

УДК 551.581.1

ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЕ КЛИМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКОЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА

© 2020 г. А. В. Гавриков¹, *, С. К. Гулев¹, **

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail: gavr@sail.msk.ru

**e-mail: gul@sail.msk.ru

Поступила в редакцию 29.06.2020 г.

После доработки 13.07.2020 г.

Принята к публикации 15.08.2020 г.

Представлен высокоразрешающий исторический анализ атмосферы над Северной Атлантикой за период с января 1979 по декабрь 2018 г. Данные получены при помощи сквозного моделирования негидростатической моделью WRF-ARW версии 3.8.1 на сетке с высоким (14 км) и низким (77 км) горизонтальным разрешением; оба эксперимента имеют 50 вертикальных сигма-уровней (от ~12 м над поверхностью моря, до высоты 50 гПа). Начальными и граничными условиями, а также условиями для процедуры спектрального приспособления служили данные атмосферного реанализа ERA-Interim. Предварительный анализ обоих экспериментов NAAD показал хорошее согласие с данными наблюдений и с основными атмосферными реанализами ERA-Interim, ERA5, ASRv2. Выходная продукция обоих экспериментов получила название NAAD (North Atlantic Atmospheric Downscaling). Данные находятся в открытом доступе по адресу <http://www.naad.ocean.ru> и предоставляют разнообразную информацию как на поверхности, так и в толще атмосферы с интервалом 3 ч.

Ключевые слова: региональное климатическое моделирование, высокоразрешающая климатология, атмосферная модель WRF

DOI: 10.31857/S0030157420060052

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение качества воспроизведения атмосферных и океанских полей в численных моделях при увеличении пространственного разрешения происходит главным образом за счет разрешения субсиноптических и мезомасштабных процессов, а также благодаря учету более достоверной информации о подстилающей поверхности. Увеличение пространственного разрешения позволяет учесть вклад мезомасштабной динамики в приводном слое [5] и более достоверно моделировать облачный покров и радиационный баланс поверхности.

Современные реанализы, такие как ERA-Interim, JRA-55, MERRA-2 и ERA5, далеко не всегда способны достоверно воспроизвести мезомасштабную динамику в силу относительно грубого разрешения и использования гидростатической аппроксимации. Для понимания того, как субсиноптические и мезомасштабные процессы влияют на климат, Институтом океанологии РАН был выполнен долговременный численный эксперимент для атмосферы над Северной Атлантикой,

что позволило получить долговременный высокоразрешающий ретроспективный архив данных – NAAD (North Atlantic Atmospheric Downscaling) за период 1979 по 2018 гг.

КОНФИГУРАЦИЯ МОДЕЛИ

База данных NAAD получена при помощи негидростатической модели атмосферы WRF [7] версии 3.8.1. Вычислительная область (рис. 1а) покрывает Северную Атлантику от 10° до 80° с.ш. и от –90° з.д. до 5 в.д. с центром на 45° с.ш. и –45° з.д. Начальными и граничными условиями для эксперимента служили данные атмосферного реанализа ERA-Interim, включая данные о температуре поверхности океана. Пространственное разрешение основного эксперимента составило 14 км (NAAD HiRes), вертикальное – 50 сухогидростатических уровней. Вертикальные уровни распределены неравномерно (со сгущением к поверхности) и конфигурировались таким образом, чтобы нижний уровень находился на высоте около 12 м над поверхностью океана, верхний – на высоте 50 гПа (примерно 20 км), при этом око-

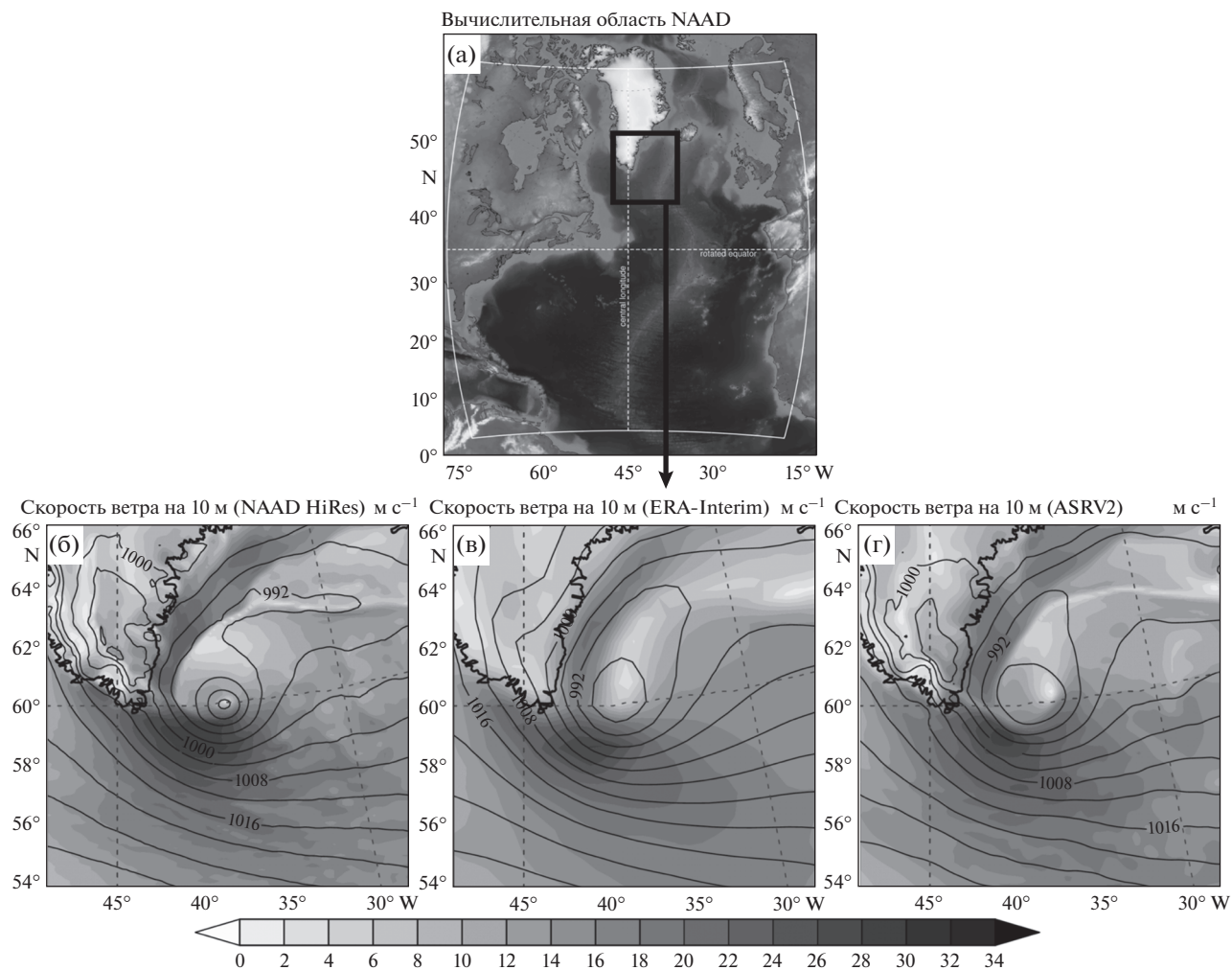


Рис. 1. Вычислительная область NAAD (а). Диагностика полярного мезоциклона 2 марта 2008 г.: цветом показана скорость ветра на 10 м; контуры: приведенное приземное давление (гПа) по данным NAAD HiRes (б), ERA-Interim (в) и ASRV2 (г).

ло 15 уровней находилось внутри планетарного пограничного слоя (ППС) атмосферы. Помимо основного (высокоразрешающего) эксперимента был проведен эксперимент в относительно низком разрешении (NAAD LoRes, 77 км), который имел схожую конфигурацию с HiRes. Это было сделано для оценки роли высокого разрешения в описании мезомасштабной динамики. Для создания оптимальной конфигурации модели было проведено 32 эксперимента на чувствительность модели к различным параметризациям. Итоговая конфигурация оказалась очень похожей на конфигурацию арктического реанализа ASRV2 [1], где использовалась аналогичная модель. Более полно конфигурация экспериментов NAAD представлена в [2].

Для минимизации дрейфа модели в экспериментах NAAD во всей области выше слоя ППС использовалась технология “спектрального приспособления” [4]. Конфигурация алгоритма при-

способления задавалась согласно работе [6], в которой оптимальной минимальной длиной волны для сохранения синоптической моды без видимого ущерба мезомасштабным процессам считается значение 1100 км. Чтобы определить коэффициент приспособления (обратное время релаксации к фоновому значению), было проведено 18 экспериментов со значениями от 3×10^{-5} до $3 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Эксперименты показали, что оптимальным значением коэффициента является $3 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ (время релаксации около 1 ч). Это согласуется с региональными климатическими экспериментами других исследователей.

ОПИСАНИЕ МАССИВА NAAD, ВАЛИДАЦИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Массив данных, находящийся в свободном доступе (naad.ocean.ru), включает все основные параметры приводного слоя атмосферы, а также ха-

рактеристики свободной атмосферы на 50 уровнях. База данных NAAD содержит множество прогностических и диагностических переменных как на поверхности, так и в толще атмосферы на сетке с пространственным разрешением 14 и 77 км за период с января 1979 г. по декабрь 2018 г. с шагом по времени 3 ч. Грубое разрешение приводится для более достоверной оценки вклада разрешения в атмосферные климатические процессы. Весь массив занимает около 150 ТБ дискового пространства. Данные предоставляются в формате NetCDF отдельно по каждой переменной. Переменные поверхности предоставляются в годовых файлах размером около 136 МБ (NAAD LoRes) и 3.3 ГБ (NAAD HiRes); переменные в слое атмосферы предоставляются в суточных файлах размером около 19 МБ (NAAD LoRes) и 455 МБ (NAAD HiRes). Доступ к данным осуществляется по адресу <http://www.naad.ocean.ru> при помощи протокола OPeNDAP (Open Network Data Access Protocol).

С точки зрения задач океанского моделирования массив данных NAAD позволяет получать высокоразрешающие граничные условия для численных экспериментов с моделями циркуляции и динамики ветровых волн в Северной Атлантике. Одновременно с созданием NAAD были выполнены пилотные эксперименты, показавшие существенное улучшение воспроизведения динамики океана в субполярной Атлантике [2]. В частности, было получено более достоверное воспроизведение теплосодержания океана в субполярной Северной Атлантике и более адекватное воспроизведение экстремальных характеристик волнения. С точки зрения процессов взаимодействия океана и атмосферы, данные NAAD позволяют исследовать механизмы, связанные с влиянием циклонической активности на формирование потоков энергии океан–атмосфера, включая экстремальные потоки [8], [3].

Наконец, высокоразрешающие данные NAAD позволяют детально анализировать динамику мезомасштабных процессов в атмосфере Серверной Атлантики. В качестве примера такого анализа на рисунке 1 показан интенсивный полярный мезоциклон 2 марта 2008 года по данным NAAD HiRes (б) и реанализов ERA-Interim (в) и ASRv2 (г). Хорошо видно, что в поле приземного ветра мезоциклон по данным NAAD воспроизводится гораздо более детально, чем в реанализе грубого разрешения ERA-Interim и согласуется (хотя показывает немного более высокие значения) с ASRv2, поскольку они имеют схожее разрешение. Давление в центре циклона по данным NAAD HiRes составляет 978 гПа, что ниже, чем в ERA-Interim (988 гПа), ASRv2 (986 гПа) и даже чем в новейшем ERA5. Это связано с тем, что реанали-

зы в значительной степени полагаются на систему усвоения данных наблюдений, в этом регионе такими данными являются исключительно спутниковые измерения. В условиях высокой скорости ветра достоверность дистанционных измерений существенно снижается. Это приводит к недооценке скорости ветра и, как следствие, завышению давления.

ПЕРСПЕКТИВЫ

Используемая для получения архива NAAD технология потенциально может быть применена для создания подобных баз данных в другой пространственной конфигурации, в том числе и для территории России. Дальнейшее развитие проекта будет направлено на поддержание и обновление архива NAAD, а также на создание версии, в которой в качестве граничных условий используется наиболее высокоразрешающий реанализ ERA5. Также будут активно развиваться океанологические приложения: высокоразрешающее моделирование океана и волновых процессов. Интересным направлением развития является построение региональных объединенных моделей океана, атмосферы и суши (над территорией Европы), основанной на конфигурации NAAD.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ № 05.604.21.0210, идентификационный номер RFMEFI60419X0210.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bromwich D.H. et al.* The arctic system reanalysis, version 2 // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2018. V. 4 (99). P. 805–828.
2. *Gavrikov A. et al.* RAS-NAAD: 40-yr High-Resolution North Atlantic Atmospheric Hindcast for Multipurpose Applications (New Dataset for the Regional Mesoscale Studies in the Atmosphere and the Ocean) // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2020. V. 5 (59). P. 793–817.
3. *Gulev S., Belyaev K.* Probability Distribution Characteristics for Surface Air–Sea Turbulent Heat Fluxes over the Global Ocean // *Journal of Climate*. 2012. V. 1 (25). P. 184–206.
4. *Jeuken A.B.M. et al.* On the potential of assimilating meteorological analyses in a global climate model for the purpose of model validation // *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 1996. V. D12 (101). P. 16939–16950.
5. *Kim W.M. et al.* Atmospheric Conditions Associated with Labrador Sea Deep Convection: New Insights from a Case Study of the 2006/07 and 2007/08 Winters // *Journal of Climate*. 2016. V. 14 (29). P. 5281–5297.
6. *Markina M. et al.* Developing configuration of WRF model for long-term high-resolution wind wave hindcast over the North Atlantic with WAVEWATCH III // *Ocean Dynamics*. 2018. V. 11 (68). P. 1593–1604.

7. *Skamarock W.C. et al.* A description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note / W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, Boulder, Colorado: NCAR, 2008. 125 p.
8. *Tilinina N., Gavrikov A., Gulev S.K.* Association of the North Atlantic surface turbulent heat fluxes with mid-latitude cyclones // *Monthly Weather Review*. 2018. V. 11 (146). P. 3691–3715.

The North Atlantic High-Resolution Regional Climate Model Experiment for Ocean and Atmospheric Applications

A. V. Gavrikov^{a, #}, S. K. Gulev^{a, ##}

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: gavr@sail.msk.ru*

^{##}*e-mail: gul@sail.msk.ru*

We present a high-resolution historical analysis of the atmosphere over the North Atlantic for the period from January 1979 to December 2018. The dataset was obtained using the non-hydrostatic atmospheric model WRF-ARW version 3.8.1 and contains two experiments that differ in spatial resolution: 14 km (HiRes) and 77 km (LoRes). Except for the spatial resolution, the configuration remained identical in both experiments: 50 vertical sigma-levels (starting from ~12 m up to 50 hPa); ERA-Interim reanalysis was used as forcing and spectral nudging. The dataset for HiRes and LoRes experiments was named NAAD (North Atlantic Atmospheric Downscaling). Preliminary results of both HiRes and LoRes reveal good agreement with observations and reanalyzes ERA-Interim, ERA5 and ASRv2. The NAAD dataset is available online at <http://www.naad.ocean.ru> and provides a variety of surface and upper-troposphere atmospheric variables with a time step of 3 hours.

Keywords: Regional Climate Modelling, High Resolution, North Atlantic, WRF, NAAD