russ.].
8. *Mirvis V.M., Meleshko V.P., Lvova T.Y., Matyugin V.A.* Five years experience of operational forecasting meteorological conditions for up to 45 days based on the atmosphere general circulation model of the MGO (version MGO-3 T63L25). *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2017, vol. 366, pp. 29-50. [in Russ.].
9. *Morozova S.V.* Complex research of behavior of the centers of action of atmosphere of the Atlantiko-Euroasian sector of a hemisphere. *Uchyonye zapiski RGGMU [Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal]*, 2011, vol. 21, pp. 53-56. [in Russ.].
10. *Morozova S.V.* Issledovanie sinopticheskikh protsessov metodom etalonov. Saratov: Saratov State University publ., 2013, 164 p. [in Russ.].
11. *Morozova S.V.* Tekhnologiya dolgosrochnogo prognoza periodov vypadeniya osadkov dlya Saratovskoy oblasti. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2015, vol. 358, pp. 145-158. [in Russ.].
12. *Morozova S.V.* Forecast of waves of warmth and cold for the Saratov region using physic-statistical method of V.F. Martazinova "floating analog". *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2017, vol. 363, pp. 138-159. [in Russ.].
13. *Morozova S.V., Denisov K. E., Molchanova N.P.* Klimaticheskaya kharakteristika dat perekhoda sredney sutochnoy temperatury vozdukha cherez

opredelennye predely (na primere Saratova). Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyaschennoy 128-y godovschine so dnya rozhd. akad. N.I. Vavilova, Saratov, 2015, pp. 187-188. [in Russ.].

14. *Neushkin A.I., Sidorenkov N.S., Sanina A.T., Ivanova T.B., Berezhnaya T.V., Pankratenko N.V., Makarova M.E.* Monitoring obschey tsirkulyatsii atmosfery. Severnoe polusharie. Obninsk, 2013, 200 p. [in Russ.].

15. *Polyanskaya E.A.* Sinopticheskie protsessy i yavleniya pogody v Nizhnem Povolzh'e. Saratov: Saratov State University publ., 1986, 208 p. [in Russ.].

16. *Ryabushkin Y.B., Ryazantsev N.V.* The economic-biological evaluation of grape varieties for cultivation in the right bank area of the Saratov region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal [The Agrarian Scientific Journal]*, 2015, vol. 5, pp. 23-27. [in Russ.].

17. *Sikan A.V.* Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informatsii. Saint-Petersburg: RSHU publ., 2007, 280 p. [in Russ.].

18. *Smirnov N.P., Vaynovskiy P.A., Titov Yu.E.* Statisticheskii diagnost i prognoz okeanologicheskikh protsessov. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat publ., 1992, 199 p. [in Russ.].

19. *Handozhko A.V.* Ekonomicheskaya meteorologiya [Economic meteorology] Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat publ., 2005, 490 p. [in Russ.].

20. *Chichasov G.N.* Tekhnologiya dolgosrochnykh prognozov pogody. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat publ., 1991, 304 p. [in Russ.].

21. *Kryjov V.N.* Searching for circulation patterns affecting Northern Europe annual temperature. *Atmos. Sci. Lett.*, 2004, vol. 5, no. 1, pp. 23-24.

22. *Wallace J.M., Gutzler D.S.* Teleconnections in the geopotential height field during the Northern hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, vol. 109, pp. 784-812.

23. *Wilks D.S.* Statistical methods in the atmospheric sciences. M.: Academic Press, 1995, 467 p.

24. Dannye o rochnykh znacheniyakh temperatury vozdukha dlya meteostantsiy Saratovskoy oblasti VNIIGMI-MTSD. URL: <http://meteo.ru/index.html>. [in Russ.].

*Поступила в редакцию 10.06.2018 г.*

*Received by the editor 10.06.2018.*