

## **Influence of autumn snow cover variability on atmospheric conditions the following winter in Siberia**

(1,2) Martynova Yu.V., (1) Kharyutkina E.V.

(1) Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Russia, Tomsk, Academichesky ave., 10/3, <http://imces.ru>

(2) Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute, Novosibirsk, Russia, Sovetskaya str. 30, <http://sibnigmi.ru>

E-mail: [FoxyJ13@gmail.com](mailto:FoxyJ13@gmail.com), [kh\\_ev@mail2000.ru](mailto:kh_ev@mail2000.ru)

Due to climatic features, the most extensive snow cover is formed in the Siberian part of the Eurasian continent. There are a number of studies showing that the magnitude of the snow cover formed in October can have a significant impact on the formation of processes that determine the state of the climate system in the following winter. However, this mechanism of influence is not fully understood. The purpose of this study is to assess the influence of the October snow cover variation on the temperature and circulation regimes in the following winter in Siberia.

The territory of Western Siberia between 50N - 70N and 60E-90E was considered. The studies were carried out on the basis of observational data (RIHMI-WDC and NOAA, GSL), reanalysis (NCEP/NCAR and ERA-Interim) and climate modeling data (INMCM4 and INMCM5). Simultaneous use of data of different types in the work allowed to obtain a more complete picture of the behavior of the investigated relationship. The behavior of the following parameters was considered: the area of the snow cover formed in October ( $S_{sc}$ ); averaged over the territory average for the winter air temperature at the surface ( $T_{as}$ ); average for the winter AO index (AOI), the average over the territory of the geopotential height anomaly (HGT). The estimation of the influence of the autumn snow cover anomalies on the atmospheric conditions formed in the following winter was carried out using correlation analysis.

The big range of correlation coefficients between  $S_{sc}$  and AOI, and between  $S_{sc}$  and  $T_{as}$  was obtained. The common for all the data sets examined is an occurrence of statistical significance of linear relation between  $S_{sc}$  and AOI only in certain short (up to 20 years) time intervals. All significant correlation coefficients between  $S_{sc}$  and AOI are negative, which agrees with the possible tropospheric-stratospheric-tropospheric mechanism of the effect of the autumn snow cover on atmospheric conditions in the following winter. The occurrence of a statistically significant linear relationship between  $S_{sc}$  and AOI is not associated with the appearance of it between  $S_{sc}$  and  $T_{as}$ . However, for the majority of considered time periods, a strong positive statistically significant linear relationship between AOI and  $T_{as}$  is observed for all the data sets examined, which also indicate the manifestation of the mechanism under consideration. The comparison of the correlation coefficients that are obtained using the initial and detrended data series does not show the significant role of the low-frequency variability in the behavior of parameters under consideration.

The generalization of all the results of this study suggests that the tropospheric-stratospheric-tropospheric mechanism described above can be highly influenced by other atmospheric processes. The obtained results give grounds for assuming the nonstationarity of the considered relationship occurrence.

This study is partially supported by the grant of the RF President MK-2018.2017.5.

## **Влияния изменчивости осеннего снежного покрова на атмосферные условия последующей зимой в Сибири**

(1,2) Мартынова Ю.В., (1) Харюткина Е.В.

(1) Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия, пр. Академический 10/3, <http://imces.ru>

(2) Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Новосибирск, Россия, ул. Советская 30, <http://sibnigmi.ru>

E-mail: [FoxyJ13@gmail.com](mailto:FoxyJ13@gmail.com), [kh\\_ev@mail2000.ru](mailto:kh_ev@mail2000.ru)

### **Введение**

В зимний сезон целый ряд динамических аспектов атмосферы Северного полушария, таких как, например, расположение полярного струйного течения, шторм треки, температурный режим, определяется Арктическим колебанием (АК). В силу климатических особенностей наиболее обширный снежный покров формируется в сибирской части евразийского континента. Более того, по данным спутниковых наблюдений Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) основное формирование снежного покрова в Сибири происходит именно в октябре [1, 2], что сопряжено со сменой сезонов и соответствующим перестроением поведения климатической системы на этой территории. Очевидно, что величина сформировавшегося в октябре снежного покрова может оказывать значительное влияние на формирование процессов, определяющих состояние климатической системы в последующий зимний период. Существует ряд работ, описывающих наличие данной связи по различным данным моделирования [3-7]. Механизм этой взаимосвязи сложен и в значительной степени затрагивает стратосферные процессы [8]. На текущий момент механизм влияния аномалий осеннего снежного покрова на атмосферные условия последующей зимой в Северном полушарии до конца не изучен.

Цель работы заключается в оценке влияния вариации снежного покрова, сформировавшегося в октябре на территории Сибири, на температурный и циркуляционный режимы указанной территории в последующий зимний сезон. Исследования проводились на основе данных наблюдений, ретроспективного анализа и численного моделирования. Одновременное использование в работе данных разных типов позволило получить более полное представление о поведении исследуемой связи.

### **Данные и методика исследования**

#### *Территория*

Для исследования была выбрана территория Западной Сибири между 50° – 70° с.ш. и 60°– 90° в.д. На этой территории происходит интенсивное формирование снежного покрова в течение осени, особенно в октябре [1, 2].

#### *Использованные данные*

Анализ влияния вариаций осеннего снежного покрова на температурный режим последующего зимнего сезона для указанной территории осуществлялся с помощью данных наблюдений (ВНИИГМИ-МЦД и NOAA, GSL), реанализов (NCEP/NCAR и ERA-Interim) и данных климатического моделирования (INMCM4 и INMCM5).

#### *Методика исследования*

В рамках данного исследования для всех типов данных анализ проводился для четырех интервалов времени: для всего имеющегося интервала, отдельно для первой и второй половины имеющегося интервала, а также для непрерывного подинтервала, располагающегося примерно в середине общего имеющегося интервала. Рассмотрение нескольких интервалов времени, выбранных указанным образом, позволяет оценить наличие зависимости получаемого результата от выбора периода для проведения исследования.

Для всех использованных данных были рассмотрены отдельно исходные ряды (ИР) и

эти же ряды после процедуры исключения тренда (ИТР), что позволило оценить степень влияния низкочастотной составляющей изменчивости рассматриваемых параметров.

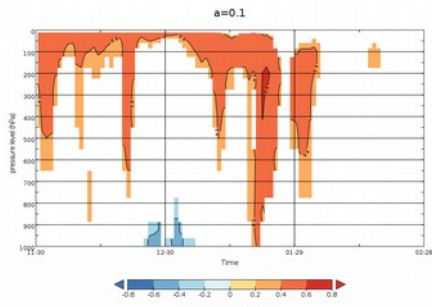
Было рассмотрено поведение следующих параметров: площадь снежного покрова, сформировавшегося в октябре ( $S_{сп}$ ); осредненная по территории средняя за зимний сезон температура воздуха у поверхности ( $T_{вп}$ ); средний за зимний сезон индекс АК (ИАК), средние по территории аномалии высоты геопотенциала (HGT). Был выполнен расчет коэффициентов корреляции с последующей оценкой их значимости для трех пар параметров:  $S_{сп}$  и ИАК;  $S_{сп}$  и  $T_{вп}$ ; ИАК и  $T_{вп}$ . Первые два из указанных индекса корреляции позволяют судить о наличии линейной связи между рассматриваемыми параметрами, а последний, основываясь на том, что температура воздуха у поверхности в зимний сезон в существенной степени может определяться АК, выступает в качестве контрольной оценки взаимного поведения указанных параметров. Для проверки связи аномалий осеннего снежного покрова с аномалиями волновой активности, позникающими последующей зимой, были вычислены коэффициенты корреляции между указанными величинами и проверена их статистическая значимость. Предварительно для каждого взятого в рассмотрение периода были вычислены аномалии волновой активности на основе средних по рассматриваемой территории значений HGT, определенных для каждого дня зимнего периода.

## Результаты

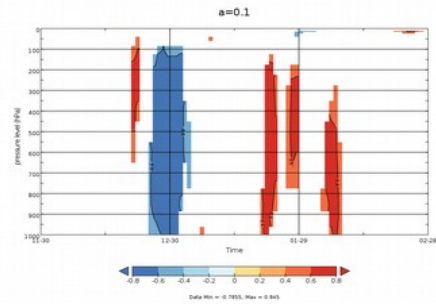
Полученные коэффициенты корреляции между  $S_{сп}$  и ИАК, и между  $S_{сп}$  и  $T_{вп}$  демонстрируют существенный разброс значений, как при переходе от одного набора данных к другому, так и в рамках каждого отдельно взятого набора. При этом явно видны следующие особенности. Во-первых, общим для всех рассмотренных наборов данных является проявление статистически значимой линейной связи между  $S_{сп}$  и ИАК только на отдельных коротких (до 20 лет) интервалах времени. Во-вторых, все значимые коэффициенты корреляции между  $S_{сп}$  и ИАК отрицательные, что согласуется с возможным тропосферно-стратосферно-тропосферным механизмом влияния площади осеннего снежного покрова на атмосферные условия в последующую зиму [8]. В-третьих, наличие статистически значимой линейной связи между  $S_{сп}$  и ИАК не сопряжено с проявлением значимой линейной связи между  $S_{сп}$  и  $T_{вп}$ . Однако, при этом для подавляющего большинства временных периодов для всех рассмотренных наборов данных прослеживается сильная положительная статистически значимая линейная связь между ИАК и  $T_{вп}$ , что также говорит в пользу проявления исследуемого механизма. В-четвертых, результат сравнения полученных на основе ИР и ИТР значений коэффициентов корреляции говорит в пользу невыраженности влияния низкочастотной составляющей изменчивости рассматриваемых параметров.

Совместный анализ вычисленных средних значений и стандартных отклонений рассматриваемых характеристик для всех выделенных периодов всех взятых в рассмотрение наборов данных и сопоставление их сочетания для каждого периода со значениями полученных ранее индексов корреляций между указанными параметрами не выявило какой-либо закономерности сопутствующей проявлению или отсутствию значимой линейной связи. С одной стороны может показаться, что такое отсутствие закономерности является следствием неудачного выбора временных периодов для исследования, и такое заключение было бы правомерным, если бы исследование не было построено на пяти наборах данных различного типа, полученных разным способом и из различных источников. Выявленная особенность говорит в пользу необходимости исследования рассматриваемого влияния  $S_{сп}$  на атмосферные условия последующего зимнего сезона с точки зрения его стационарности.

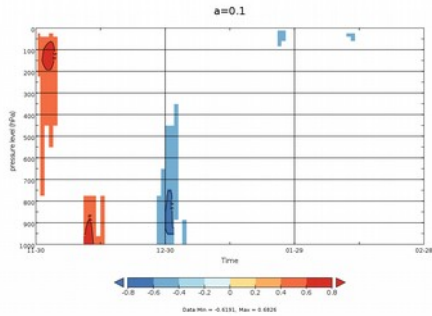
Анализ линейной связи между  $S_{сп}$  и HGT на изобарических уровнях, проведенный для трех наборов данных (реанализы NCEP/NCAR и ERA-Interim и данные модели INMCM5) для территории Сибири не выявил какой-либо явной характерной структуры в рассмотренных полях, сопровождающей проявление линейной связи между  $S_{сп}$  и ИАК (рисунки 1-3). Получен также существенный разброс значений корреляций при переходе от одного набора данных к другому.



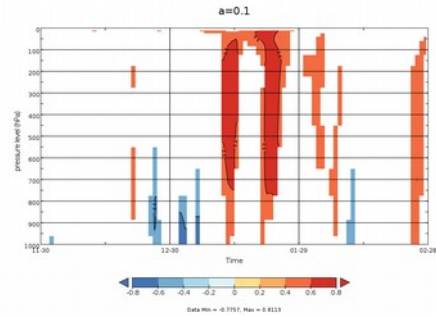
(а) 1979-2002 гг.



(б) 1985-1995 гг.

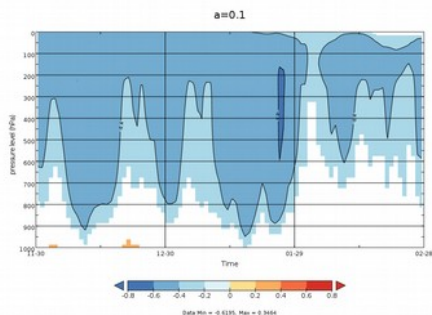


(в) 1979-1990 гг.

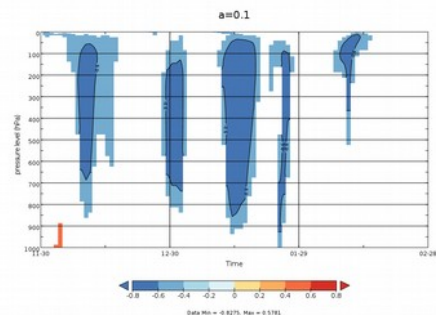


(г) 1990-2002 гг.

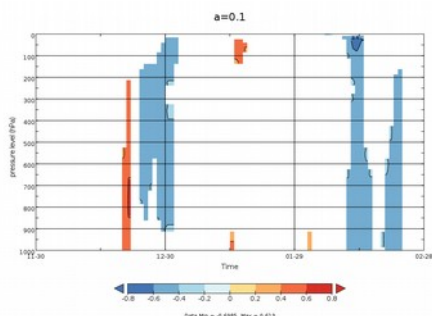
Рисунок 1 – Значимые ( $\alpha=0.1$ ) коэффициенты корреляции между  $S_{sp}$  и аномалиями НГТ, реанализ NCEP/NCAR и  $S_{sp}$  из GSL; для (г) ранее была обнаружена значимая связь между  $S_{sp}$  и ИАК.



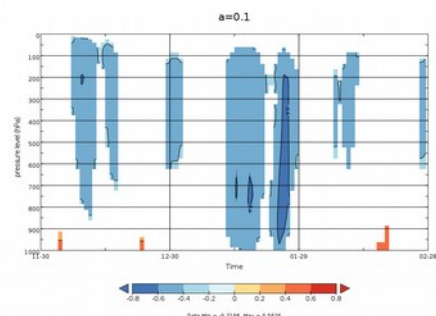
(а) 1979-2015 гг.



(б) 1995-2006 гг.

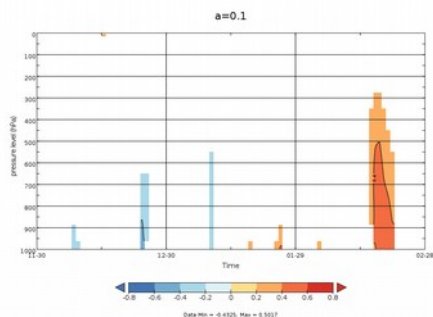


(в) 1979-1997 гг.

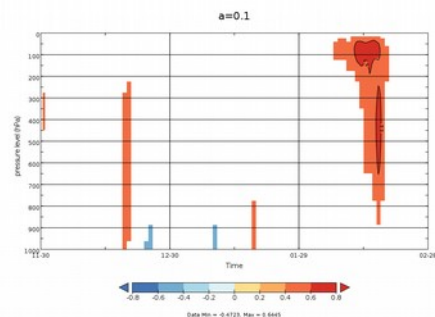


(г) 1997-2015 гг.

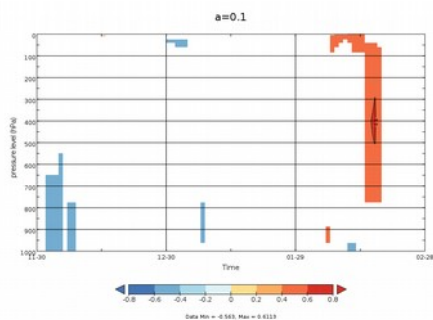
Рисунок 2 – Тоже, что на рисунке 1, но для ERA-Interim; для (б) ранее была обнаружена значимая связь между  $S_{sp}$  и ИАК.



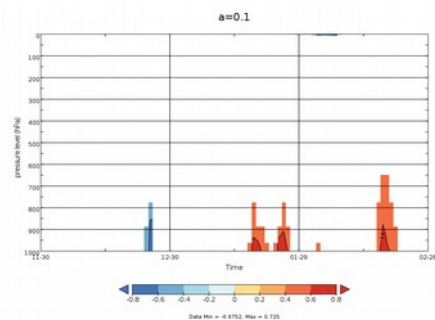
(а) 1979-2007 гг.



(б) 1987-2000 гг.



(в) 1979-1994 гг.



(г) 1994-2007 гг.

Рисунок 3 – Тоже, что на рисунке 1, но для INMCM5; для (б) ранее была обнаружена значимая связь между  $S_{sp}$  и ИАК.

## Заключение

Обобщение всех полученных в рамках данного исследования результатов дает основания предположить, что рассматриваемый тропосферно-стратосферно-тропосферный механизм, описанный ранее, не является управляющим, и может быть сильно подвержен влиянию других атмосферных процессов. Полученные результаты дают основания предполагать нестационарность проявления рассматриваемой связи.

Кроме того, полученные результаты могут выступать в качестве потенциального объяснения причин, почему в своей работе Furtado J.C. с соавторами [9] не получили ожидаемого отклика зимних атмосферных условий на аномалии снежного покрова, сформировавшегося предшествующей осенью, в данных моделей участников CMIP5. В работе Furtado J.C. с соавторами использовали ансамблевый подход, который в условиях нестационарности проявления рассматриваемого влияния существенно сгладил, вплоть до исчезновения, возможные его проявления.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президента РФ МК-2018.2017.5.

## Литература

- 1 Gong G., Entekhabi D., Cohen J. Modeled Northern Hemisphere winter climate response to realistic Siberian snow anomalies // *J. Climate.*– 2003.– V. 16.– P. 3917–3931.
- 2 Дымников В.П., Володин Е.М., Галин В.Я., Глазунов А.В., Грицун А.С., Дианский Н. А., Лыкосов В.Н. Климат и его изменения: математическая теория и численное моделирование // *Сибирский журнал вычислительной математики.*– 2003.– Т. 6.– С. 347–379.
- 3 Allen R.J., Zender C.S. Effects of continental-scale snow albedo anomalies on the wintertime Arctic oscillation // *J. Geophys. Res.*– 2010.– V. 115.– D23105, doi:10.1029/2010JD014490.
- 4 Barnett T.P., Dumenil L., Schlese U., Roeckner E., Latif M. The effect of Eurasian snow cover on regional and global climate variations // *J. Atmos. Sci.*– 1989.– V. 46.– P. 661–685.
- 5 Gong G., Entekhabi D., Cohen J. A large-ensemble model study of the wintertime AO-NAO and the role of interannual snow perturbations // *J. Climate.*– 2002.– V. 15.– P. 3488–3499.
- 6 Walland D.J., Sommonds I. Modelled atmospheric response to changes in Northern Hemisphere

snow cover // *Climate Dynamics*.– 1997.– V. 13.– P. 25–34.

- 7 Watanabe M., Nitta T. Relative impacts of snow and sea surface temperature anomalies on an extreme phase in the winter atmospheric circulation // *J. Climate*.– 1998.– V. 11.– P. 2837–2857.
- 8 Cohen J., Barlow M., Kushner P.J., Saito K. Stratosphere-troposphere coupling and links with Eurasian land-surface variability // *J. Climate*.– 2007.– V. 20.– P. 5335–5343.
- 9 Furtado J.C., Cohen J.L., Butler A.H., Riddle E.E., Kumar A. Eurasian snow cover variability and links to winter climate in the CMIP5 models // *Climate Dynamics*.– 2015.– P. 1-15.– DOI 10.1007/s00382-015-2494-4