

УДК 551.507.362.2

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА МОДЕЛЬЮ T80**

И.Ф. Калямова

Проведено сравнение осредненной за две недели и месяц фактической температуры воздуха и ветра на метеостанциях Казахстана, с полями температуры и ветра, полученными со спутников «Terra» и «Aqua», прогнозами NCEP реанализа и глобальной модели T80 для различных климатических зон Казахстана. Показаны преимущества использования в полном объеме спутниковой информации в оперативной работе, а также возможность использования долгосрочных прогнозов модели T80 в летний период времени.

На территории Казахстана в 2.7 миллионов км², расположены 242 метеорологические станции и восемь аэрологических станций, что является недостаточным для проведения репрезентативного трехмерного анализа. Часть аэрологических станций производят наблюдения только в 00 часов по Гринвичу (GMT), то есть в 6 часов утра местного времени. Дефицит метеорологической информации придает большую значимость дистанционному зондированию атмосферы, а особенно информации о температуре и влажности, полученной с помощью зондирования. Профили температуры и влажности, полученные со спутников, могут восполнить недостаток метеорологических наблюдений на территории Казахстана. В данной работе использована информация прибора MODIS, который установлен на спутниках «Terra» и «Aqua» [1, 2, 3]. Вертикальные профили атмосферы, полученные с помощью MODIS, содержат различные атмосферные параметры, которые вычисляются для дневного и ночного времени суток для квадрата 5 км × 5 км (при разрешении прибора 1км). Профили температуры и влажности вычисляются для 20 уровней: 1000, 950, 920, 850, 780, 700, 620, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 и 5 гПа.

Такой объем информации у поверхности земли и на высотах дает отличную возможность для качественного анализа при составлении

прогноза погоды, а также является хорошей информационной базой для численных моделей, которые призваны улучшить качество долгосрочных прогнозов. Одной из таких моделей является глобальная модель T80, прогноз которой на июнь 2002, 2003 годов здесь анализируется.

Информация MODIS, которая находится в Интернете в иерархическом формате .hdf, была загружена с сайта: <http://daac.gsfc.nasa.gov>. С помощью программы компиляции «IDL» файлы формата .hdf были конвертированы в информационные файлы, которые были разделены на файлы профилей температуры и влажности. Далее они были конвертированы в бинарные файлы, а затем в программе GrADS метеорологические параметры были нанесены на карту.

Для анализа поля температуры 1000 гПа, из 242-х метеостанций Казахстана были отобраны 182 станции с высотой над уровнем моря, приблизительно не превышающей 500 метров. Значения среднесуточной температуры за июнь 2002, 2003 годов были вычислены на период времени 2 недели и месяц. Осредненная таким образом температура затем сравнивалась:

- с температурой, полученной прибором MODIS со спутников «Terra» и «Aqua»;
- с прогнозом температуры Национального Центра Прогнозов Окружающей Среды (NCEP) реанализа.
- с прогнозом температуры на две недели и месяц глобальной моделью T80.

Рис. 1, 2 иллюстрируют систематическую ошибку температурного поля на уровне 1000 гПа. В контексте использования информации очень важно понять причину ошибки и в наблюдениях, и в модели. Эти ошибки могут быть случайными, а могут быть систематическими. Если систематическая ошибка известна, то мы можем откорректировать ее. Систематическая ошибка для полей 500 гПа (2002 г., 2003 г.) не показана здесь для краткости.

Исправленная, с учетом систематической ошибки, температура для MODIS и NCEP показывает лучший результат, чем температура модели T-80. Для поля 1000 гПа минимальная разница температур (табл. 1): фактической средней за две недели, с температурой, измеренной спутниковым прибором MODIS, составила +0,03 °С для степных районов Казахстана, а максимальная разница температур составила +0,8 °С для районов пустыни. Разница среднемесячной температуры была +0,01 °С для лесных районов и +0,28 °С – для пустыни. Достаточно высокая точность измерений температуры спутниковым прибором позволяет использовать информацию из космоса в оператив-

ной работе при составлении разного рода прогнозов температуры, в том числе и долгосрочных. При использовании этой информации, синоптик будет иметь данные температуры и влажности для 20 уровней, начиная с поверхности земли, с разрешением в каждом 5-ти километровом квадрате. Если мы разделим количество имеющихся в Казахстане метеостанций на площадь 2,7 млн. км², то найдем, что одна метеостанция в Казахстане приходится, в среднем, на площадь 8...9 тыс. км². Нетрудно посчитать, что использование температуры, измеренной спутником, увеличит количество точек наблюдений на поверхности земли примерно в 300...400 раз.

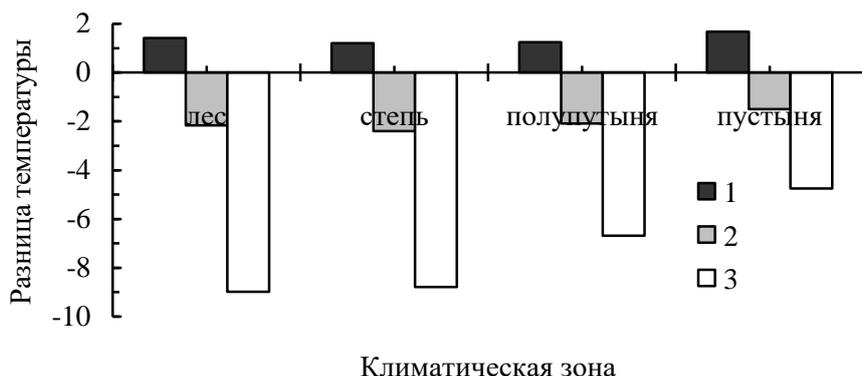


Рис. 1. Систематическая ошибка среднемесячной температуры в июне 2002 года. 1 – MODIS, 2 – NCEP, 3 – T80.

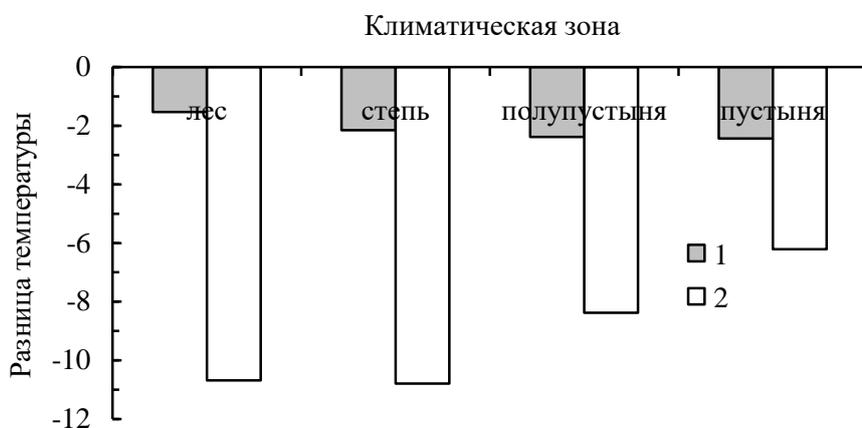


Рис. 2. Систематическая ошибка среднемесячной температуры в июне 2003 года. 1 – NCEP, 2 – T80.

Разница фактических температур воздуха и температур от MODIS, NCEP и T80, исправленных с учетом систематической ошибки, °С

	Климатическая зона				
	лес	степь	полупустыня	пустыня	
2002 год					
Поле 1000 гПа					
Первые две недели месяца					
M – MODIS	0,30	0,03	0,27	0,83	
M – NCEP	0,35	0,09	0,09	0,42	
M – T80	-1,8	-1,7	0,4	2,4	
Вторые две недели месяца					
M – MODIS	-0,24	-0,40	-0,57	-0,27	
M – NCEP	-0,45	-0,66	-0,05	0,77	
M – T80	-1,5	-1,3	0,8	2,7	
Месяц					
M – MODIS	0,01	-0,20	-0,16	0,28	
M – NCEP	-0,07	-0,30	0,01	0,59	
M – T80	-1,7	-1,5	0,6	2,5	
2003 год					
Первые две недели месяца					
M – NCEP	0,99	0,09	-0,72	-1,32	
M – T80	-1,6	-1,8	0,7	2,8	
Вторые две недели месяца					
M – NCEP	0,23	-0,11	0,20	0,68	
M – T80	-1,6	-1,7	0,6	2,8	
Месяц					
M – NCEP	0,56	-0,06	-0,29	-0,34	
M – T80	-1,7	-1,8	0,6	2,8	
2002 год					
Поле 500 гПа					
Первые две недели месяца					
NCEP – MODIS	-0,02	-0,22	-0,12	-0,42	0,58
NCEP – T80	0,5	0,3	-0,7	-2,2	-1,4
MODIS – T80	0,52	0,52	-0,58	-1,78	-1,98
Вторые две недели месяца					
NCEP – MODIS	0,08	-0,12	-0,12	0,08	0,28
NCEP – T80	1,1	1,1	0,8	-0,3	0,8
MODIS – T80	1,02	1,22	0,92	-0,38	0,52
Месяц					
NCEP – MODIS	0,06	-0,14	-0,14	-0,14	0,36
NCEP – T80	0,88	0,68	-0,02	-1,22	-0,32
MODIS – T80	0,82	0,82	0,12	-1,08	-0,68
2003 год					
Первые две недели месяца					
NCEP – T80	0,19	-0,11	-0,07	-0,20	-1,34
Вторые две недели месяца					
NCEP – T80	0,67	0,44	1,09	1,63	-2,30
Месяц					
NCEP – T80	0,43	0,17	0,51	0,71	-1,82

Примечание: M – метеостанция, MODIS – спутниковый прибор, T80 – модель.

Для поля 500 гПа была взята разница спутниковых температур и NCEP реанализа [6]. Информация NCEP реанализа обеспечивается Американским Центром Диагностики Климата в Колорадо с веб сайта <http://www.cdc.noaa.gov/>. В данном случае информация NCEP использовалась как аналог фактической информации. В табл. 1 видно, что данные прогноза NCEP имеют наименьшую разницу с фактическими данными, по сравнению с измерениями MODIS и прогнозом T80. Необходимо напомнить, что проект, названный «реанализ», был создан для проведения научных исследований и имеет архив более чем 50-ти летнего глобального анализа атмосферных полей. NCEP – статистическая комбинация прогноза и наблюдений, обеспечивающая оптимальное вычисление 4-х размерного состояния атмосферы, не имеет прерывистых изменений в системе ассимиляции. Ученые всего мира интенсивно используют информацию реанализа. Проведено множество исследований, в которых используется сравнение результатов реанализа с различными типами наблюдений.

Информация NCEP доступна для 17 уровней давления (гПа): 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 с разрешением 2,5-градуса широты на 2,5-градуса долготы, то есть с разрешением примерно в 34 000 км² [6]. Учитывая то, что в Казахстане обеспечением метеорологической информацией на высотах занимается всего восемь аэрологических станций, можно подсчитать, что одна аэрологическая станция освещает территорию приблизительно в 340 000 км². На этом фоне разрешение NCEP выглядит достаточно хорошим. Разница средних температур за две недели между прогнозом NCEP и измерениями MODIS составила -0,02 °С...+0,58 °С, а разница средних температур за месяц: +0,06 °С...+0,36 °С. Использование спутниковой информации на разных высотах позволит иметь количество наблюдений, превышающих настоящие к этому времени аэрологические наблюдения, в 13 600 раз.

После того, как сравнительный анализ прогноза NCEP и наблюдений MODIS с фактическими данными показал очень хорошие результаты, можно было использовать данную информацию для сравнительного анализа прогноза модели. Для модели было задано десять различных первоначальных условий состояния атмосферы и, в результате, получен ансамбль из десяти прогнозов, который затем был осреднен для получения конечного прогноза температуры. Из-за хаотичности природы атмосферы, несколько прогнозов, начинающихся от слегка различных первоначальных условий, дадут более точное решение, чем единичное решение с фактическими первоначальными условиями [4, 5].

По результатам (табл. 1) видно, что Т-80 дает положительное отклонение температуры над районами пустынь и над полупустынями и отрицательное отклонение над лесом и степью. Большое отклонение прогноза модели над районами пустынь, возможно, вызвано следующими причинами:

- чувствительностью модели к высоким суточным колебаниям температуры в этих районах;
- недостатком метеорологических наблюдений в этих районах;
- Т-80 модель не содержит детального описания поверхности земли.

Табл. 2 показывает, что районы пустыни и полупустыни имеют наименьшее количество метеостанций и разрешение модели на местности в этих районах приблизительно, равнозначно репрезентативности станций в этих районах. Т80 имеет разрешение 1,4-градуса широты на 1,4-градуса долготы, что составляет примерно 10,7 тыс. км², а средняя площадь, приходящаяся на одну метеостанцию в районах полупустынь и пустынь, от 10 до 11 тыс. км² [4, 5]. И, наоборот, лесные районы и районы степей освещены метеорологическими наблюдениями значительно лучше.

Таблица 2

Расположение метеорологических станций на территории Казахстана

Зона	Площадь, км ²	Количество станций	Средняя площадь на одну станцию, км ²
Лес	148 460	21	7 070
Степь	398 704	51	7 818
Полупустыня	722 059	70	10 315
Пустыня	695 123	64	10 861

Точность наблюдений прибором MODIS вертикальных профилей температуры была также сверена с фактическими вертикальными профилями, полученными на аэрологических станциях. В виду того, что каждый файл MOD07_L2 сайта MODIS имеет размер приблизительно 30 Мб, удалось заказать и загрузить информацию только за июль 2002 г. К сожалению, на данный период времени, на который была проанализирована спутниковая информация, наблюдения на аэрологических станциях проводились не регулярно, поэтому был выбран период времени, когда информация была относительно полной: 10...15 июля 2002 г. Аэрологические наблюдения проводились на всех станциях в 00 GMT (06 утра местного времени). Это, приблизительно, время минимальной ночной температуры. Для сравнения аэрологических наблюдений с информацией MODIS было выбрано только ночное время прохождения спутника (около 22...24 часов местного времени). Нужно отметить, что существующая разница во време-

ни между прохождением спутника над районами Казахстана и запуском радиозондов на станциях, не могла не сказаться на результатах сравнения.

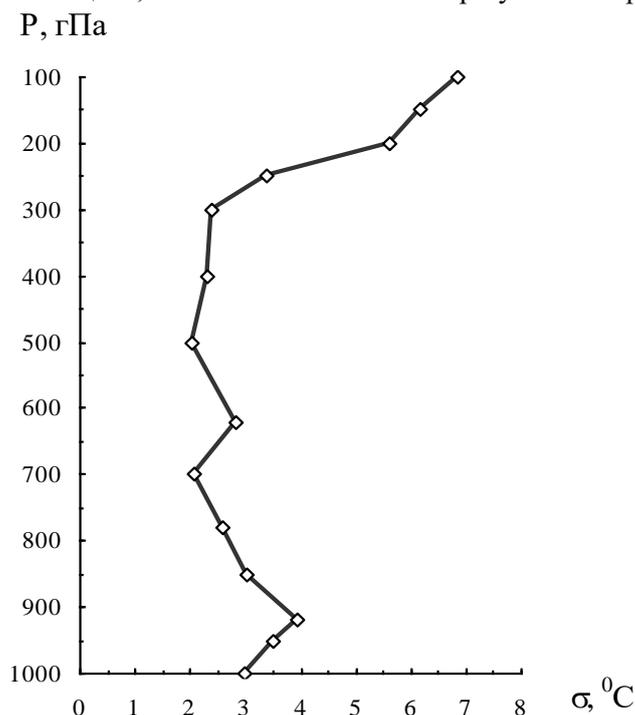


Рис. 3. Среднеквадратичное отклонение температуры воздуха: радиозонд-MODIS для восьми аэрологических станций.

Сравнивался осредненный за шесть дней профиль температуры, полученный от MODIS с осредненными аэрологическими профилями за тот же период времени. Среднеквадратичное отклонение для вертикального профиля температуры показано на рис. 3. На рис. 3 видно, что минимальное отклонение найдено для высот 700 гПа и 500 гПа, тогда как максимум приходится на уровень 900 гПа. MODIS плохо уловил инверсионный слой температуры, который обычно формируется в ночное время в пограничном слое, так как прибор имеет худшее вертикальное разрешение чем радиозонд. Суточные колебания температуры у земной поверхности являются причиной высокого отклонения. Выше уровня 300 гПа отклонение начинает резко увеличиваться, что означает начало слоя тропопаузы. Тем не менее, в слое тропосферы среднеквадратичное отклонение находится в пределах точности измерения прибором MODIS: $\pm 3 \dots 4$ °C [1, 2, 3].

Помимо анализа температуры, также было проанализировано поле ветра на полях 850 гПа и 200 гПа, полученное прогнозом T80 и NCEP, и проведено

сравнение с фактической синоптической ситуацией на данный период времени. Для наглядности прогноз поля ветра был наложен на температурное поле. В основном, прогноз глобальной модели поля температуры и ветра совпадает с наблюдаемыми параметрами. Максимумы и минимумы температурных полей спрогнозированы хорошо. Параметры ветра в основном зависят от поля температуры. Чем больше температурный градиент, тем больше скорости ветра. Корректировка температурного поля автоматически приведет к более точному прогнозу ветрового поля и сделает результаты модели и NCEP реанализа сравнимыми. На уровне 850 гПа T80 показывает ветер, в основном соответствующий синоптической ситуации, но ослабляет его. Причиной уменьшения ветра является то, что T-80 показывает слабые температурные градиенты. Несомненно, что корректировка температурного поля улучшит прогноз поля ветра моделью. На уровне 200 гПа, где уже не сказываются суточные колебания температуры, T80 усиливает ветровой поток, но здесь мы должны помнить, что разрешение модели: $1,4^\circ \times 1,4^\circ$, разрешение NCEP: $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. При сравнимом разрешении модели и NCEP мы могли бы получить и сравнимый прогноз ветрового поля.

Проведенный сравнительный анализ фактического температурного и ветрового поля со спутниковыми измерениями прибором MODIS и прогнозом T-80 и NCEP реанализа, позволяет сделать следующие выводы:

Проверенные для июня 2002, 2003 годов спутниковые наблюдения температуры, как на уровне поверхности земли, так и на высотах, сравнимы с фактическими температурами, что позволяет использовать их в оперативной работе. Требуется анализ спутниковой информации для зимнего периода времени.

Использование спутниковой информации позволит, не увеличивая количества метеорологических и аэрологических станций, увеличить число наблюдений в 300...400 раз для поля 1000 гПа и в 13 600 раз для высотных полей.

Оправдываемость прогнозов на период времени больше одной недели обычно низка. Использование долгосрочного прогноза температуры модели T80 поможет значительно улучшить качество прогноза. Передовые технологии в системе наблюдений, компьютерные модели, статистическая техника могут позволить улучшить прогноз на две недели и на месяц уже в ближайшем будущем. Месячный прогноз средних значений температуры и осадков будет очень полезен для таких основных секторов экономики как сельское хозяйство и энергетика и другие. Очевидность слабого прогноза в масштабах двух недель и месяца заставляет нас задуматься о дол-

госрочном прогнозе погоды с использованием глобальной модели. T-80 – одна из таких моделей, которая может быть использована в этих целях.

Возможность включения в составление прогноза как можно больше доступной информации является большим преимуществом, что особенно важно для районов с дефицитом метеорологических наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Simon B., P.C.Joshi, and P.S.Desai. Moisture Profiles over the Tropics from NOAA/TOVS Satellite Data // Journal of Geophysical Research. – 1995. – Vol.100. – №D1. – P.1439-1443.
2. Simon B., Athar S.M.U., Rahman S.H. Application of MODIS data for mesoscale process. Proc. Scale interaction and monsoon variability (SIVOM), Munnar, Kerala, 6-10 October 1995.
3. Michael D.King, Memer, IEEE, W.Paul Menzel, Yoram J.Kaufman, Didier Tanre, Bo-Cai Gao, Steven Plantick, Steven A.Ackerman, Lorraine A.Remer, Robert Pincus, and Paul A.Hubanks. Cloud and Aerosol Properties, Precipitable Water, and profiles of Temperature and Water Vapor from MODIS IEEE // Trans. Geosci. Remote Sensing, 2003. – Vol. 41, P. 442-458.
4. Pal P.K., Thapliyal P.K. and Kishtawal C.M. Extended Range Simulation of Indian Summer Monsoon Using ERMP Mode // Atmospheric Sciences Division Meteorology & Oceanography Group Space Applications Centre Indian Space Research Organisation, part-A. – 2001.
5. Pal P.K., Thapliyal P.K., and Kishtawal C.M. Extended Range Simulation of Indian Summer Monsoon Using ERMP Model // Atmospheric Sciences Division Meteorology & Oceanography Group Space Applications Centre Indian Space Research Organisation, part-B. – 2001.
6. Compiled and edited by U.C.Mohanty et.l. Report of the performance of operational forecast system during Monsoon-1994 / National Centre for medium range forecasting, New Delhi, 1995. – P. 3-8.

Центр гидрометеорологического мониторинга, г. Астана

«TERRA» ЖӘНЕ «AQUA» СПУТНИКТҮЛНЕН АЛЫНҒАН ТЕМПЕРАТУРА ЖӘНЕ NSER РЕАНАЛИЗИНІҢ НАҚТЫ ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН Т-80 ҮЛГІСІНІҢ ЖЕЛ ЖӘНЕ АУА ТЕМПЕРАТУРАЛАРЫНЫҢ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ БАЛЖАУЫНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

И.Ф. Калямова

Қазақстанның әртүрлі климатологиялық аймақтарына арналған жалпай T-80 үлгісінің NSER реанализі болжаулары, «Terra» және «Aqua» спутниктерінен алынған ауа мен жел температурасы өрістері, Қазақстан метеостанцияларындағы нақты ауа мен жел температурасының екі апта және ай мөширінде орташаланған салыстыру жүргізілді. Спутникалық

ақпараттың шұғыл жұмыста толық көлемде пайдаланудың артық жерлері, және де ұзақ мерзімді болжауда Т-80 үлгісінің жазғы кезеңде пайдалану мүмкіндігі көрсетілген.