

УДК 551.513

О влиянии колебания Маддена – Джулиана на циркуляцию атмосферы во внетропических широтах Северного полушария

Е.С. Нестеров

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
nesterov@mecom.ru*

Дается обзор исследований, посвященных колебанию Маддена – Джулиана (КМД) и его влиянию на циркуляцию атмосферы во внетропических широтах Северного полушария. Основным механизмом распространения в атмосфере сигнала КМД во внетропические широты являются волны Россби и возбуждаемые ими низкочастотные колебания атмосферной циркуляции. Показано, что через несколько недель после активизации КМД интенсифицируется североатлантическое колебание (САК), но при этом только около половины эпизодов усиления САК связаны с КМД. Зимние аномалии температуры воздуха в Северной Америке, Восточной Европе и Восточной Азии, связанные с КМД, учитывают примерно 30 % общей изменчивости зимних аномалий в этих районах.

Ключевые слова: колебание Маддена – Джулиана, волны Россби, внетропические широты, североатлантическое колебание

The Madden-Julian oscillation effect on atmospheric circulation in the Northern Hemisphere extratropical latitudes

E.S. Nesterov

*Hydrometeorological Research Center
of Russian Federation, Moscow, Russia
nesterov@mecom.ru*

A review of studies on the Madden-Julian oscillation (MJO) and its effect on the atmospheric circulation in the Northern Hemisphere extratropical latitudes is given. The main mechanism of the MJO signal propagation in the extratropical latitudes is Rossby waves and low-frequency oscillations of atmospheric circulation excited by them. It is shown that a few weeks after the activation of MJO, the North Atlantic Oscillation (NAO) intensifies but only about half of the NAO amplification episodes are associated with MJO. Winter air temperature anomalies in North America, Eastern Europe, and East Asia associated with MJO explain about 30% of the total variability of winter anomalies in these regions.

Keywords: Madden-Julian oscillation, Rossby waves, extratropical latitudes, North Atlantic Oscillation

Введение

Обычно в качестве источников предсказуемости состояния атмосферы во внетропических широтах на сезонном масштабе рассматривают «медленные» внешние воздействия (температура поверхности океана, характеристики морского льда и снежного покрова и т. д.). Одним из таких источников являются процессы в тропиках, в частности, явление Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) и колебание Маддена – Джулиана (КМД). Изучение глобального отклика на ЭНЮК позволило зарегистрировать вызванные им аномалии температуры воздуха и осадков, изменения траекторий циклонов в северной части Тихого океана и т. д.

Обнаружение сигнала ЭНЮК в средних и высоких широтах затруднено в связи с сильным влиянием внетропической атмосферной циркуляции на гидрометеорологические поля. Вместе с тем в некоторых работах было показано, что влияние ЭНЮК на циркуляцию атмосферы прослеживается до 60° с. ш. в течение 10–20 месяцев [2]. В качестве основных механизмов распространения в атмосфере сигнала ЭНЮК во внетропические широты рассматриваются волны Россби и возбуждаемые ими низкочастотные колебания атмосферной циркуляции, в том числе североатлантическое колебание (САК).

Помимо ЭНЮК, важной характеристикой атмосферной циркуляции в тропиках является колебание Маддена – Джулиана, которое является доминирующей модой изменчивости на субсезонном масштабе. КМД отличается от других атмосферных явлений в тропиках большим пространственным масштабом, характерным временным масштабом 30–60 суток и распространением на восток над Индийским и Тихим океаном со средней скоростью около 430 км/сут [1].

Исследования последних лет показали, что КМД оказывает влияние на погоду и климат за пределами тропической области. В связи с этим прогноз КМД стал частью оперативной продукции в крупных метеорологических центрах. Прогноз аномальных явлений погоды на субсезонном масштабе представляет интерес для многих пользователей. С целью повышения эффективности прогнозов на этом масштабе в рамках Всемирной программы исследования климата создан проект S2S (Sub-seasonal to Seasonal prediction project). Следует отметить, что в русскоязычной научной литературе явление КМД описывается редко [1–5], вместе с тем в [3] отмечается возможное влияние КМД на внутрисезонные колебания характеристик атмосферы в умеренных широтах Европы и Азии.

В данной статье дается обзор исследований по влиянию КМД на циркуляцию атмосферы во внетропических широтах Северного полушария, и в частности на САК.

Характеристики колебания Маддена – Джулиана

Колебание Маддена – Джулиана – это область атмосферной конвекции в тропических широтах Индийского и Тихого океанов, состоящая из чередующихся зон усиленной и подавленной конвекции. Для количественной характеристики КМД используется индекс, состоящий из двух

компонентов, представляющих первый и второй собственные векторы эмпирических ортогональных функций значений уходящей длинноволновой радиации и скорости ветра на 200 и 850 гПа, осредненных в полосе 15° с. ш. – 15° ю. ш. [10, 23]. Первый компонент характеризует корреляцию между конвективной активностью в Индийском океане и в западной части Тихого океана, второй – конвективную активность над Морским Континентом (см. далее). Эти две моды учитывают 27 % общей изменчивости конвекции.

Особое место в распространении КМД на восток занимает так называемый Морской Континент (Maritime Continent), под которым подразумевается обширный район между Индийским и Тихим океаном, включающим Индонезийский архипелаг, острова Борнео, Новая Гвинея, Филиппинские острова и окружающие моря. В этом районе происходит интенсивное взаимодействие океана и атмосферы с формированием больших потоков тепла и влаги, что существенно влияет на изменчивость конвекции.

В [7] показано, что характеристики КМД значительно меняются при прохождении над Морским Континентом (МК) в зависимости от сезона и от того, как КМД пересекает МК: к северу или к югу от экватора. Последнее связано с тем, что к югу от экватора суша занимает большую территорию, чем к северу, и там находятся более высокие горы. В [15] обсуждается вопрос, является ли МК барьером для распространения КМД на восток и подчеркивается необходимость дальнейшего развития моделей эволюции КМД в этом районе.

Ежедневную активность КМД принято делить на 8 фаз продолжительностью 7–8 дней, которые представляют типичную эволюцию колебания [8,15,21] (рис. 1). Эти фазы или классы можно интерпретировать как тропические аналоги внутритропических погодных режимов. Например, фазы 2 и 3 характеризуют усиленную конвекцию над Индийским океаном, фазы 4 и 5 – над Морским Континентом, фазы 6 и 7 – над западной частью Тихого океана, фазы 1 и 8 – над Африкой и Западным полушарием. Необходимо отметить, что активность КМД может испытывать значительную межгодовую изменчивость под влиянием таких крупномасштабных явлений как ЭНЮК [15].

Влияние КМД на циркуляцию атмосферы во внутритропических широтах

В публикациях рассматриваются два основных механизма распространения в атмосфере сигнала КМД во внутритропические широты. Первый – это волны Россби и возбуждаемые ими низкочастотные колебания атмосферной циркуляции, в том числе САК (рис. 2). Второй – косвенное влияние волн Россби на процессы в стратосфере; при этом изменяется сила полярного стратосферного вихря, что затем влияет на САК. В частности, такой механизм наблюдался при внезапных стратосферных потеплениях [14].

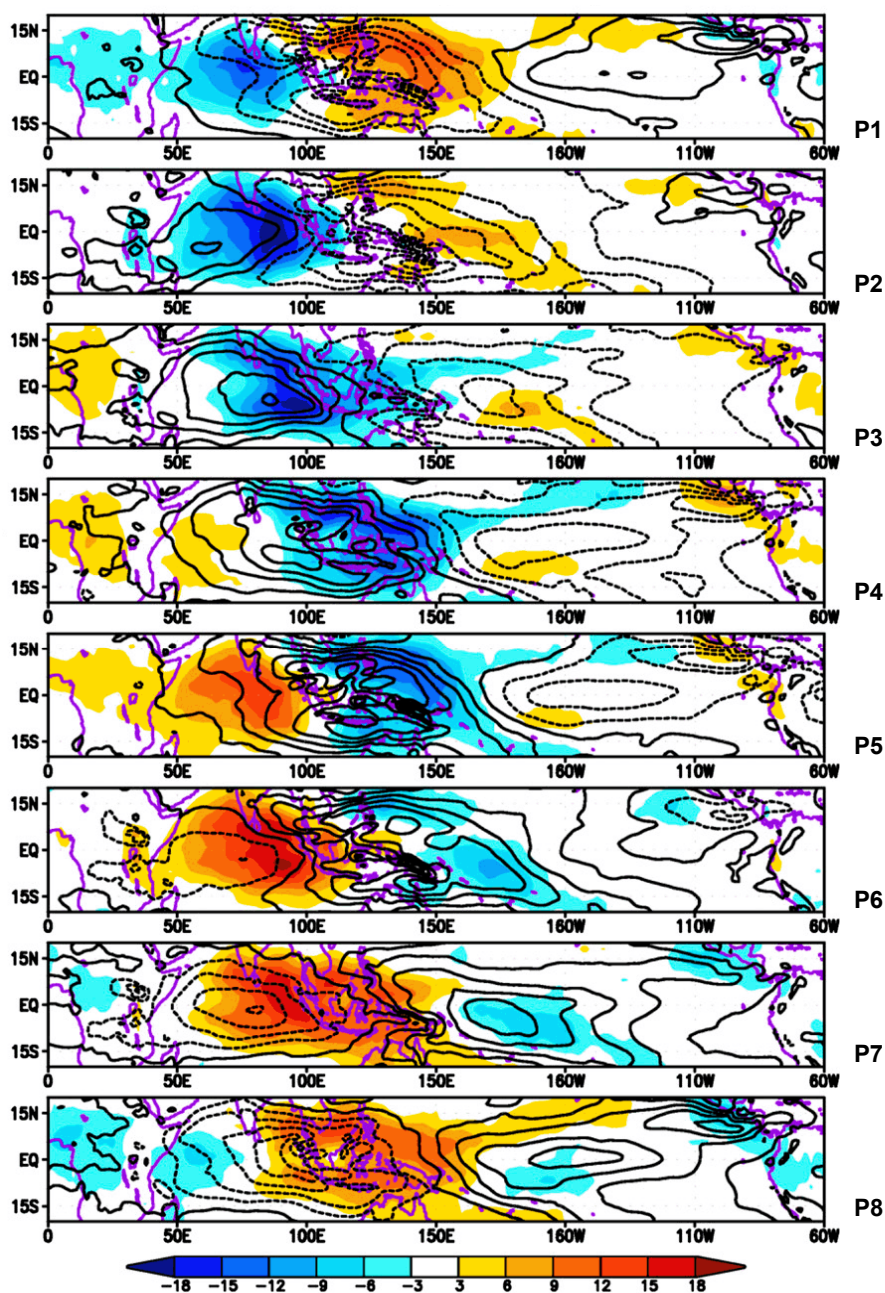


Рис. 1. Композиты жизненного цикла КМД: аномалии длинноволновой уходящей радиации (Wm^{-2} , заливка) и зонального компонента скорости ветра на 850 гПа (изолинии с интервалом 0,5 м/с), рассчитанные для каждой из 8 фаз КМД (P1-P8) за 1981-2013 гг. [15].

Fig. 1. MJO life cycle composite maps for outgoing longwave radiation (Wm^{-2} , shading) and 850-hPa zonal wind (contour interval is 0.5 ms^{-1}) anomalies calculated for each of the eight MJO phases (P1-P8) for all season from 1981 to 2013 [15].

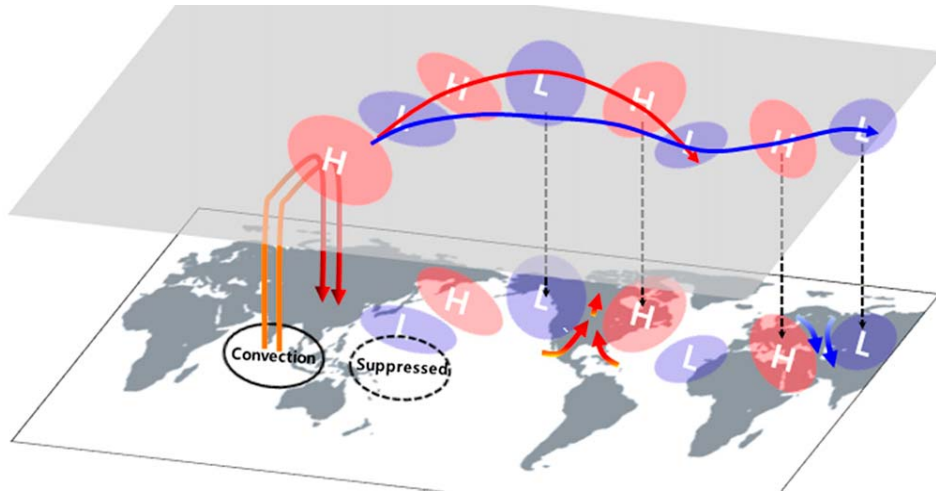


Рис. 2. Аномалии геопотенциала (H-положительные, L-отрицательные), вызванные КМД (усиленной конвекцией в Индийском океане и подавленной конвекцией в западной части Тихого океана). Оранжевые линии – локальная циркуляция Хэдли над Индийским океаном и Восточной Азией. Красные и синие линии – траектории волн Россби, достигающие Северной Америки и Восточной Европы, соответственно. Красные и синие изогнутые стрелки – адвекция тепла на Северную Америку и адвекция холода на Восточную Европу, соответственно [21].

Fig. 2. Geopotential height anomalies (H-positive, L-negative) are forced by MJO-enhanced convection over the Indian Ocean and suppressed convection over the western Pacific. The local Hadley circulation is shown as the orange lines over the Indian Ocean and East Asia, accordingly. The Rossby wave trajectories reaching North America are denoted as a red lines and reaching East Europe are denoted as a blue lines. Warm advection over North America is denoted as a red curved arrows, and cold advection over East Europe is denoted as a blue curved arrows [21].

Выполненные в [14] численные эксперименты показали, что при активизации КМД через несколько недель происходит повышение примерно на 70 % частоты возникновения фаз САК. Для уточнения роли КМД в формировании САК все эпизоды САК были разделены на две категории: 1) которым предшествовала интенсификация КМД; 2) которые не связаны с КМД. Эпизодом считался случай, если подряд три и более суток индекс САК был больше одного стандартного отклонения. По суточным данным приземного давления за декабрь-февраль 1979-2006 гг. был выделен 31 эпизод с положительной фазой САК и 24 эпизода с отрицательной фазой. В результате оказалось, что только около 50 % эпизодов САК были связаны с КМД.

В [16, 17] установлена статистически значимая связь между КМД и САК. Выявлено, что происходит значительное усиление положительной (отрицательной) фазы САК через 5–15 суток после того как подавленная

(усиленная) конвекция, связанная с КМД, достигает тропической зоны центральной части Тихого океана. На основе глобальной модели выполнены прогнозы САК зимой на 45 дней в 1985–2008 гг.

Также показано, что прогноз САК с заблаговременностью один месяц более успешен в том случае, если начальный сигнал КМД достаточно сильный. Успешность прогноза САК также зависит от фазы КМД в начальный период. Наилучшие прогнозы получены, если в начальных условиях учитывались фазы 2, 3, 6, 7. Это означает, что прогноз более успешен, если в начале существует зональный диполь с усиленной конвекцией в восточной части Индийского океана и подавленной конвекцией в западной части Тихого океана (или наоборот), чем если есть только один центр конвекции над Морским Континентом.

Статистическая модель для оценки потенциальной предсказуемости индекса САК или знака фазы САК была разработана в [8]. В качестве предиктора использовались характеристики предшествующей фазы КМД. Выполненные прогнозы были успешны в ~70 % случаев.

Помимо прогноза САК, характеристики КМД использовались также для прогнозов в других регионах. В [21] было рассмотрено влияние КМД на три района: Северная Америка, Восточная Европа и Восточная Азия. Получено, что аномалии температуры воздуха (ТВ), связанные с КМД, учитывают примерно 30 % общей изменчивости зимних аномалий в этих районах. Отрицательные аномалии ТВ в Восточной Европе начинают развиваться, если усиленный нагрев при конвекции расположен в центральной части Индийского океана (фаза 2). Основным механизмом является горизонтальная адвекция температуры, связанная с волнами Россби, возбужденными КМД. Максимум отрицательной аномалии ТВ возникает через 10–15 дней после интенсификации КМД.

Важный вывод этой работы состоит в том, что хотя во многих исследованиях показано существенное влияние арктического колебания, уменьшения площади льда в арктических морях и снежного покрова Евразии на экстремально холодные зимы во внетропических широтах Северного полушария, КМД также является потенциальным источником предсказуемости этих явлений.

Исследование влияния КМД на температурный режим внетропических широт Северного полушария также показало, что в холодную часть года (ноябрь – апрель) в результате активизации КМД частота экстремумов температуры воздуха возрастает в два раза по сравнению с неактивными периодами КМД [19]. Делается вывод, что учет влияния КМД в прогностических моделях важен для заблаговременного предупреждения об экстремальных температурах.

Интересное исследование совместного влияния КМД и ЭНЮК на частоту возникновения блокинга в высоких широтах выполнено в [12]. Показано, что в период Эль-Ниньо происходит увеличение явлений блокинга в Тихом и Атлантическом океанах вслед за фазой 7 КМД,

характеризующейся повышенной конвекцией над восточной частью Индийского океана и подавленной конвекцией над западной частью Тихого океана. Существенное уменьшение блокинга происходит вслед за фазой 3, когда конвекция над восточной частью Индийского океана подавлена, а над западной частью Тихого океана усилена. Влияние КМД на формирование блокинга над Северной Атлантикой и Европой было также выявлено в [9].

В [24] показано, что КМД существенно влияет на погоду в Северной Америке на внутрисезонном масштабе. Выявлен меридиональный сдвиг шторм-трека, связанный с КМД, с которым, в свою очередь, связаны аномалии температуры воздуха и осадков в различных регионах Северной Америки. На возникновение сдвига повлияли цепочки волн Россби, возбужденные аномалиями конвекции, связанными с фазами 3 и 8 КМД. Эти волновые цепочки, распространяясь через Тихий океан и Северную Америку, вызывают меридиональный сдвиг западного струйного течения и изменения в активности шторм-трека. Также найдено, что волны Россби, связанные с фазами 2 и 6, влияют на погоду западного побережья Северной Америки. В [11] показано, что КМД влияет не только на шторм-трек над Северной Америкой, но и на его продолжение над Северной Атлантикой и Европой.

Отдельно следует остановиться на работах, в которых исследуется влияние КМД на процессы в стратосфере и, в частности, на внезапные стратосферные потепления. В [18] исследуется влияние КМД на различные типы стратосферных потеплений, связанных со смещением или расщеплением полярного вихря. Выявлено, что КМД сильнее влияет на второй тип потеплений вследствие того, что перед этим типом смещение области активной конвекции в тропиках на восток выражено наиболее значительно. В [20] установлено, что более чем половине стратосферных потеплений предшествовали фазы 6 и 7 КМД.

Численное моделирование влияния КМД на циркуляцию атмосферы

Способность моделей прогнозировать КМД и его влияние на внетропические широты исследовалось в проекте S2S на основе данных за 1999–2010 гг. [22]. Получено, что модели, участвующие в проекте S2S, способны прогнозировать КМД на срок от двух до четырех недель. В соответствии с данными реанализа ERA-Interim модели воспроизводят увеличение вероятности возникновения положительной фазы САК вслед за активизацией КМД над Индийским океаном и отрицательной фазы САК вслед за активизацией КМД над западной частью Тихого океана. Но при этом в Атлантико-Европейском регионе модели дают значительно более слабый отклик на КМД, чем по данным реанализа. Необходимо отметить, что прогнозы КМД более успешны в зимний период, поскольку в это время сигнал КМД выражен сильнее, чем летом [15].

Проблемы моделирования КМД исследовались также в проекте CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5) [6, 13]. Отмечается, что большинство моделей, участвующих в проекте, занижают амплитуду КМД, особенно когда для оценки используется уходящая длинноволновая радиация, и есть проблемы в воспроизведении когерентности между распространением на восток области конвекции/осадков и полем ветра. Также есть трудности в моделировании влияния КМД на крупномасштабные колебания циркуляции атмосферы (телесвязи).

Вместе с тем в [21] делается оптимистичный вывод, что аномалии температуры воздуха, связанные с КМД, могут быть предсказаны с заблаговременностью 10–20 дней. С учетом того, что современные модели океан-атмосфера в Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды и в Службе погоды США могут предсказывать КМД с заблаговременностью 20–30 дней, можно ожидать, что заблаговременность прогноза крупных аномалий температуры воздуха во внетропических широтах достигнет 30–45 дней.

Заключение

В различных исследованиях показано, что колебание Маддена – Джулиана влияет на циркуляцию атмосферы во внетропических широтах Северного полушария. В частности, выявлено, что через несколько недель после активизации КМД интенсифицируется североатлантическое колебание, но при этом только около половины эпизодов усиления САК связаны с КМД. Зимние аномалии температуры воздуха в Северной Америке, Восточной Европе и Восточной Азии, связанные с КМД, учитывают примерно 30 % общей изменчивости зимних аномалий в этих районах. Есть прогресс в моделировании влияния КМД на формирование аномалий температуры воздуха во внетропических широтах.

Список литературы

1. *Гущина Д.Ю., Девитт Б.* Явление Эль-Ниньо и его влияние на процессы в атмосфере и океане // Труды ГОИН. 2016. Вып. 217. С. 184-208.
2. *Железнова И.В., Гущина Д.Ю.* Отклик глобальной циркуляции атмосферы на два типа Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. 2015. № 3. С. 36-50.
3. *Иванов В.Н., Стерин А.М., Хохлова А.В.* Внутрисезонные колебания атмосферы в умеренных широтах Европы и Азии и их параметры // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 31-43.
4. *Киктев Д.Б., Толстых М.А., Мирвис В.М.* О предсказуемости экстремальных метеорологических явлений на временных масштабах до сезона // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации. М., 2014. С. 54-66.
5. *Петросяц М.А., Семенов Е.К., Гущина Д.Ю., Соколичина Е.В., Соколичина Н.Н.* Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость. М.: МАКС Пресс, 2005. 670 с.
6. *Ahn M., Kim D., Sperber K., Kang I., Maloney E., Waliser D., Hendon H.* MJO simulation in CMIP5 climate models: MJO skill metrics and process-oriented diagnosis // *Clim. Dyn.* 2017. Vol.49, no. 11-12. P. 4023-4045.
7. *Burleyson C.D., Hagos S.M., Feng Z., Kerns B.W.J., Kim D.* Large-scale environmental characteristics of MJOs that strengthen and weaken over the Maritime Continent // *J. Clim.* 2018. Vol. 31, no. 14. P. 5731-5748.

8. Cassou C. Intraseasonal interaction between the Madden–Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation // *Nature*. 2008. Vol. 455. P. 523-527.
9. Gollan G., Greatbatch R. The relationship between northern hemisphere winter blocking and tropical modes of variability // *J. Clim.* 2017. Vol. 30, no. 22. P. 9321-9337.
10. Gottschalck J., Meng J., Rodell M., Houser P. A framework for assessing operational Madden–Julian oscillation forecasts: A CLIVAR MJO working group project // *Bull. Amer. Met. Soc.* 2010. Vol. 91, no. 9. P.1247-1258.
11. Guo Y., Shinoda T., Lin J., Chang E. K. M. Variations of Northern Hemisphere storm track and extratropical cyclone activity associated with the Madden–Julian oscillation // *J. Clim.* 2017. Vol. 30, no. 13. P. 4799-4818.
12. Henderson S.A., Maloney E.D. The impact of the Madden–Julian oscillation on high-latitude winter blocking during El Niño–Southern oscillation events // *J. Clim.* 2018. Vol. 31, no. 13. P. 5293-5318.
13. Henderson S.A., Maloney E.D., Son S.-W. Madden–Julian oscillation Pacific teleconnections: the impact of the basic state and MJO representation in general circulation models // *J. Clim.* 2017. Vol. 30, no. 12. P. 4567-4587.
14. Jiang Z., Feldstein S.B., Lee S. The relationship between the Madden–Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 2017. Vol. 143, no. 702. P. 240-250.
15. Kim H.-M., Kim D., Vitart F., Toma V.E., Kug J.-S., Webster P.J. MJO Propagation across the Maritime Continent in the ECMWF Ensemble Prediction System // *J. Clim.* 2016. Vol. 29, no. 11. P. 3973-3988.
16. Lin H., Brunet G., Derome J. An observed connection between the North Atlantic Oscillation and the Madden–Julian Oscillation // *J. Clim.* 2009. Vol. 22, no. 2. P. 364-380.
17. Lin H., Brunet G., Fontecilla J.S. Impact of the Madden–Julian Oscillation on the intraseasonal forecast skill of the North Atlantic Oscillation // *Geophys. Res. Lett.* 2010. Vol. 37: L19803. Doi: 10.1029/2010GL044315.
18. Liu C., Tian B., Li K.-F., Manney G.L., Livesey N.J., Yung Y.L., Waliser D.E. Northern hemisphere mid-winter vortex-displacement and vortex-split stratospheric sudden warmings: influence of the Madden–Julian oscillation and quasi-biennial oscillation // *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2014. Vol. 119, no. 22. P. 12599-12620.
19. Matsueda S., Takaya Y. The global influence of the Madden–Julian Oscillation on extreme temperature events // *J. Clim.* 2015. Vol. 28, no. 10. P. 4141-4151.
20. Schwartz C., Garfinkel C. Relative roles of the MJO and stratospheric variability in North Atlantic and European winter climate // *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2017. Vol. 122, no. 8. P. 4184-4201.
21. Seo K.-H., Lee H.-J., Frierson D.M.W. Unraveling the teleconnection mechanisms that induce wintertime temperature anomalies over the Northern Hemisphere continents in response to the MJO // *J. Atm. Sci.* 2016. Vol. 73, no. 9. P. 3557-3571.
22. Vitart F. Madden-Julian oscillation prediction and teleconnections in the S2S database // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 2017. Vol. 143, no. 706. P. 2210-2220.
23. Wheeler M. C., Hendon H. H. An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction // *Mon. Weath. Rev.* 2004. Vol. 132, no. 8. P. 1917-1932.
24. Zheng C., Chang E. K.-M., Kim H.-M., Zhang M., Wang W. Impacts of the Madden–Julian oscillation on storm-track activity, surface air temperature, and precipitation over North America // *J. Clim.* 2018. Vol. 31, no. 15. P. 6113-6134.

References

1. Gushchina D., Dewitte B. El Niño–Southern Oscillation and Its influence on the ocean–atmosphere processes. *Proceedings of N.N. Zubov State Oceanographic Institute*, 2016, vol. 2017, pp.184-208. [in Russ.].

2. Zheleznova I.V., Gushchina D.Yu. The response of global atmospheric circulation to two types of El Niño. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2015, vol. 40, no. 3, pp. 170-179. DOI: 10.3103/S1068373915030036.
3. Ivanov V. N., Sterin A. M., and Khokhlova A. V. Atmospheric Intraseasonal Oscillations in the Middle Latitudes of Europe and Asia and Their Parameters. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2003, no. 5, pp. 22-31.
4. Kiktev D.B., Tolstykh M.A., Mirvis V.M. O predskazuemosti ehkstremaal'nykh meteorologicheskikh yavleniy na vremennykh masshtabakh do sezona. Ehkstremaal'nye pavodki v basseyny r. Amur: prichiny, prognozy, rekomendatsii. Moscow, 2014, pp. 54-66. [in Russ.].
5. Petrosyants M.A., Semenov E. K., Gushchina D.Yu., Sokolikhina E. V., Sokolikhina N. N.. Tsirkulyatsiya atmosfery v tropikakh: klimat i izmenchivost'. Moscow, MAKS Press Publ., 2005, 670 p. [in Russ.].
6. Ahn M., Kim D., Sperber K., Kang I., Maloney E., Waliser D., Hendon H. MJO simulation in CMIP5 climate models: MJO skill metrics and process-oriented diagnosis. *Clim. Dyn.*, 2017, vol. 49, no. 11-12, pp. 4023-4045.
7. Burleyson C.D., Hagos S.M., Feng Z., Kerns B.W.J., Kim D. Large-scale environmental characteristics of MJOs that strengthen and weaken over the Maritime Continent. *J. Clim.*, 2018, vol. 31, no. 14, pp. 5731-5748.
8. Cassou C. Intraseasonal interaction between the Madden–Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Nature*, 2008, vol. 455, pp. 523-527.
9. Gollan G., Greatbatch R. The relationship between northern hemisphere winter blocking and tropical modes of variability. *J. Clim.*, 2017, vol. 30, no. 22, pp. 9321-9337.
10. Gottschalck J., Meng J., Rodell M., Houser P. A framework for assessing operational Madden–Julian oscillation forecasts: A CLIVAR MJO working group project. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 2010, vol. 91, no. 9, pp.1247-1258.
11. Guo Y., Shinoda T., Lin J., Chang E. K. M. Variations of Northern Hemisphere storm track and extratropical cyclone activity associated with the Madden–Julian oscillation. *J. Clim.*, 2017, vol. 30, no. 13, pp. 4799-4818.
12. Henderson S.A., Maloney E.D. The impact of the Madden–Julian oscillation on high-latitude winter blocking during El Niño–Southern oscillation events. *J. Clim.*, 2018, vol. 31, no. 13, pp. 5293-5318.
13. Henderson S.A., Maloney E.D., Son S.-W. Madden–Julian oscillation Pacific teleconnections: the impact of the basic state and MJO representation in general circulation models. *J. Clim.*, 2017, vol. 30, no. 12, pp. 4567-4587.
14. Jiang Z., Feldstein S.B., Lee S. The relationship between the Madden–Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 2017, vol. 143, no. 702, pp. 240-250.
15. Kim H.-M., Kim D., Vitart F., Toma V.E., Kug J.-S., Webster P.J. MJO Propagation across the Maritime Continent in the ECMWF Ensemble Prediction System. *J. Clim.*, 2016, vol. 29, no. 11, pp. 3973-3988.
16. Lin H., Brunet G., Derome J. An observed connection between the North Atlantic Oscillation and the Madden–Julian Oscillation. *J. Clim.* 2009, vol. 22, no. 2, pp. 364-380.
17. Lin H., Brunet G., Fontecilla J.S. Impact of the Madden–Julian Oscillation on the intraseasonal forecast skill of the North Atlantic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2010, vol. 37: L19803. DOI: 10.1029/2010GL044315.
18. Liu C., Tian B., Li K.-F., Manney G.L., Livesey N.J., Yung Y.L., Waliser D.E. Northern hemisphere mid-winter vortex-displacement and vortex-split stratospheric sudden warmings: influence of the Madden–Julian oscillation and quasi-biennial oscillation. *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 2014, vol. 119, no. 22, pp. 12599-12620.
19. Matsueda S., Takaya Y. The global influence of the Madden–Julian Oscillation on extreme temperature events. *J. Clim.*, 2015, vol. 28, no. 10, pp. 4141-4151.
20. Schwartz C., Garfinkel C. Relative roles of the MJO and stratospheric variability in North Atlantic and European winter climate. *J. Geophys. Res. Atmospheres.*, 2017, vol. 122, no. 8, pp. 4184-4201.

21. Seo K-H., Lee H-J., Frierson D.M.W. Unraveling the teleconnection mechanisms that induce wintertime temperature anomalies over the Northern Hemisphere continents in response to the MJO. *J. Atm. Sci.*, 2016, vol. 73, no. 9, pp. 3557-3571.
22. Vitart F. Madden-Julian oscillation prediction and teleconnections in the S2S database. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 2017, vol. 143, no. 706, pp. 2210-2220.
23. Wheeler M. C., Hendon H. H. An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction. *Mon. Weath. Rev.*, 2004, vol. 132, no. 8, pp. 1917-1932.
24. Zheng C., Chang E. K-M., Kim H-M., Zhang M., Wang W. Impacts of the Madden-Julian oscillation on storm-track activity, surface air temperature, and precipitation over North America. *J. Clim.*, 2018, vol. 31, no. 15, pp. 6113-6134.

Поступила в редакцию 25.10.2018 г.
Received by the editor 25.10.2018.