

Результаты исследований по прогнозированию сглаженного хода температуры в течение месяца

Данная работа представляет собой продолжение и развитие исследований, выполненных в [3, 5-7, 11]. Цель исследования - прогноз сглаженного хода температуры в течение месяца.

Поскольку последнее время качество среднесрочных гидродинамических прогнозов заметно улучшилось, выходные данные моделей общей циркуляции атмосферы возможно использовать при долгосрочном прогнозировании погоды.

В работах авторов [3, 6] описывается схема прогноза сглаженного хода температуры в течение месяца в пунктах на территории России и Казахстана. Схема базируется на концепции совершенного прогноза, в качестве предикторов применяются гидродинамические прогнозы на первую декаду прогностического месяца.

Как показано в [4], наиболее инерционной метеовеличиной является относительный геопотенциал H_{1000}^{500} . Однако его использование в качестве предиктора затруднено, поскольку не существует архива достаточной длины и высокого качества. Поэтому в качестве основного предиктора выбран абсолютный геопотенциал $H-500$. Кроме того, в прогностическую схему целесообразно включить приземное давление (p_0) и температуру на поверхности 850гПа ($T-850$), хорошо коррелированную с приземной температурой воздуха. Ежедневные данные по вышеуказанным величинам взяты из архива Национального центра прогнозирования окружающей среды США (NCEP USA) за период 1946-1994 гг. и представлены в узлах регулярной географической сетки с шагом 5^0 широты на 5^0 долготы.

Предиктант - сглаженный ход температуры (T_0) в течение месяца в следующих городах России: Архангельск, Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Пермь, Омск, Красноярск, Чита, Магадан, Ростов, Астрахань, а также в Семипалатинске (Казахстан).

Предиктант и предикторы в задаче прогноза используются в сглаженном виде. Сглаживание необходимо для фильтрации ежедневных флуктуаций метеорологических полей, которые со статистической точки зрения представляют собой шум, и по причине сравнительно небольшой выборки метеорологических объектов, размерность которых велика. Существенное уменьшение размерности предикторов и предиктантов позволяет устанавливать статистически устойчивые зависимости. Чтобы уменьшить влияние случайных процессов и сократить размерность предиктора применяется разложение по естественным ортогональным составляющим (е.о.с.) [1]:

$$X_{ih} = \sum_{j=1}^p Y_{ij} V_{jh} \quad , \quad (1)$$

где X – ежедневные значения $H-500$, p_0 или $T-850$ в первой декаде (а также T_0 в течение месяца), V_{ij} - собственные векторы ковариационной матрицы временного хода указанных величин, Y_{jh} - коэффициенты разложения по времени.

Описание временного хода предикторов только лишь в одной точке чревато обнаружением так называемых «ложных связей». Процессы, происходящие в атмосфере над исследуемым районом, даже при одинаковом ходе метеовеличин в определенной точке не всегда будут близки друг к другу. Необходимо привлечь в качестве предикторов величины, описывающие пространственную изменчивость процессов. Такими могут быть коэффициенты двойного разложения (по времени и по пространству) по е.о.с. В данной работе коэффициенты разложения временного хода предикторов в первой декаде месяца в определенном узле географической сетки и в восьми окружающих его узлах раскладывались по пространственной координате:

$$X(x_j, \tau_k) = \sum_{h=1}^n \sum_{k=1}^m L_{hk} W_k(x_j) V_h(\tau_k) \quad , \quad (2)$$

где $V_h(\tau_k)$ - собственные векторы ковариационной матрицы временного хода указанных величин в узле сетки, $W_k(x_j)$ - главные компоненты временных коэффициентов разложения в 9 точках, L_{hk} - коэффициенты двойного разложения по времени и горизонтальным координатам.

Таким образом, предикторы отражали с одной стороны динамику геопотенциала на среднем уровне тропосферы и давления на уровне моря за первую декаду месяца в каждой точке поля, с другой – давали представление о барической ситуации синоптического масштаба.

Сумма первых трех собственных чисел, характеризующая вклад первых трех коэффициентов разложения в общую дисперсию $H-500$, p_0 и $T-850$ составляет 80-85%.

Ход температуры в течение месяца для всех пунктов представлялся пятью первыми коэффициентами разложения, что позволило описать общую изменчивость на 70-80%.

Поскольку в большом числе случаев для среднедекадных и среднемесячных величин в выборке за 49 лет не выполняется условие нормального статистического распределения, аномалии исследуемых величин объединены в одну выборку за последовательные пять декад. При этом вышеуказанное условие выполняется. Кроме того, объединение позволило увеличить объем выборки с 49 до 245 случаев.

Анализ взаимосвязей между предикторами и предиктантами

На первом этапе рассчитывались коэффициенты корреляции между средней месячной температурой в пунктах и полями предикторов в первой декаде месяца: парные коэффициенты корреляции в случае средних декадных полей, множественные корреляции между температурой и коэффициентами разложения временного хода или двойными коэффициентами разложения предикторов в узлах регулярной географической сетки на территории первого и второго естественных синоптических районов (см. рис.1).

Корреляционный анализ показал наличие следующих особенностей взаимосвязей. В течение года районы, где отмечаются максимальные значения парной и множественной корреляции, перемещаются в пространстве, причем примерно одинаково для всех исследуемых пунктов.

В теплое полугодие максимальные значения корреляции наблюдаются вблизи исследуемых пунктов (рис.1в). Исключение составляет Магадан, где летом практически отсутствуют взаимосвязи между указанными величинами (рис.2г).

В холодное полугодие отмечаются два ярко выраженных максимума взаимосвязей – один на северо-западе, второй – в среднем южнее исследуемого пункта. В частности для северной половины европейской территории России (ЕТР) характерно такое положение максимумов корреляции – район Исландской депрессии и район Балканского полуострова (рис.1а). Для Западной и Восточной Сибири данные максимумы расположены над побережьем Северного Ледовитого океана и в районе климатического положения центра Сибирского антициклона (рис.2б). Ко второму району также тяготеют максимальные величины коэффициентов корреляции средней месячной температуры в пунктах юга ЕТР со средними декадными и коэффициентами разложения $H-500$ и p_0 . Что касается корреляций приземной температуры и $T-850$, районы их максимальных значений находятся несколько ближе к исследуемым пунктам.

В переходные сезоны происходит перестройка полей корреляций. Причем для каждого пункта весной характерно приближение максимума корреляций, расположенного южнее, и обратный процесс осенью. Северный максимум также существует, однако становится заметно слабее. Для поля множественных корреляций по сравнению с полем парных корреляций отмечено более позднее смещение южного максимума к пункту прогноза весной и более раннее его перемещение к югу осенью. Это позволяет использовать для прогноза информацию о циркуляции в первой декаде месяца над различными районами.

Анализ взаимосвязей хода температуры внутри месяца с параметрами, описывающими декадные изменения $H-500$, p_0 и $T-850$, оказалось предпочтительнее проводить в режиме скользящего контроля над работой аналого-регрессионной схемы.

Аналого-регрессионная схема прогноза сглаженного хода температуры в течение месяца

В регрессионной схеме предиктантами являются средняя месячная температура воздуха и пять коэффициентов разложения хода средней суточной температуры в течение месяца по е.о.с. Предикторы отражают с одной стороны динамику геопотенциала на среднем уровне тропосферы и давления на уровне моря за первую декаду месяца и температуры на верхней границе пограничного слоя (коэффициенты разложения временного хода $H-500$, p_0 и $T-850$) в каждой точке поля, с другой – дают представление о пространственной эволюции барической ситуации синоптического масштаба (коэффициенты двойного разложения хода $H-500$, p_0 и $T-850$). Динамика данных величин (полей) представлялась тремя коэффициентами либо временного, либо пространственно-временного ортогонального базиса, определяемого методом главных компонентов.

Для прогноза хода температуры внутри месяца использована схема множественной линейной регрессии

$$Y = A' \cdot X, \quad (3)$$

где Y - вектор-предиктант, состоящий из коэффициентов разложения временного хода температуры в течение месяца, X - вектор-предиктор, т.е. коэффициенты разложения временного хода (либо двойного разложения) $H-500$, p_0 или $T-850$ в первой декаде месяца, A' - вектор-строка коэффициентов регрессии.

Оценка прогнозов на зависимом материале производилась с помощью схемы скользящего контроля, или так называемой «кросс-валидации», которая близка к верхнему пределу оценки качества прогноза на независимом материале. При проведении «кросс-валидации» из выборки исключается первый контрольный случай, по всем оставшимся рассчитываются параметры уравнения регрессии, которые и позволяют рассчитать прогноз исключенного элемента, далее исключается второй, третий и т.д. случаи. Таким образом, дается прогноз всех исключенных элементов. Мерой оценки прогнозов были коэффициенты корреляции (r) и параметр ρ между прогностическими и фактическими средними месячными аномалиями температуры воздуха, множественные коэффициенты корреляции (R) между прогностическими, фактическими и восстановленными по пяти коэффициентам разложения значениями температуры за каждый день месяца, а также оправдываемость прогноза (%) при абсолютной ошибке за каждый день $\delta \leq 3^0$ (5^0) (Δ_3 и Δ_5).

Поскольку длина ряда $T-850$ меньше, чем длина других рядов, для использования $T-850$ в уравнениях регрессии необходимо вводить $T-850$ в уравнения после нахождения коэффициентов регрессии, соответствующих $H-500$ и p_0 . В этом случае коэффициент регрессии, соответствующий $T-850$, будет находиться не для самой аномалии температуры воздуха, а для ошибки ее прогноза по остальным предикторам в 1962-1994 гг. На первом этапе строится уравнение регрессии для самого длинного ряда, а ошибка регрессии $\delta_1 T$ выводится для дальнейшего предсказания по более коротким рядам. На втором этапе из ошибки $\delta_1 T$ выделяется та часть, которую можно предсказать, используя второй предиктор меньшей длины [2].

Ранее в работах авторов [6] были представлены результаты прогнозов на архивном материале с использованием в качестве первого предиктора $T-850$, однако в этом случае невозможно включать в уравнения регрессии все данные за 49 лет. Кроме того прогностические значения $T-850$ имеют более низкие показатели оправдываемости, чем $H-500$.

Для прогноза оказалось предпочтительнее использовать аналого-регрессионную схему, которая составлялась как для прогноза средней месячной температуры (на основе установленных зависимостей), так и для прогноза хода температуры внутри месяца. Уравнение множественной линейной регрессии решалось после отбора определенного количества аналогов (разного для различных пунктов и сезонов). Фактически это схема кусочно-линейной регрессии.

Для применения кусочно-линейной регрессии наиболее оптимальным оказалось использование в уравнении регрессии трех различных предикторов (три коэффициента разложения $H-500$, p_0 либо $T-850$ считались за один предиктор). К каждой новой реализации первого предиктора (средней декадной величине или трем коэффициентам при главных компонентах $H-500$) подбирались группа аналогов, составляющая около 50% исходной выборки. Мерой аналогичности служили евклидовы расстояния между исходным и всеми остальными векторами-предикторами. Остальные предикторы выстраивались в порядке возрастания евклидова расстояния между исключенным и архивным предикторами. Евклидово расстояние $D_{\alpha\beta}$ вычислялось по формуле

$$D_{\alpha,\beta} = \left\{ \sum_i P_i [(X_i(\alpha) - X_i(\beta))]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где P_i - весовой коэффициент i -го признака, $X_i(\alpha)$, $X_i(\beta)$ - i -й признак объектов α и β . Если признаками являлись средние декадные значения предикторов, то данное выражение вырождалось в сумму по одному индексу, а весовой коэффициент равнялся нулю. Если в качестве признаков рассматривались коэффициенты разложения по е.о.с., то P_i представляли собой величины, обратные собственным числам λ_i . Это связано с тем, что первое собственное число λ_1 обычно в 1,5-2 раза больше второго (λ_2), а λ_2 в 1,5-2 раза больше λ_3 . Не вводя весовые коэффициенты, мы теряем часть информации о колебаниях величин предикторов, описываемых вторым и третьим коэффициентами разложения.

Затем отбиралась группа аналогов ко второму предиктору среди уже отобранных. Такие же действия применялись по отношению к третьему предиктору. При этом на каждом шаге число аналогов уменьшалось на 10-20 по сравнению с предыдущим.

Далее на аналоговой выборке решалось уравнение множественной линейной регрессии. По полученным коэффициентам регрессии рассчитывались значения предиктанта. Если предиктантом являлись коэффициенты разложения временного хода температуры, то для восстановления прогностических значений использовалась следующая процедура:

$$T_h = \sum_{j=1}^5 Y_j V_{jh}, \quad h = 1, 2, \dots, 30, \quad (5)$$

где h - дни месяца, T_h - прогностическая температура, Y - прогностические коэффициенты разложения, V - собственные векторы разложения по е.о.с., рассчитанные на исходной выборке, j - номер собственного вектора.

Был проведен ряд экспериментов, в которых прогностические значения средней месячной температуры и ее хода в течение месяца вычислялись не аналого-регрессионным методом, а методом осреднения наилучших аналогов. В некоторых случаях оценки прогнозов по второму методу оказались выше, однако в целом качество прогнозов, вычисленное с помощью «кросс-валидации», оказалось выше для аналого-регрессионной схемы.

Качество прогнозов средней месячной температуры (в «квази-оперативном» режиме, т.е. с применением скользящего контроля) высокое. Оценка p прогноза средней месячной температуры в режиме скользящего контроля оказалась в среднем около 0.5 для всех пунктов за исключением Магадана, где прогноз по данной методике возможен лишь в холодное полугодие. Такие показатели оправдываемости позволяют применять

спрогнозированную среднюю месячную температуру для уточнения прогноза хода температуры. В табл. 1 представлены показатели качества прогнозов средней месячной температуры, полученные по наилучшим наборам предикторов.

Прогноз хода температуры также проверялся в «квази-оперативном» режиме. В целом оправдываемость таких прогнозов достаточно высока, однако далеко не всегда хорошо прогнозируется амплитуда колебаний температуры.

Таблица 1

Показатели качества прогнозов средней месячной температуры на архивном материале

Показатель Пункт	r		ρ	
	min	max	min	max
Архангельск	0.45 (12)*	0.72 (7)	0.29 (12)	0.63 (7)
	среднее 0.59		среднее 0.48	
Москва	0.41 (11)	0.75 (6)	0.36 (11)	0.7 (6)
	среднее 0.62		среднее 0.51	
Санкт-Петербург	0.39 (11)	0.71 (6)	0.34 (11)	0.61 (6)
	среднее 0.58		среднее 0.49	
Нижний Новгород	0.42 (11)	0.73 (6)	0.36 (11)	0.65 (6)
	среднее 0.59		среднее 0.5	
Пермь	0.39 (2)	0.69 (6)	0.35 (2)	0.67 (6)
	среднее 0.57		среднее 0.51	
Омск	0.46 (2)	0.7 (4)	0.35 (10)	0.65 (4)
	среднее 0.59		среднее 0.5	
Красноярск	0.43 (7)	0.73 (4)	0.38 (7)	0.65 (4)
	среднее 0.59		среднее 0.51	
Чита	0.45 (10)	0.7 (6)	0.37 (10)	0.7 (6)
	среднее 0.56		среднее 0.5	
Магадан	0.13 (7)	0.65 (2)	0.1 (7)	0.59 (1)
	среднее 0.44		среднее 0.32	
Ростов-на-Дону	0.38 (9)	0.7 (10)	0.31 (11)	0.69 (5)
	среднее 0.58		среднее 0.49	
Астрахань	0.4 (9)	0.69 (10)	0.35 (11)	0.71 (5)
	среднее 0.58		среднее 0.52	
Семипалатинск	0.37 (9)	0.71 (6)	0.33 (10)	0.7 (11)
	среднее 0.59		среднее 0.51	

* В скобках указан месяц, в котором достигается максимальное и минимальное значение показателя.

Средние оценки «квази-оперативного» прогноза хода температуры – коэффициент корреляции 0.45, оценка по знаку (ρ) 0.25, в 72% случаев спрогнозированные температуры попадают в трехградусный интервал относительно восстановленной по первым пяти коэффициентам разложения фактической температуры. В табл. 2 представлены показатели качества прогнозов сглаженного хода температуры для ряда пунктов, полученные по наилучшим наборам предикторов.

Таблица 2

Показатели качества прогнозов хода температуры на архивном материале

Пункт \ Показатель	R		ρ		Δ_3	
	min	max	min	max	min	max
Архангельск	0.39 (11)*	0.54 (7)	0.14 (12)	0.33 (7)	0.67 (11)	0.79 (7)
	среднее	0.46	среднее	0.25	среднее	0.72
Москва	0.36 (11)	0.64 (6)	0.16 (11)	0.39 (6)	0.69 (11)	0.82 (7)
	среднее	0.51	среднее	0.24	среднее	0.76
Санкт-Петербург	0.37 (11)	0.6 (6)	0.15 (10)	0.34 (7)	0.67 (11)	0.8 (6)
	среднее	0.47	среднее	0.24	среднее	0.74
Пермь	0.35 (2)	0.61 (6)	0.16 (2)	0.37 (6)	0.64 (3)	0.83 (6)
	среднее	0.43	среднее	0.24	среднее	0.74
Красноярск	0.39 (7)	0.53 (3)	0.18 (7)	0.33 (12)	0.67 (7)	0.78 (2)
	среднее	0.47	среднее	0.25	среднее	0.72
Чита	0.38 (9)	0.59 (3)	0.22 (11)	0.35 (2)	0.68 (11)	0.84 (2)
	среднее	0.5	среднее	0.28	среднее	0.76
Магадан	0.11 (7)	0.52 (1)	0.06 (7)	0.32 (1)	0.49 (8)	0.81 (1)
	среднее	0.35	среднее	0.17	среднее	0.64
Ростов-на-Дону	0.37 (11)	0.57 (5)	0.2 (11)	0.35 (5)	0.65 (11)	0.84 (6)
	среднее	0.47	среднее	0.27	среднее	0.75

* В скобках указан месяц, в котором достигается максимальное и минимальное значение показателя.

При прогнозе хода температуры во всех случаях выявлено несколько (от 5 до 30) комбинаций предикторов с учетом и без учета пространственных сдвигов, на основе которых получены высокие показатели оправдываемости, близкие друг к другу. Поэтому было принято решение использовать все эти комбинации предикторов при проверке прогнозов в «квази-оперативном» (т. е. с применением «кросс-валидации») и оперативном режиме. Полученные по разным наборам предикторов прогнозы осреднялись.

В табл. 3 представлены показатели оправдываемости «квази-оперативных» прогнозов по Москве с учетом периода внутри месяца. Наилучшие показатели получены для периода с 6 по 15 число прогностического месяца (в среднем для всех месяцев).

Таблица 3

Качество прогнозов по Москве, рассчитанных в режиме «кросс-валидации» для различных периодов внутри месяца

Показатель	1-30 число	6-25 число	11-20 число	6-15 число	11-25 число	16-25 число	16-30 число
R	0.51	0.56	0.56	0.64	0.49	0.44	0.41
ρ	0.24	0.27	0.26	0.33	0.24	0.20	0.19
Δ_3	0.76	0.77	0.75	0.83	0.74	0.71	0.70
Δ_5	0.95	0.95	0.95	0.98	0.93	0.91	0.89

В 2000-2001 гг. проводились авторские испытания представленной прогностической схемы на независимом материале. Предикторами являлись прогностические поля $H-500$, $T-850$ и p_0 , рассчитанные на 10 суток вперед по модели общей циркуляции атмосферы Гидрометцентра России [8, 9], а также по модели NCEP USA. Данные прогнозы представляют собой ансамбли реализаций с возмущенными начальными данными (Гидрометцентр - 3 реализации, NCEP - 12 реализаций). Таким образом, прогноз хода

температуры представляет собой расширенный ансамбль, рассчитанный по реализациям ансамблевого гидродинамического прогноза и различным комбинациям предикторов. Показатели качества прогнозов сглаженного хода температуры для Москвы приведены в табл. 4. Жирным шрифтом выделены показатели качества прогнозов, по которым рассчитаны средние значения, поскольку часть данных в начале и конце периода отсутствует.

Таблица 4

Качество оперативных прогнозов сглаженного хода температуры по Москве

Декада	Гидрометцентр России		NCEP USA		
	r	ρ	r	ρ	max(max(r))
2000 г.					
29 *			0.02	0	0.73
30			-0.17	-0.43	0.64
31			0.56	0.50	0.79
32			0.11	0.29	0.93
33			-0.25	0	0.87
34			0.65	0.64	0.82
35			0.50	0.50	0.88
36			0.63	-0.50	0.72
2001 г.					
1	0.26	0.20	0.50	0.57	0.66
2	0.06	-0.07	0.13	0.36	0.46
3	0.20	-0.20	0.21	-0.14	0.76
4	0.15	0.20	-0.69	-0.11	0.63
5	0.41	0.20	0.22	0.29	0.72
6	0.27	0.07	0.16	-0.07	0.75
7	0.31	0.40	0.69	0.93	0.92
8	0.32	0.33	0.35	0.36	0.75
9	0.82	0.67	0.84	-0.36	0.92
10	0.07	-0.03	-0.22	-0.14	0.72
11	0.07	0	0.22	0.21	0.88
12	0.33	0.27	0.70	0.50	0.86
13	0.59	0.40	0.70	0.36	0.73
14	-0.15	-0.27	-0.04	-0.29	0.46
15	0.62	0.60	0.78	0.57	0.85
16	0.33	0.33	0.31	-0.07	0.69
17	0.42	0.13	0.14	-0.14	0.72
18	0.45	0.20	0.03	0.57	0.97
19	-0.23	0.79	-0.65	1.00	0.28
20	0.12	0.27	0.43	0.71	0.80
21	0.38	0.13	0.54	0.50	0.83
22	0.35	0.07	0.51	0.43	0.83
23	0.44	0.33	0.69	0.71	0.96
24	0.22	0	0.14	0.07	0.72
25	0.12	0.20	0.67	-0.50	0.93
26	0.71	0.50	0.65	0.64	0.91
27	0.60	0.87	0.85	0.79	0.96
28			0.20	0.21	0.62
29			-0.69	-0.57	0.30
30			0.43	-0.14	0.82
31			0.32	0.14	0.66

	Гидрометцентр России		NCEP USA		
Декада	r	ρ	r	ρ	max(max(r))
среднее	0.31	0.26	0.33	0.29	

* Номер декады в году, с которой начинается прогностический месяц.

В последнем столбце приведен показатель качества наилучшего прогноза из расширенного ансамбля, т. е. показатель, отражающий как наилучший гидродинамический прогноз, так и наилучшую комбинацию предикторов. Однако выявить априори, какой прогноз является наилучшим не удалось. Для этого необходимы дополнительные исследования. В частности в статье [11] настоящего сборника предлагается один из способов априорного предсказания качества прогноза.

Таблица 5

Среднее качество оперативных прогнозов по Москве за 2001г.

Показатель	r	r (восстано- вленные)	ρ	ρ (восстано- вленные)
Прогноз				
Гидрометцентр России	0.31	0.43	0.26	0.31
NCEP	0.33	0.46	0.29	0.33

Следует отметить, что в табл. 4 приведены показатели взаимосвязи между сглаженным ходом прогностической температуры и фактическим суточным ее ходом. Если же сравнивать прогноз с фактом, восстановленным по пяти коэффициентам разложения, коэффициенты корреляции и параметр ρ будут заметно выше (табл. 5).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 01-05-64665.

Список литературы

1. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. // Труды ЦИП.- 1959.- Вып.74. С. 3-18.
2. Багров Н.А, Мякишева Н.Н. О регрессионной схеме прогноза с предсказателями различной длины рядов наблюдений. //Труды Гидрометцентра СССР.-1983.- Вып.244.- С. 3-7.
3. Батырева О.В., Вильфанд Р.М., Лукиянова Л.Е., Тищенко В.А. Прогноз хода аномалии температуры внутри месяца осредненный по территории. // Метеорология и Гидрология.- 1996.- N 8. - С. 27-36.
4. Вильфанд Р.М., Александрова Г.П. Об использовании декадных прогнозов температуры в прогнозе погоды на месяц. Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции по статистической интерпретации гидродинамических прогнозов. Одесса 9-15 сентября 1991г, М.: 1991.
5. В.А.Тищенко Прогноз сглаженного хода температуры внутри месяца с использованием классификации ежедневных данных по температуре в пунктах. // Метеорология и Гидрология. - 1995. - N 7. - С. 31-38.
6. Тищенко В.А. Развитие схемы прогноза хода температуры в течение месяца на территории России. // Труды Гидрометцентра России. - 2000. - Вып. 333. - С.53-61.
7. В.А.Тищенко, В.М.Хан. Использование сингулярного спектрального анализа в схеме долгосрочного прогнозирования термического режима. Конференция молодых ученых Национальных гидрометслужб стран СНГ. 6-8 декабря 1999г. Тезисы докладов.

8. Филатов А.Н., Муравьев А.В., Реснянский Ю.Д. Долгосрочный метеорологический прогноз: математические проблемы и возможности гидродинамических моделей. Сб. 70 лет Гидрометцентру России, СПб.: Гидрометеиздат, 1999, С. 141-165.
9. Фролов А.В., Важник А.И. Интегрированная схема гидродинамического среднесрочного прогноза и объективного анализа глобальных метеорологических полей. Сб. 70 лет Гидрометцентру России, СПб.: Гидрометеиздат, 1999, С. 25-43.
10. В.А.Тищенко, В.М.Хан. Априорное оценивание качества статистических прогнозов хода приземной температуры на основе анализа состояния циркуляции в средней тропосфере. - См. настоящий сборник.
11. R.M.Vilfand, V.A.Tischenko. The scheme of the prognosis of the temperature dynamic within one month on the base of statistical interpretation of medium range hydrodynamical model. // Research activities in atmospheric and oceanic modelling. - Report № 28. - 1999. - p.2.49-2.50.