

МОРСКИЕ ВОЛНЫ ТЕПЛА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В 2019-2020 ГОДАХ***Марина Владимировна Крайнева***

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, младший научный сотрудник, тел. (383)330-64-50, e-mail: krayneva.marina@sscc.ru

Елена Николаевна Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)330-64-50, e-mail: elen@ommfao.sccc.ru

Морские волны тепла – экстремальные явления, представляющие собой значительное превышение среднеклиматических значений температур. В данном исследовании анализируются морские волны тепла в регионе моря Лаптевых, рассчитанные как по данным наблюдений, так и по данным численного моделирования. Для исследования изменчивости гидрологических характеристик Северного Ледовитого океана и его шельфовых морей используется региональная численная модель SibCIOM (Siberian Coupled Ice-Ocean Model). Данные наблюдений показывают увеличение частоты и интенсивности морских волн тепла в последние годы в данном регионе. На основе численных экспериментов в работе продемонстрировано интенсивное потепление в придонном слое, как следствие повышения поверхностной температуры акватории моря Лаптевых в последние годы. В работе анализируются возможные причины и последствия повышения поверхностной температуры акватории моря Лаптевых.

Ключевые слова: морские волны тепла, численное моделирование, море Лаптевых

MARINE HEATWAVES IN THE LAPTEV SEA IN 2019-2020***Marina V. Kraineva***

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Junior Researcher, phone: (383)330-64-50, e-mail: krayneva.marina@sscc.ru

Elena N. Golubeva

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Leading Researcher, phone: (383)330-64-50, e-mail: elen@ommfao.sccc.ru

Marine heat waves are extreme events that represent a significant excess of average climatic temperatures. In this study marine heat waves calculated both from observational data and from numerical modeling data in the Laptev Sea region are analyzed. The regional numerical model SibCIOM (Siberian Coupled Ice-Ocean Model) is used to study the variability of the hydrological characteristics of the Arctic Ocean and its shelf seas. Observational data shows an increase in the frequency and intensity of the marine heat waves in recent years in this region. On the basis of numerical experiments, the work demonstrates intense warming in the bottom layer, as a consequence of the increase in the sea surface temperature of the Laptev Sea in recent years. The paper analyzes the possible causes and consequences of an increase in the sea surface temperature of the Laptev Sea.

Keywords: marine heatwaves, numerical simulation, Laptev sea

Введение

В последние годы все чаще отмечаются аномальные явления, связанные с повышением температуры атмосферы в полярных районах северного полушария. Согласно работе [1] значение осредненной по пространству аномалии среднегодовой температуры воздуха Северной полярной области (СПО) в 2019 году составило 2,8 °С, и этот год стал вторым теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70-85 °с.ш. оказалась равной 3,4 °С, а в зоне 60-70 ° с.ш. - 2,4 °С. Эти значения стали также вторыми самыми высокими за историю наблюдений. Одни из самых крупных аномалий температуры воздуха наблюдались на территории восточно-сибирского района (район моря Лаптевых). Значения осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха здесь составили 3,6 °С. Это соответствует первому значению по рангу теплых лет за период с 1936 г. Еще более аномальным для арктических морей стал 2020 год, море Лаптевых оставалось полностью свободным ото льда вплоть до второй половины октября, впервые за историю наблюдений [2]. Согласно данным Copernicus Climate Change Service (C3S) аномалия приземной температуры воздуха за 12 месяцев (с октября 2019 по сентябрь 2020 года) для региона моря Лаптевых составляет 5-7 °С. В данной работе мы представляем анализ данных наблюдений и результаты численного моделирования, демонстрирующие морские волны тепла в море Лаптевых в 2019-2020 гг.

Анализ данных наблюдений

В последние годы большое внимание уделяется волнам тепла, как в атмосфере, так и в океане. Качественно морские волны тепла — это дискретное длительное событие с аномально высокими значениями температуры воды в определенной точке пространства Мирового океана. За последние десятилетия отмечается стабильное потепление глобального климата, что ведет к увеличению частоты и продолжительности морских волн тепла [3]. В ходе работы были проанализированы данные наблюдений поверхностной температуры NOAA [4]. Был применен метод идентификации морских волн тепла, представленный в работе [5]. Метод основан на выделении положительных аномалий температуры акватории, существующих от 5 дней и дольше, над климатическим ежедневным распределением и пороговым значением. Климатическое ежедневное распределение вычисляется на основе выбранного базового периода (в настоящем исследовании выбранного с 1982г по 2010 г.). Пороговое значение представляется в виде ежедневного распределения температуры океана, определяемое как 90 перцентиль на основе базового периода. Анализ полученных волн тепла показывает длительные аномалии (2-3 месяца) на протяжении 2019-2020 гг. на территории моря Лаптевых. Основная часть моря Лаптевых изолирована от траектории прохождения атлантических и тихоокеанских вод, которые считаются ос-

новными источниками тепла для Северного Ледовитого океана. Единственными источниками тепла для шельфовых вод моря Лаптевых являются солнце и речная вода. Тем не менее волны тепла существуют даже в зимний период. Территориально волны тепла так же отслеживаются по всей акватории, не только в шельфовой зоне, но и в глубоководной части моря. Начиная с конца июля 2020 года волна тепла в точке с координатами 120,125° в.д. и 78,875° с.ш, с превышением пороговых значений в среднем на 3,5 °С отмечена на протяжении почти четырех месяцев (рис. 1).

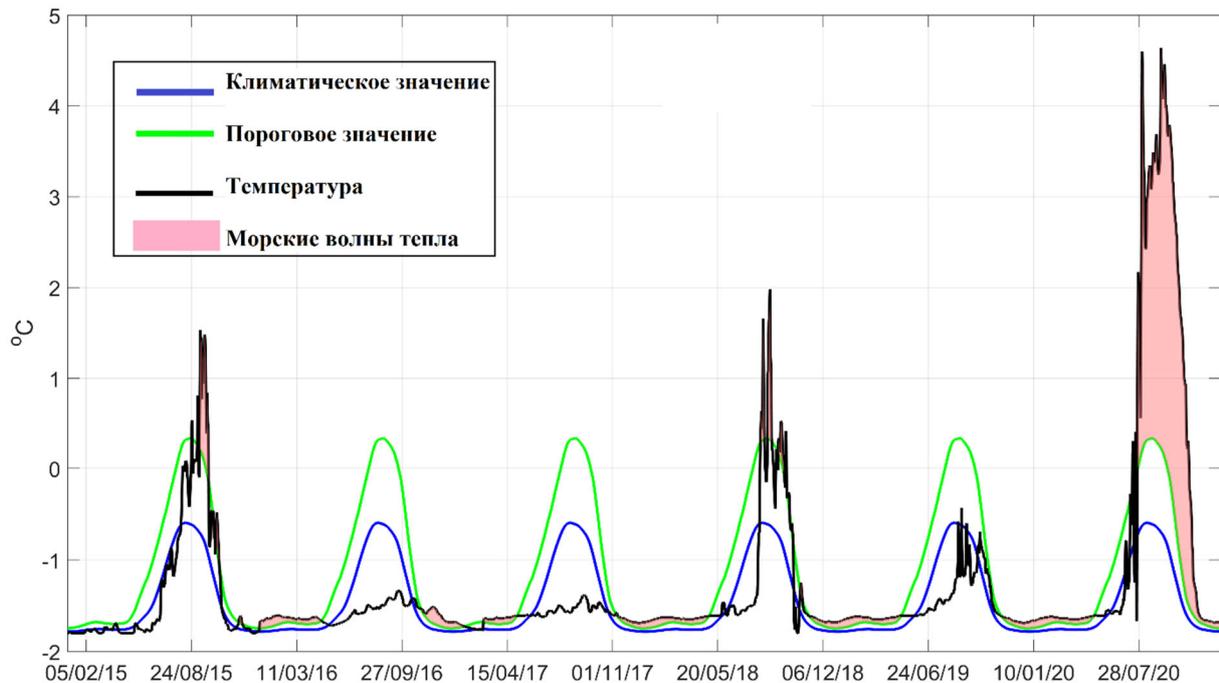


Рис. 1. Морские волны тепла, полученные по данным наблюдений, в точке с координатами 120,125° в.д. и 78,875° с.ш. в период 2015-2020 гг.

Численная модель

Для исследования изменчивости гидрологических характеристик Северного Ледовитого океана и его шельфовых морей используется региональная численная модель SibCIOM (Siberian Coupled Ice-Ocean Model), которая состоит из крупномасштабной модели океана ИВМиМГ СО РАН [6, 7] и ледовой модели SICE3 [8]. В качестве атмосферного форсинга используются данные реанализа NCEP/NCAR [9].

Результаты моделирования

Анализ результатов численного моделирования показал, что с начала 2000 г. в регионе отмечается повышение температуры вод в летний период. Лет-

нее распределение 2020 года характеризовалось наиболее высокой температурой за весь период моделирования с 1948 г. Впервые среднемесячная температура поверхности моря за октябрь севернее Новосибирских островов была положительной - около 1.5°C (рис. 2). Численная модель показывает раннее исчезновение и позднее формирование ледового покрова. По результатам численного моделирования наибольшие аномалии температуры в 2020 г. сформировались на внешнем шельфе.

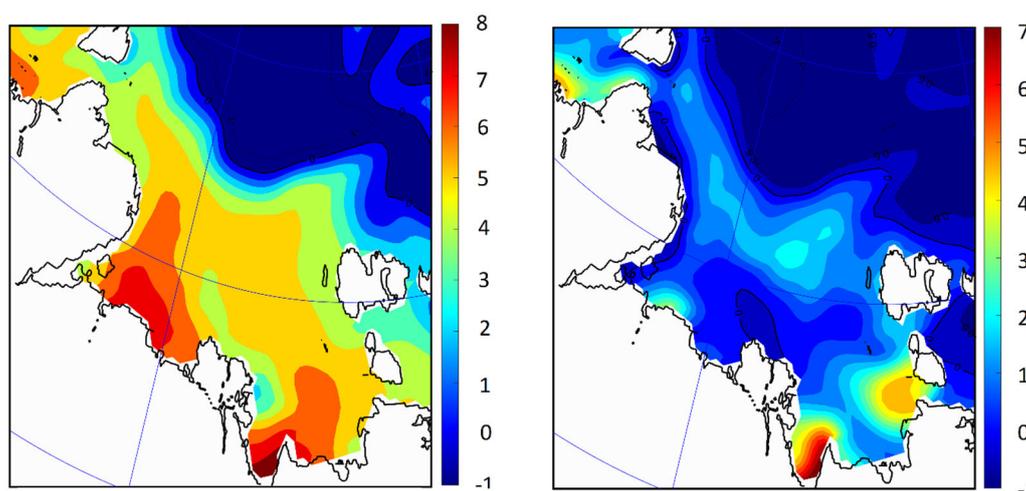


Рис. 2. Поверхностная и придонная температура в море Лаптевых ($^{\circ}\text{C}$) в сентябре 2020, полученная по результатам численного моделирования

В летний безледный период циркуляция в морях СЛО в основном определяется динамическим состоянием атмосферы. В работе [10] представлены особенности формирования переноса водных масс в акватории моря Лаптевых под влиянием циклонической и антициклонической атмосферной циркуляции. Анализ данных приземного атмосферного давления показывает, что летом 2019 и 2020 сформировался интенсивный перенос воздушных масс с материка в северном направлении, это способствовало не только переносу теплых воздушных масс с материка и прогреванию воздуха над акваторией, но и установлению «офшорного» течения – активного выноса водных масс от шельфовой зоны моря Лаптевых в сторону глубоководной его части (рис. 3).

Расчет морских волн тепла был так же произведен на основе среднемесячных данных, полученных по результатам численного моделирования. Модельные поля температуры отражают существование волн тепла в течении всего летнего периода в 2019 и 2020 годах. В 2019 году максимальное превышение пороговых значений в июле и августе составляет по $4-5^{\circ}\text{C}$ (рис. 4). В сентябре 2020 года наблюдается превышение пороговых значений на 6°C (рис. 4). Территориально морские волны тепла отмечаются вплоть до 76 параллели в 2019 году и за 80 параллелью в 2020 году.

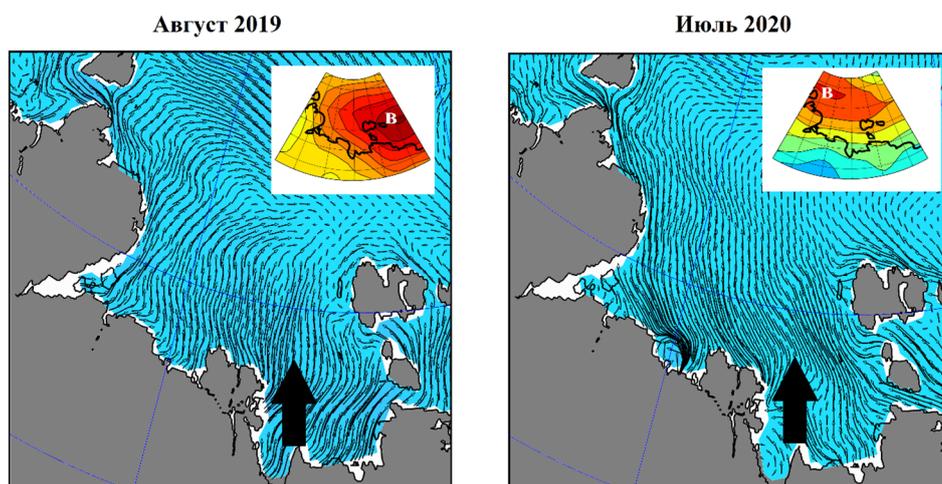


Рис. 3. Среднемесячное поле скорости на поверхности моря Лаптевых, полученное по результатам численного моделирования. Среднемесячное атмосферное давление (мбар) на уровне моря для августа 2019 и июля 2020

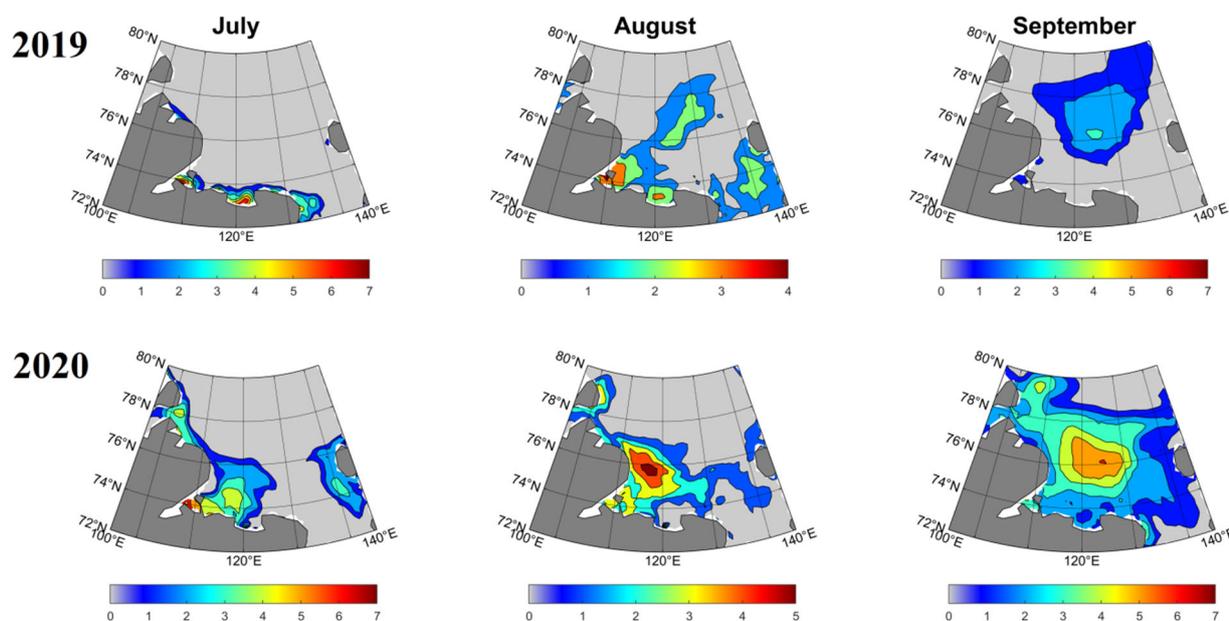


Рис. 4. Морские волны тепла ($^{\circ}\text{C}$) в море Лаптевых, рассчитанные по результатам численного моделирования за 2019-2020 гг.

Анализ входных атмосферных данных для численного моделирования показывает увеличение приземной температуры воздуха в летние месяцы. С начала 2000х годов среднемесячная температура атмосферы для августа повышается от нулевых температур до положительных, для сентября – от отрицательных до нулевых и положительных. Эта тенденция отражается и в росте поверхностной температуры моря (рис. 5). Интенсивное нагревание поверхностных вод на мелководном шельфе моря Лаптевых приводит к формированию теплых донных вод.

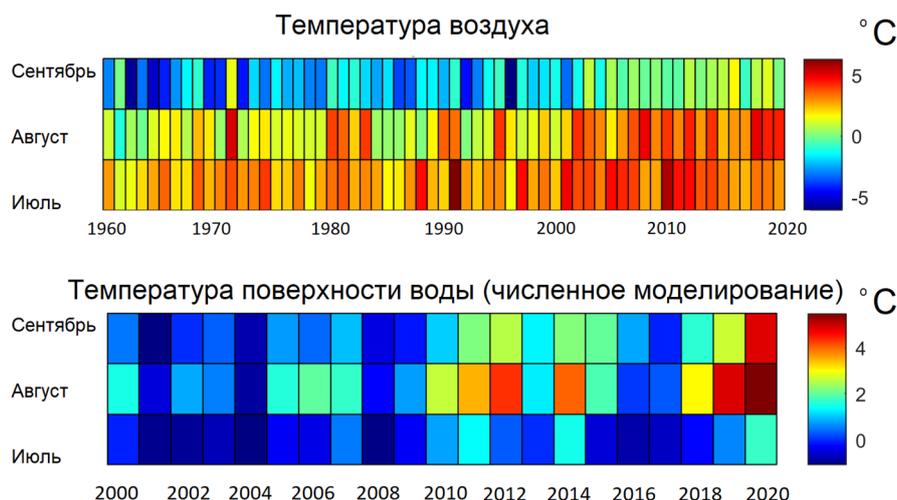


Рис. 5. Осредненные по бассейну моря Лаптевых среднемесячные температура воздуха по данным реанализа и температура поверхности воды по результатам численного моделирования

В одном из предыдущих исследований мы рассмотрели вопрос о возможности существования длительно сохраняющихся аномалий тепла в придонном слое моря в зимний период [11]. По результатам численного эксперимента сложившаяся летом 2019 года циркуляция моря Лаптевых способствовала интенсивному перемешиванию и поступлению поверхностного тепла в более глубокие слои. Сформировавшаяся область положительной температуры в придонном слое моря существовала вплоть до марта 2020 г. (рис. 6).

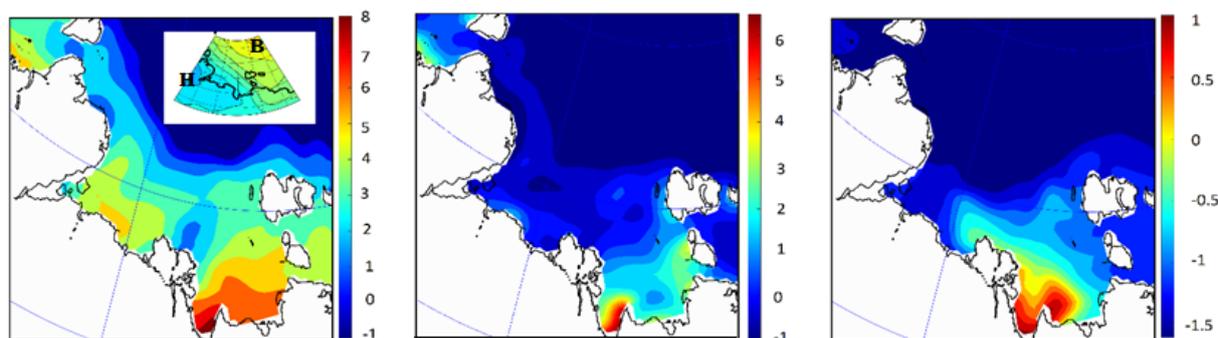


Рис. 6. Температура воды (°С), полученная по результатам численного моделирования:
а) сентябрь 2019, поверхность; б) сентябрь 2019, 20 м; в) март 2020, 20 м

Заключение

В настоящей работе на основе анализа данных наблюдений и результатов численного моделирования демонстрируется повышение температуры поверх-

ностного слоя моря Лаптевых. Экстремальные значения температуры воды позволяют характеризовать этот процесс как существование морских волн тепла. Полученные результаты демонстрируют увеличение частоты и интенсивности этого явления в регионе моря Лаптевых в последние годы. Анализ данных численного моделирования показывает интенсивный прогрев 20 метрового слоя и существование аномалии положительной температуры с максимумом в 1 °С в придонном слое в течение всего зимнего периода 2019-2020 гг. Увеличение температуры поверхности моря Лаптевых может влиять на условия существования живых организмов, ледообразование и, при интенсивном прогреве всей толщи, на таяние подводной вечной мерзлоты и высвобождение залегающих в ней газогидратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-11-20112).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обзор гидрометеорологических процессов в Северной полярной области 2019 // СПб.: ААНИИ, – 2020. – 94с.
2. Maslanik, J. and J. Stroeve. *Near-Real-Time DMSP SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations, Version 1*, // Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center – 1999. <https://nsidc.org/data/NSIDC-0081/versions/1> (дата обращения: 27.04.2021).
3. Hu, S., Zhang, L., & Qian, S. Marine heatwaves in the Arctic region: Variation in different ice covers // *Geophysical Research Letters* – 2020. – 47 – e2020GL089329.
4. Reynolds, Richard W., Thomas M. Smith, Chunying Liu, Dudley B. Chelton, Kenneth S. Casey, Michael G. Schlax. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature // *J. Climate* – 2007. – 20. – p.5473 - 5496.
5. A.J. Hobday et al. A hierarchical approach to defining marine heatwaves // *Progress in Oceanography* – 2016. – 141. – p.227 - 238.
6. Golubeva E. N., Platov G. A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.* – 2007. – V.112. – C04S05. doi:10.1029/2006JC003734.
7. Голубева Е. Н. Численное моделирование динамики Атлантических вод в Арктическом бассейне с использованием схемы QUICKEST // *Выч. технол.* – 2008. – № 5. – с. 11-24.
8. Hunke E. C., Dukowicz J. K. An elastic-viscous-plastic model for ice dynamics // *J. Phys. Oceanography*. – 1997. – V. 27. – P. 1849–1867. doi:10.1016/j.ocemod.2009.01.004.
9. Kalnay, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 1996. – V. 77. – P. 437-470. <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (дата обращения: 17.06.2020).
10. Golubeva E., Platov G., Malakhova V., Kraineva M., Iakshina D. Modelling the Long-Term and Inter-Annual Variability in the Laptev Sea Hydrography and Subsea Permafrost State // *Polarforschung, Bremerhaven, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research* – 2018. – Vol. 87, № 2. – P. 195–210.
11. Kraineva M., E. Golubeva E., G. Platov G. Simulation of the near-bottom water warming in the Laptev Sea in 2007–2008 // *Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. in Atmosph., etc.* – 2019. – 17. – p. 21–30.

© М. В. Крайнева, Е. Н. Голубева, 2021