

# Верификация региональной климатической модели RegCM v4.5 для Нижней Волги

А.В. Титов<sup>1</sup>, А.В. Хоперсков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный университет, пр. Университетский 100, Волгоград, Россия, 400062

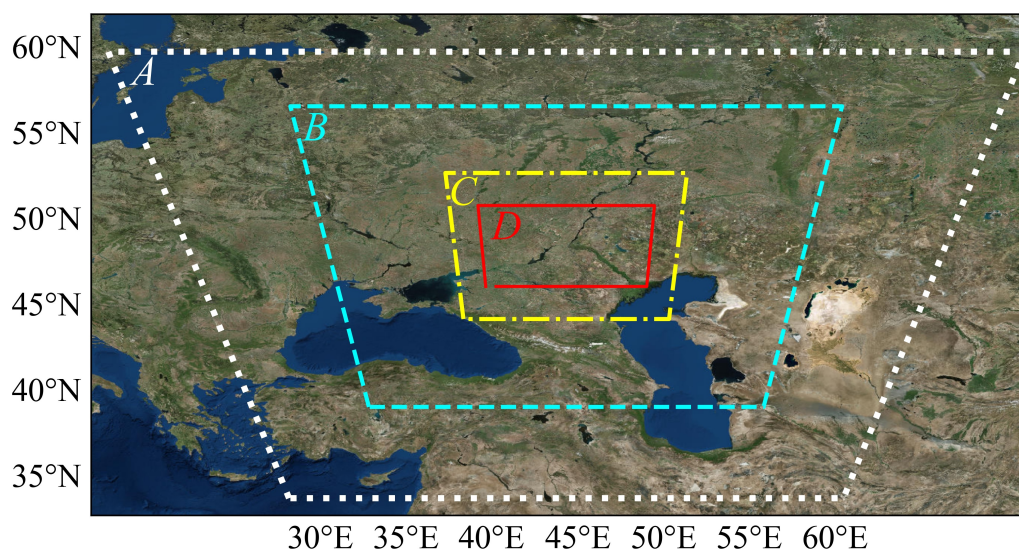
**Аннотация.** Представлены результаты верификации региональной климатической модели (РКМ) RegCM 4.5 для территории Нижнего Поволжья с использованием данных реанализа NCEP/NCAR Reanalysis и GHCN + CAMS. Подробно обсуждаются проблемы выбора расчётной области, параметров численной сетки и их влияние на климатический прогноз. Мы дополнили базовый код RegCM модулем, позволяющим разбивать территорию на произвольное число зон, каждая из которых характеризуется своим набором физических характеристик. Проведено более 100 имитационных расчётов для изучения чувствительности результатов моделирования климатических состояний от топографии местности, шероховатости поверхности, свойств почвы и растительности. Исследована возможность определения климатической роли крупнейших водохранилищ региона — Волгоградского и Цымлянского, а также Волго-Ахтубинской поймы.

## 1. Введение

Региональные климатические модели (РКМ) являются естественным развитием моделирования климата, расширяя возможности глобальных моделей циркуляции [1]. РКМ позволяют повысить пространственное разрешение и учитывать более мелкомасштабные особенности поверхности Земли по сравнению с глобальными моделями климата (ГМК). Ключевой проблемой климатического моделирования является верификация используемых моделей [2, 3]. Качество прогнозов на основе, как ГМК, так и РКМ, определяется тонкой подстройкой большого числа физических характеристик и параметров численной модели, включая параметры подсеточной физики. Для региональной климатической модели дополнительными проблемами являются наличие граничных условий и выбор вычислительной области [4].

Вопрос о возможности динамического масштабирования климатических моделей активно изучается на основе различных РКМ и для разных территорий [1, 5]. Эти исследования указывают на необходимость выбора оптимальной конфигурации наборов параметров модели, которые в существенной мере зависят от специфики решаемой задачи. Региональные климатические модели основаны на численном интегрировании уравнений гидротермодинамики атмосферы, как правило, в предположении гидростатического равновесия в вертикальном направлении. В последние годы начинается создание РКМ, выходящих за приближение гидростатического равновесия вдоль  $z$ -координаты [6, 7]. К числу одной из наиболее распространённых РКМ следует отнести RegCM, которая поддерживается International Centre for Theoretical Physics (Trieste, Italy). Версия v4.5 является самой распространённой на данный момент.

Требование гидростатического равновесия накладывает ограничение на размер численной ячейки в плоскости Земли  $\Delta x \gtrsim 10$  км. В данной работе мы ограничимся рассмотрением сетки  $\Delta x = \Delta y = 20$  км. Число вертикальных ячеек  $N_\sigma$  (так называемых  $\sigma$ -слоёв) является свободным параметром, и мы обсудим чувствительность расчётов к выбору параметра  $N_\sigma$ , который определяет степень подробности описания вертикальной структуры атмосферы.



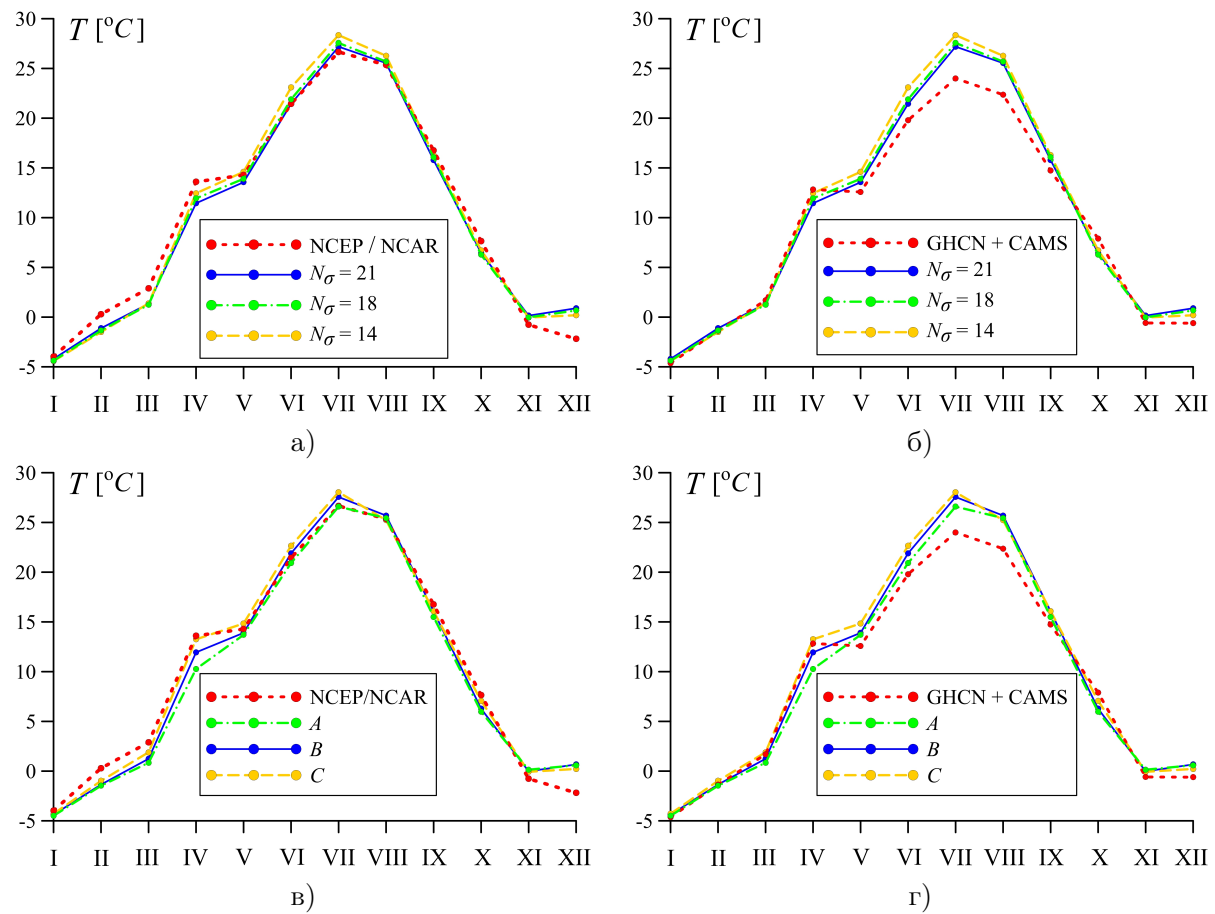
**Рисунок 1.** Границы расчетных областей с центром в аэропорту Гумрак (15 км западнее г. Волгограда):  $A$  —  $3000 \text{ км} \times 3000 \text{ км}$ ,  $B$  —  $2000 \text{ км} \times 2000 \text{ км}$ ,  $C$  —  $1000 \text{ км} \times 1000 \text{ км}$ . По зоне  $D$ , входящей во все три вычислительные области, проводим сравнение результатов моделирования.

Мы рассмотрим также вопрос выбора вычислительной области (рисунок 1), проводя последовательно сравнения результатов моделирования для трёх областей  $A$ ,  $B$  и  $C$ . В основе нашей верификации лежат два набора данных реанализа: NCEP / NCAR и GHCN + CAMS. Условия проведения параллельных вычислений при работе с PKM RegCM описаны в [8].

## 2. Условия и результаты моделирования

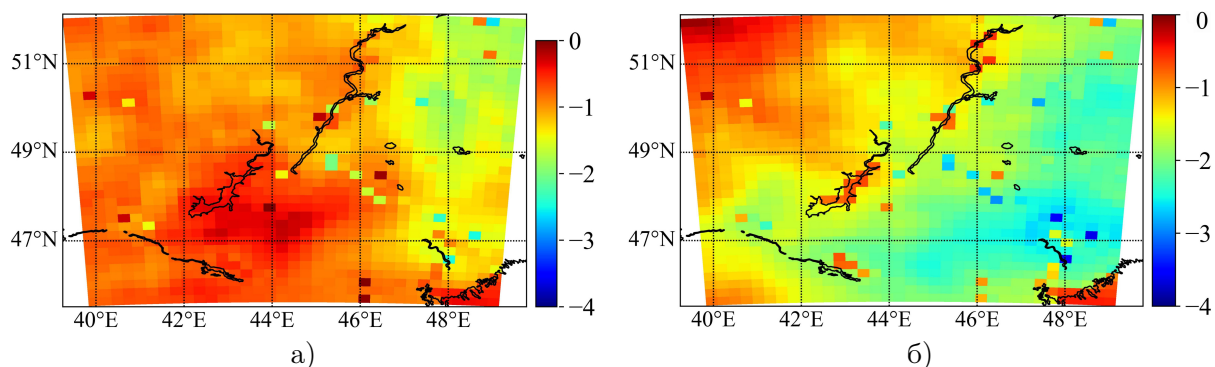
Численные эксперименты проводились для трех различных областей  $A$ ,  $B$ ,  $C$  с числом ячеек  $150 \times 150$ ,  $100 \times 100$ ,  $50 \times 50$  ячеек в плоскости Земли соответственно, используя гидростатическое ядро с размером ячейки 20 км, топографические данные GTOPO с разрешением 30". Начальные и граничные условия определяются из ГКМ European Centre for Medium-Range Weather Forecast's ERA-Interim (EIN15), а для задания температуры поверхности морей применяются данные Indian Ocean Sea Surface Temperature (IOSST). Сравнение результатов моделирования основывается на наборах данных высокого разрешения ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ), подготовленных Climate Prediction Center (National Centers for Environmental Prediction) [9] и данных реанализа ( $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ), которые являются совместным продуктом National Centers for Environmental Prediction (NCEP) и National Center for Atmospheric Research (NCAR) [10].

На рисунке 2 приведены результаты сопоставления среднемесячной температуры воздуха в приземном слое атмосферы с данными реанализов. Вверху изображена зависимость  $T(t)$  для моделей с различным  $N_\sigma$ . В целом, результаты моделирования лучше согласуются с



**Рисунок 2.** Динамика среднемесячной температуры для 2000 г. на территории аэропорта Гумрак для различных моделей.

данными NCEP/NCAR, чем с GHCN+CAMS, особенно в тёплый период (май — сентябрь). Однако, на интервале ноябрь — апрель РКМ оказывается ближе к GHCN+CAMS.



**Рисунок 3.** Распределения разности среднемесячных температур для области  $D$ :  
а)  $\Delta T_{AB} = \langle T_A^{(VI)} \rangle - \langle T_B^{(VI)} \rangle$ , б)  $\Delta T_{AC} = \langle T_A^{(VI)} \rangle - \langle T_C^{(VI)} \rangle$ .

С увеличением числа  $\sigma$ -слоёв решения приближаются к данным реанализа. Но начиная с  $N_\sigma \gtrsim 18$  эта зависимость становится слабой и можно ограничиться выбором  $N_\sigma = 21$ . Рассмотрим влияние выбора расчетной области в РКМ на результаты моделирования

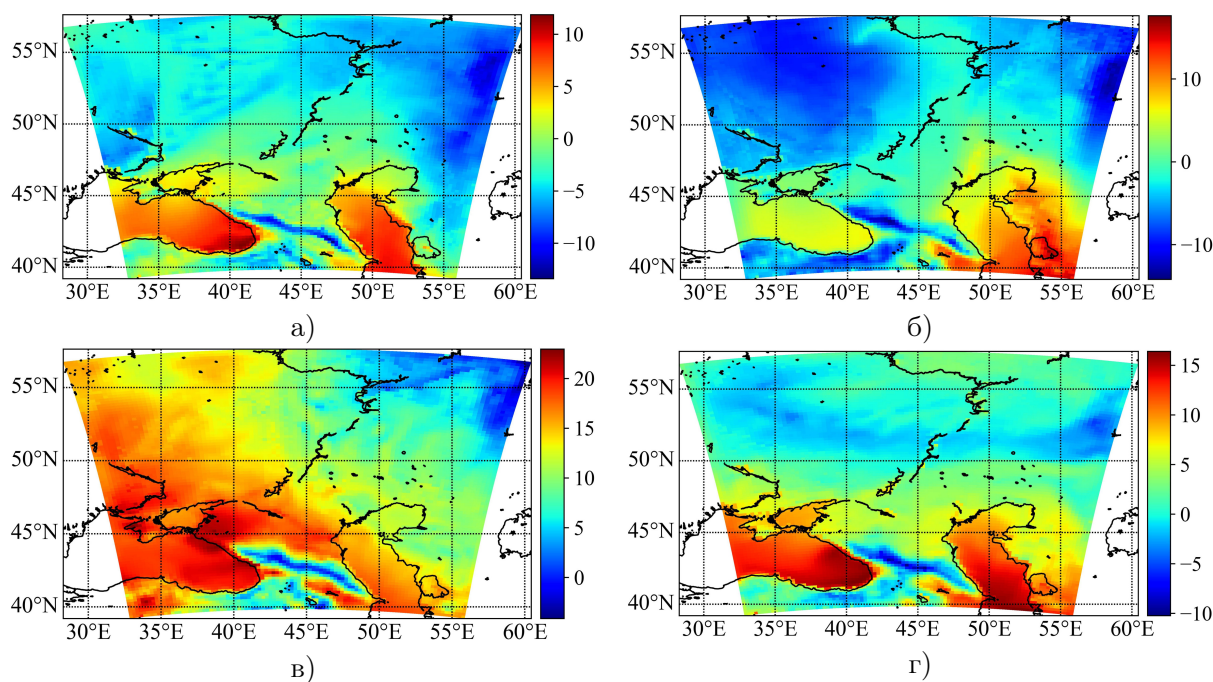
температуры в приземном слое атмосферы. Сравнение для моделей с областями  $A$ ,  $B$  и  $C$  проводим для одной и той же зоны  $D$ , которая находится внутри самой маленькой области  $C$ , чтобы уменьшить влияние границ, где происходит пересчет параметров глобальной климатической модели на РКМ. На примере графиков на рисунке 2 видим, что для этой географической точки изменения температуры для разных моделей ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) могут достигать нескольких градусов в отдельные месяцы. Рисунок 3 демонстрирует влияние выбора расчетной области для всей зоны  $D$ . Как видим, для июня везде модель  $A$  дает более низкую температуру по сравнению с моделями  $B$  и  $C$ . Разности температур сильно неоднородны на малых масштабах, локально достигая  $3^\circ\text{C}$ .

На рисунке 4 показаны распределения температуры для 4-х различных дней. Хорошо виден утепляющий эффект от крупных водоемов (Черное и Каспийское моря). Можно выделить аналогичное влияние от Цымлянского водохранилища, предельная ширина которого близка к 20 км и разрешается на пределе точности.

### 3. Заключение

Моделирования показывают зависимость результатов от числа вертикальных слоев при  $N_\sigma \lesssim 20$ . В среднем данные NCEP/NCAR лучше согласуются с выводами РКМ, чем данные GHCN+CAMS. Это преимущество максимально для летнего периода Нижнего Поволжья, однако, для холодного периода лучше использовать GHCN+CAMS.

Для территории Нижнего Поволжья при уменьшении расчетной области, как правило, имеем завышенные распределения температуры. Для учета мелкомасштабных особенностей, связанных с влиянием крупных водохранилищ (Волгоградское, Цымлянское, Саратовское) и Волго-Ахтубинской поймы, необходимо вводить дополнительную подсеточную параметризацию, либо отказаться от приближения гидростатического равновесия, переходя к размеру ячеек 1–5 км.



**Рисунок 4.** Распределения температуры  $T$  в модели с расчетной областью  $B$  (см. рисунок 1) в различные моменты времени: а) 15.02.2000, б) 23.02.2000, в) 03.10.2000, г) 19.10.2000.



#### 4. Литература

- [1] Xue, Y. A review intraseasonal to seasonal simulation/prediction and major factors that affect downscaling ability / Y. Xue, Z. Janjic, J. Dudhia, R. Vasic, F. De Sales // *Atmospheric Research*. - 2014. - Vol. 147-148. - P. 68-85.
- [2] Sen, B. Validation of daily precipitation estimates of the regional climate model RegCM4 over the domains in Turkey with NWP verification techniques / B. Sen, R. Kilinc, B. Sen, E. Sonuc // *Fresenius Environmental Bulletin*. - 2014. - Vol. 23. - P. 1892-1903.
- [3] Анисимов, А.Е. Реанализ атмосферной циркуляции для Черноморско-Каспийского региона / А.Е. Анисимов, Д.А. Яровая, В.С. Барабанов // *Морской гидрофизический журнал*. - 2015. - № 4. - С. 14-28.
- [4] Лагутин, А.А. Моделирование климата Западной Сибири: результаты модели RegCM4 / А.А. Лагутин, Н.В. Волков, Е.Ю. Мордвин, А.Н. Резников // *Известия Алтайского государственного университета*. - 2012. - С. 182-190.
- [5] Meng, C. Modeling of a severe winter drought in eastern China using different initial and lateral boundary forcing datasets / C. Meng, Y. Ma, W. Ma, Y. Xu // *Theoretical and Applied Climatology*. - 2018. - P. 763-773.
- [6] Lyra, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non- hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution / A. Lyra, P. Tavares, S.C. Chou, G. Sueiro, C. Dereczynski, M. Sondermann, A. Silva // *Theoretical and Applied Climatology*. - 2018. - Vol. 132. - P. 663-682.
- [7] Niwano, M. NHM-SMAP: spatially and temporally high-resolution nonhydrostatic atmospheric model coupled with detailed snow process model for Greenland Ice Sheet / M. Niwano, T. Aoki, A. Hashimoto, S. Matoba,
- [8] Yamaguchi, S. NHM-SMAP: spatially and temporally high-resolution nonhydrostatic atmospheric model coupled with detailed snow process model for Greenland Ice Sheet / S. Yamaguchi, T. Tanikawa, K. Fujita, A. Tsushima, Y. Iizuka, R. Shimada, M. Hori // *Cryosphere*. - 2018. - Vol. 12. - P. 635-655.
- [9] Khoperskov, A.V. Regional Climate Model for the Lower Volga: Parallelization Efficiency Estimation / A.V. Khoperskov, A.V. Titov // *Supercomputing Frontiers and Innovations*, 2018 (in print).
- [10] Fan, Y. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present / Y. Fan, H. van den Dool // *J. Geophys. Res.*, 2008.
- [11] Kalnay, E. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project / E. Kalnay, M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996. - P. 437-432.

#### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волг градской области в рамках научных проектов № 18-47-340003 p\_a, № 18-41-342001 p\_мк.

# Verification of the Regional climate model RegCM v4.5 for the Lower Volga

A.V. Titov<sup>1</sup>, A.V. Khoperskov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Volgograd State University, University Prospect 100, Volgograd, Russia, 4000062

**Abstract.** The verification results of the regional climate model (RCM) RegCM 4.5 for Lower Volga area using NCEP / NCAR and GHCN + CAMS reanalysis are presented. The choice problems of the computational domain, the numerical grid parameters and the influence of these factors on the climate forecast are discussed in detail. We have made a new module for divide territory into zones for the base RegCM code, which improves the simulations quality. We have completed over 100 simulations to study the sensitivity of our climate modeling results from topography, surface roughness, soil and vegetation properties. The role of the largest reservoirs on the climate in the numerical model is investigated.