

**ВЛИЯНИЕ СОКРАЩЕНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА В АРКТИКЕ
НА ИЗМЕНЕНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ И АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
НАД СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ**

¹М.Г. Акперов, ^{1,2}В.А. Семенов, ¹И.И. Мохов, ^{3,4}Э. Лупо

**EFFECT OF ARCTIC ICE COVER REDUCTION ON VARIATIONS OF CYCLONIC AND
ANTICYCLONIC ACTIVITIES OVER NORTHERN EURASIA BASED ON MODEL SIMULATIONS**

¹M.G. Akperov, ^{1,2}V.A. Semenov, ¹I.I. Mokhov, ^{3,4}E. Lupo

Проведен анализ изменчивости характеристик вихревой активности над территорией Северной Евразии с использованием расчетов с глобальной моделью общей циркуляции атмосферы (МОЦА) ECHAM5 с заданными различными режимами концентрации морских льдов в Арктике за холодный период в последние 50 лет. Модельные расчеты выполнены для периодов, соответствующих высокой и низкой концентрацией морских льдов в Арктике, а также для среднеклиматического режима.

Для режимов с высокой и низкой концентрацией льда в зимний период (с наиболее сильными аномалиями в регионе Баренцева и Карского морей) отмечено статистически значимое увеличение количества долгоживущих антициклонов (время жизни более 5 дней) над Северной Евразией. Для долгоживущих циклонов отмечено уменьшение их количества. При этом на основе модельных расчетов происходит статистически значимое увеличение интенсивных долгоживущих антициклонов. Для долгоживущих циклонов проявляются различные тенденции изменения их количества в зависимости от интенсивности.

Отмечено увеличение повторяемости циклонов над центральной частью Европейской территории России (ЕТР) и антициклонов над Северной частью ЕТР для режима с высокой концентрацией морских льдов в Арктике. Для режима с низкой концентрацией морских льдов отмечено смещение повторяемости циклонов и антициклонов в сторону центральной части России.

The simulations were performed with the ECHAM5 AGCM using identical sea surface temperature climatology but different sea ice concentrations (SIC) for the periods corresponding to the high (1966–1969), and low (2005–2012) SIC regimes in the Arctic as well as for the mean climatological SIC for 1971–2000. The duration of each simulation was 50 years.

For the regimes with high and very low SIC, a statistically significant increase in the number of long-living anticyclones (with lifetime of more than 5 days) over Northern Eurasia was found. Long-living cyclones exhibited different changes in their number depending on their intensity.

The analysis of the spatial patterns of cyclonic and anti-cyclonic activity over Eurasia was performed. We found an increase of the frequency of cyclones over the central region of the European part of Russia (EPR) and anticyclones over the northern region of the EPR for the regimes with a high sea ice concentration in the Arctic. For the regime with low SIC the shift of the frequency of cyclones and anticyclones towards the central part of Russia was found.

Введение

Температура в Арктическом регионе растет в два раза быстрее среднеполюсшарной температуры (арктическое усиление). Происходящие изменения климата в данном регионе приводят к изменению циркуляции атмосферы в средних широтах [например, Honda et al., 2009; Petoukhov, Semenov, 2010; Semenov, Latif, 2015], в частности, к изменению вихревой активности над Северной Евразией [Zhang et al., 2012].

Относительно короткий современный период (десятилетие) с аномально высокими температурами и резким сокращением площади Арктического ледяного покрова не позволяет делать статистически достоверные выводы о связи вихревой активности в средних широтах с изменениями концентрации морских льдов в Арктике. Только численные ансамблевые эксперименты с МОЦА позволяют статистически достоверно оценить данный вклад на вихревую изменчивость над Северной Евразией.

В данной работе анализируется вихревая активность над Северной Евразией с использованием расчетов с глобальной моделью общей циркуляции атмосферы ECHAM5 при различных режимах изменений КМЛ в Арктике.

Данные и методы

В работе используются 6-часовые данные по атмосферному давлению на уровне моря по расчетам с

глобальной моделью общей циркуляции атмосферы (МОЦА) ECHAM5 [Roeckner et al., 2003, 2006] для периодов, соответствующих высокой (1966–1969 гг.) и низкой (2005–2012 гг.) концентрацией морских льдов (КМЛ) в Арктике (регион между Гренландским и Баренцевым морями), а также для среднеклиматического режима 1971–2000 гг. Длительность каждого эксперимента составляет 50 лет [Semenov, Latif, 2015].

Также используются данные приповерхностной температуры и атмосферному давлению на уровне моря на основе данных реанализа NCEP/NCAR [Kalnay et al., 1996] для зимнего сезона и для различных режимов изменений КМЛ.

Для определения вихрей используется алгоритм идентификации циклонов/антициклонов, предложенный в [Бардин, Полонский, 2005] и с некоторыми модификациями в [Акперов и др., 2007; Акперов, Мохов, 2010]. С помощью данного алгоритма были рассчитаны основные параметры циклонов/антициклонов: количество, повторяемость и глубина/интенсивность (разность давления между центром и давлением на последней замкнутой изобаре вихря). Следует отметить, что данная величина характеризует энергию вихря [Голицын и др., 2007]. Следует отметить, что данный алгоритм применяется в рамках международного проекта IMILAST (сравнение характеристик среднеширотных циклонов) [Neu et al., 2013;

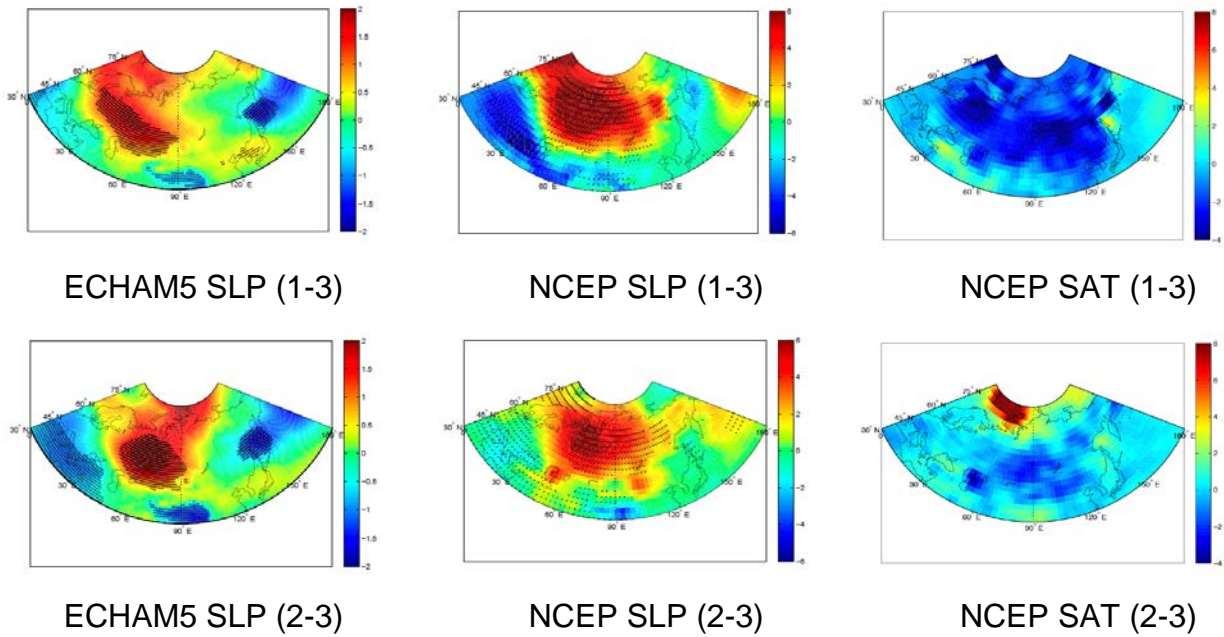


Рис. 1. Аномалии атмосферного давления на уровне моря (SLP) и приповерхностной температуры (SAT) над Северной Евразией для разных режимов изменения концентрации льда в Арктике с использованием данных реанализа NCEP/NCAR и модельных расчетов с ECHAM5 для холодного сезона (цифры характеризуют различные режимы изменения концентрации льда в Арктике: 1 – высокая, 2 – низкая, 3 – среднеклиматический режим).

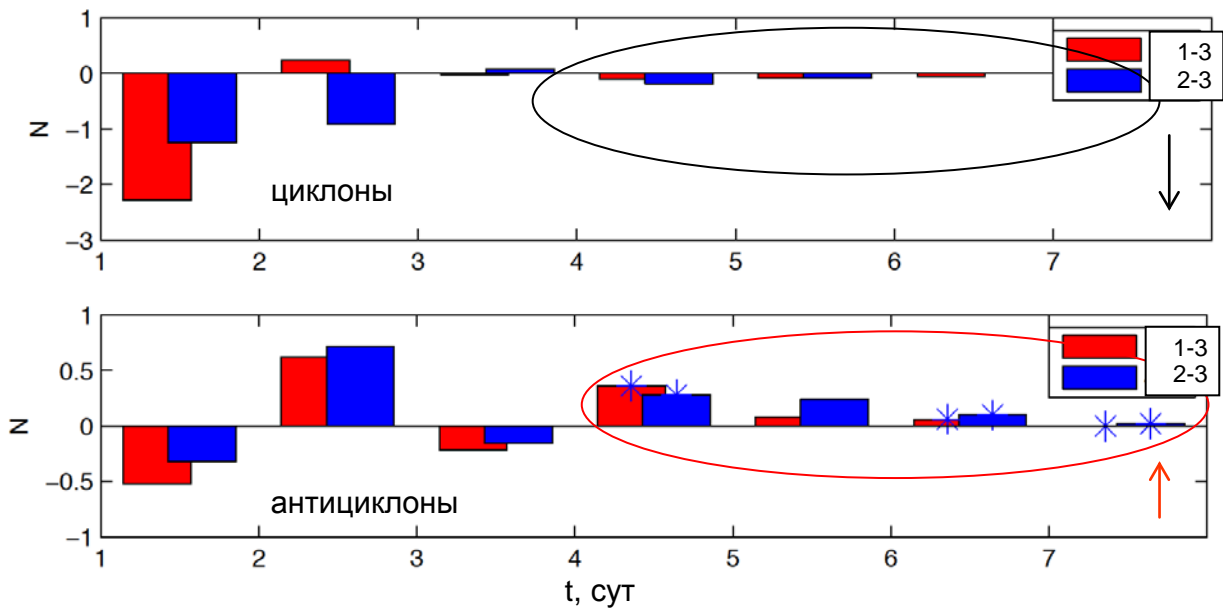


Рис. 2. Изменения повторяемости циклонов и антициклонов (в день) в зависимости от их времени жизни для холодного сезона над Северной Евразией для разных режимов изменения концентрации льда в Арктике с использованием данных реанализа NCEP/NCAR и модельных расчетов с ECHAM5 для холодного сезона (цифры характеризуют различные режимы изменения концентрации льда в Арктике: 1 – высокая, 2 – низкая, 3 – среднеклиматический режим).

Ulbrich et al., 2013] и свидетельствует о надежности метода идентификации циклонов/антициклонов. Более детальное описание алгоритма и определения характеристик циклонов можно найти в [Акперов и др. 2007].

Анализ вихрей производится для региона Северной Евразии (45–75° N, 30–120° E).

Результаты

На рис. 1 представлены пространственные распределения аномалий атмосферного давления на

уровне моря (SLP) и приповерхностной температуры (SAT) над Северной Евразией для разных режимов изменений концентраций льда в Арктике с использованием модельных расчетов с МОЦА ECHAM5, а также данных реанализа NCEP/NCAR для холодного сезона. По расчетам с МОЦА ECHAM5 для низкой и высокой КМЛ наблюдаются статистически значимые увеличения атмосферного давления на уровне моря относительно среднеклиматического режима над Европейской территорией

России (ЕТР). Аналогичные изменения отмечаются также на основе данных реанализа, но с наибольшей амплитудой вариаций. Данные области характеризуются низкими значениями приповерхностной температуры, при этом наиболее сильные различия в температурном режиме отмечаются для режима с низкой КМЛ в Арктике, достигая 4°K по данным реанализа. Таким образом, можно сделать вывод о корректном воспроизведении моделью изменений режима циркуляции над Северной Евразией в зависимости от различных изменений КМЛ в Арктическом регионе.

Был проведен анализ изменений повторяемости вихрей в зависимости от их времени жизни для различных режимов изменений КМЛ по расчетам с моделью для Северной Евразии (рис. 2). Отмечено статистически значимое увеличение повторяемости долгоживущих антициклонов (от 5 сут) и статистически незначимое уменьшение долгоживущих циклонов. Последующий анализ проводился для циклонов и антициклонов, время жизни которых составляло не менее 5 сут.

Анализ изменений повторяемости вихрей в зависимости от их интенсивности для разных режимов изменений КМЛ показал статистически значимые увеличения числа интенсивных антициклонов в соответствующем регионе. Данные изменения были отмечены для обоих режимов изменений КМЛ в Арктическом регионе. Статистически значимые увеличения повторяемости интенсивных циклонов были отмечены также для режимов с высокой и низкой КМЛ. В основном увеличение повторяемости циклонов отмечается над центральной частью Европейской территории России (ЕТР), а антициклонов над Северной частью ЕТР для режима с высокой концентрацией морских льдов в Арктике. Для режима с низкой концентрацией морских льдов отмечается сдвиг повторяемости циклонов и антициклонов в сторону центральной части России. Таким образом, можно заключить, что независимо от изменения режимов КМЛ над Арктикой, увеличивается повторяемость интенсивных вихрей над Северной Евразией.

Заключение

Анализ изменчивости характеристик вихревой активности над Северной Евразией с использованием расчетов с моделью общей циркуляции атмосферы ECHAM5 с различными режимами концентрации морских льдов в Арктике за холодный период отмечены различные тенденции изменения вихревой активности показал статистическое значимое увеличение повторяемости долгоживущих антициклонов и незначимое уменьшение долгоживущих циклонов. Для режимов с высокой и очень низкой концентрации льда в зимний период (с наиболее сильными аномалиями в регионе Баренцева и Карского морей) отмечено статистически значимое увеличение количества долгоживущих антициклонов (время жизни более 5 дней) над Северной Евразией. Для долгоживущих циклонов отмечено уменьшение их количества. При этом на основе модельных расчетов про-

исходит статистически значимое увеличение интенсивных долгоживущих антициклонов. Для долгоживущих циклонов проявляются различные тенденции изменения их количества в зависимости от интенсивности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-05-00518, 14-05-00639, 15-35-21061 и гранта Президента РФ МК-2693.2014.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акперов М.Г., Бардин М.Ю., Володин Е.М. и др. Функции распределения вероятностей циклонов и антициклонов по данным реанализа и модели климата ИВМ РАН // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43, № 6. С. 764–772.

Акперов М.Г., Мохов И.И. Оценки чувствительности циклонической активности в тропосфере внетропических широт к изменению температурного режима // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49, № 2. С. 129–136.

Бардин М.Ю., Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период // Изв. РАН, 2005. Т. 41, № 2. С. 3–13.

Голицын Г.С., Мохов И.И., Акперов М.Г., Бардин М.Ю. Функции распределения вероятности для циклонов и антициклонов в период 1952–2000 гг.: инструмент для определения изменений глобального климата // Доклады АН. 2007. Т. 413, № 2. С. 254–256.

Honda M., Inoue J., Yamane S. Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 36. L08707.

Kalnay, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. V. 77. P. 437–470.

Neu U., et al. IMILAST a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms // Bull. Am. Met. Soc. 2013. V. 94, N 1. P. 529–547.

Petoukhov V., Semenov V. A link between reduced Barents–Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. D21111.

Roeckner E., et al. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: model description, Rep 349. Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg. 2003.

Roeckner E., et al. Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model // J Clim. 2006. V. 19. P. 3771–3791.

Semenov V.A., Latif M. Nonlinear winter atmospheric circulation response to Arctic sea ice concentration anomalies for different periods during 1966–2012 // Environ Res. Lett. 2015. 10:054020. DOI:10.1088/1748-9326/10/5/054020.

Ulbrich U., et al. Are greenhouse gas signals of Northern Hemisphere winter extra-tropical cyclone activity dependent on the identification and tracking algorithm? // Meteorol. Z. 2013. V. 22, N 1. P. 61–68.

Zhang X., et al. Weakened cyclones, intensified anticyclones and recent extreme cold winter weather events in Eurasia // Environ Res. Lett. 2012. 7:044044. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/044044.

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Институт морских наук им. Лейбница ИФМ-ГЕОМАР, Киль, Германия

³Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

⁴Университет Миссури, Колумбия, США