

## **Non-stationarity of relationship between Siberian autumn snow cover and Arctic Oscillation in the following winter**

<sup>1</sup> Khudyakova T.A., <sup>2,3</sup> Martynova Yu.V.

<sup>1</sup> Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin ave., 36, <http://tsu.ru>

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

<sup>3</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Russia, Tomsk, Academicheskyy ave., 10/3, <http://imces.ru>

E-mail: [tat.khudyakova@yandex.ru](mailto:tat.khudyakova@yandex.ru), [FoxyJ13@gmail.com](mailto:FoxyJ13@gmail.com)

The purpose of this research is to identify periods where an influence of a Siberian snow cover variation in October on a Arctic Oscillation (AO) behavior in the following winter is appeared.

A territory of Western Siberia (between 55° - 74° N and 60°- 90° E) was considered in the research. Analysis was provided on the base of NOAA snow cover data with a weekly time resolution and AO index data with a monthly time resolution for a time period 1979-2016.

A maximum area of the October snow cover ( $S_{max}$ ) and a difference between the maximum and minimum area ( $S_{int}$ ) were calculated for each year. The AO indexes were considered for each winter month separately and on average for the winter season. Correlation coefficients between October  $S_{max}$ ,  $S_{int}$  and the following winter AO indexes were calculated for the whole time period (1979-2016) and for the all sub-series in the period.

The greatest statistically significant values of correlation between  $S_{max}$ ,  $S_{int}$  in October and the AO index in the following winter season (December-February) were observed just in small time series with the length 13-14 years with the beginning of the periods in 1988, 1989. However, significant relationships, in the case of dependencies between  $S_{max}$  and the AO index, were also noted for periods of 16-23 years, but only for  $\alpha=0,1$ . For  $\alpha=0,05$  statistically significant correlations were noted only for the series of 10-13 years. The periods with the length of 10-13 years with the largest correlations correspond to the positive values of the AO index (at the end of the 20th century – 1988-2000).

The most strong relationships between  $S_{max}$ ,  $S_{int}$  and the AO index were appeared in December. The greatest significant correlations were obtained for the periods of 14-18 and 20-25 years. In January, the relationships between only  $S_{int}$  and AO index were identified for the periods of 11-17 years. For February, the significant relationships were identified between  $S_{max}$  and the AO index for  $\alpha=0,1$  for both small time series and for the periods up to 23 years. For  $\alpha=0,05$  significant relationships were appeared only for three time periods. Correlations between  $S_{int}$  and the AO index were shown only for  $\alpha=0,1$  for two time periods with the length of 18 and 19 years.

This work is partially supported by RAS Presidium Program № 51.

## Нестационарность связи между вариацией площади осеннего снежного покрова в Сибири и Арктическим колебанием последующей зимой

<sup>1</sup>Худякова Т.А., <sup>2,3</sup> Мартынова Ю.В.

<sup>1</sup> Томский государственный университет, Томск, Россия, пр. Ленина 36, <http://tsu.ru>

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

<sup>3</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия, пр. Академический 10/3, <http://imces.ru>  
E-mail: [tat.khudyakova@yandex.ru](mailto:tat.khudyakova@yandex.ru), [FoxyJ13@gmail.com](mailto:FoxyJ13@gmail.com)

### Введение

Исследованиям различных аспектов влияния снежного покрова, формирующегося осенью на обширных территориях суши, на крупномасштабную циркуляцию Северного полушария, посвящено множество работ, однако до сих пор нет исчерпывающего объяснения всех особенностей механизма этого влияния. В своих работах J.Cohen с соавторами представили возможный механизм влияния аномалий площади снежного покрова в октябре на атмосферную динамику в последующую зиму [1]. Утверждается, что положительная тенденция снежного покрова за последние два десятилетия способствовала значительному вкладу в охлаждение восточных территорий Северной Америки и севера Евразии. Большая часть наблюдаемого охлаждения является ответом на увеличение снежного покрова, а также на увеличение взаимосвязей между стратосферой и тропосферой [2]. Однако, в работе В.В. Поповой с соавторами на примере одного набора данных показано, что не во все периоды однозначно можно говорить о значимости связей между площадью снега и поведением АК [3].

Целью данного исследования является выявление периодов проявления влияния вариации площади снежного покрова, сформировавшегося в Сибири в октябре, на поведение Арктического колебания в последующие зимние месяцы.

### Данные и методика исследования

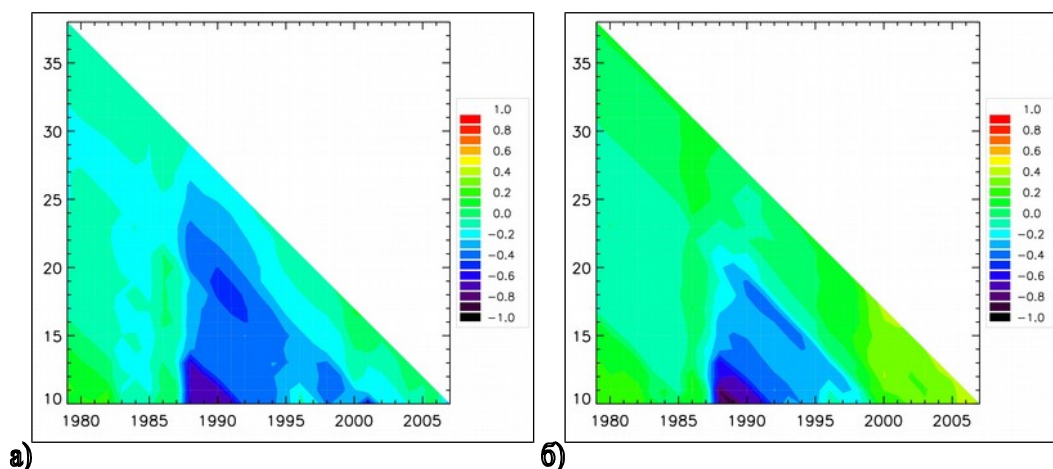
Для исследования была выбрана территория Западной Сибири между  $55^{\circ}$  –  $74^{\circ}$  с.ш. и  $60^{\circ}$ –  $90^{\circ}$ в.д. На этой территории происходит интенсивное формирование снежного покрова в течение осени, особенно в октябре [4, 5].

В рамках исследования был рассмотрен период с 1979 по 2016 годы. Использовались спутниковые данные NOAA по площади снежного покрова с недельным разрешением по времени (<https://climate.rutgers.edu/snowcover/>). Для каждого года были рассчитаны максимальное значение площади снега в октябре ( $S_{\text{макс}}$ ), которое характеризует снежный покров, сформировавшийся к концу месяца, и разница между максимальным и минимальным значением площади ( $S_{\text{инт}}$ ), которая демонстрирует интенсивность увеличения площади снежного покрова в рассматриваемом месяце. Также для исследования были использованы индексы АК, предоставляемые NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>), вычисляемые на основе данных реанализа NCEP/NCAR. Индексы АК рассматривались для каждого зимнего месяца отдельно и в среднем за сезон.

Были вычислены значения коэффициентов корреляции между  $S_{\text{макс}}$  и индексом АК, а также между  $S_{\text{инт}}$  и индексом АК среднего за зимний сезон, а также для каждого зимнего месяца в отдельности. Коэффициенты рассчитывались по всему ряду 1979-2016, а также по всем вложенным рядам (подпериодам). Имея период в 38 лет, сначала считалась корреляция для всего периода. Затем период уменьшался на 1 год, и считалась корреляция для подпериодов 1979-2015 и 1980-2016. По аналогии расчеты осуществлялись до уменьшения длины периода вплоть до 10 лет.

## Результаты

В результате расчетов были построены поля значений полученных коэффициентов корреляции, где по горизонтальной оси графиков отложены годы, которые являются началом периода, по которому рассчитывались коэффициенты корреляции, а по вертикальной оси – длина периода (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Значения коэффициентов корреляции между  $S_{\max}$  (а),  $S_{\text{инт}}$  (б) в октябре и индексом Арктического колебания в зимний сезон

Наибольшие значения корреляций между  $S_{\max}$ ,  $S_{\text{инт}}$  в октябре и индексом АК за зимний сезон (декабрь-февраль) наблюдаются на небольших временных рядах, длиной в 13-14 лет с началом периода в 1988, 1989 годах (таблицы 1 и 2).

**Таблица 1.** Значимые коэффициенты корреляции между  $S_{\max}$  в октябре и индексом АК при уровне значимости  $\alpha=0,1$ . Жирным шрифтом выделены значимые корреляции при  $\alpha=0,05$ .

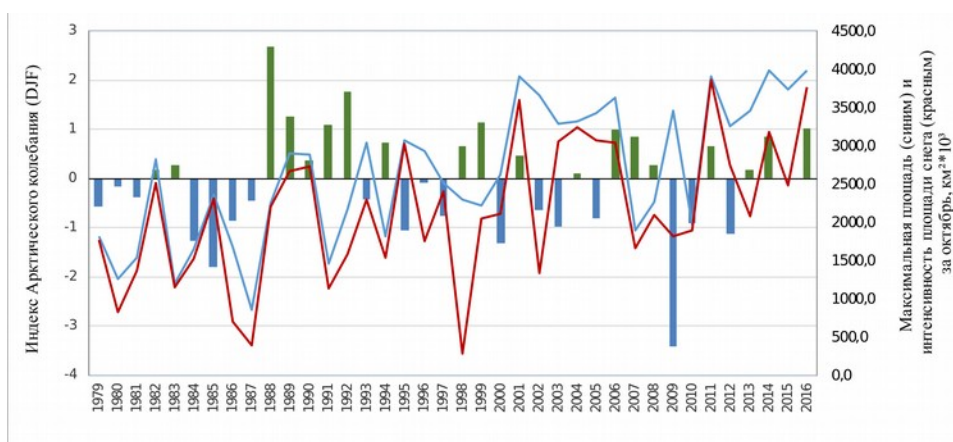
№	Длина периода	Период	Корреляции
<b>1</b>	<b>10</b>	<b>1988-1997</b>	<b>-0,639</b>
<b>2</b>	<b>11</b>	<b>1988-1998</b>	<b>-0,626</b>
<b>3</b>	<b>12</b>	<b>1988-1999</b>	<b>-0,619</b>
<b>4</b>	<b>13</b>	<b>1988-2000</b>	<b>-0,616</b>
5	21	1988-2008	-0,370
6	22	1988-2009	-0,366
7	23	1988-2010	-0,347
<b>8</b>	<b>10</b>	<b>1989-1998</b>	<b>-0,648</b>
<b>9</b>	<b>11</b>	<b>1989-1999</b>	<b>-0,633</b>
<b>10</b>	<b>12</b>	<b>1989-2000</b>	<b>-0,623</b>
11	20	1989-2008	-0,389
12	21	1989-2009	-0,373
13	10	1990-1999	<b>-0,716</b>
14	11	1990-2000	<b>-0,679</b>
15	18	1990-2007	-0,435
<b>16</b>	<b>19</b>	<b>1990-2008</b>	<b>-0,443</b>
17	20	1990-2009	-0,402
18	21	1990-2010	-0,362
<b>19</b>	<b>10</b>	<b>1991-2000</b>	<b>-0,674</b>
20	17	1991-2007	-0,449
<b>21</b>	<b>18</b>	<b>1991-2008</b>	<b>-0,454</b>
22	19	1991-2009	-0,398
23	17	1992-2008	-0,408
24	10	2001-2010	-0,545

**Таблица 2.** Значимые коэффициенты корреляции между  $S_{\text{инт}}$  в октябре и индексом АК при уровне значимости  $\alpha=0,1$ . Жирным шрифтом выделены значимые корреляции при  $\alpha=0,05$ .

№	Длина периода	Период	Корреляции
1	10	1988-1997	<b>-0,705</b>
2	11	1988-1998	<b>-0,808</b>
3	12	1988-1999	<b>-0,557</b>
4	13	1988-2000	<b>-0,578</b>
5	10	1989-1998	<b>-0,857</b>
6	11	1989-1999	<b>-0,600</b>
7	12	1989-2000	<b>-0,621</b>
8	10	1990-1999	<b>-0,651</b>
9	11	1990-2000	<b>-0,659</b>
10	10	1991-2000	<b>-0,648</b>
11	17	2000-2016	0,432
12	16	2001-2016	0,420

Проверка на значимость с помощью t-теста показала, что значимые корреляции наблюдаются в периоды, длиной примерно 13 лет. Однако, значимые связи, в случае зависимостей между  $S_{\text{макс}}$  и индексом АК, также отмечаются и для периодов, длиной 16-23 лет, но лишь при уровне значимости  $\alpha=0,1$ . При  $\alpha=0,05$  статистически значимые корреляции отмечаются лишь для рядов в 10-13 лет.

За весь период в 38 лет (1979 – 2016 гг.), начиная с 1988 и до 2000 годов для периодов, длиной 10-13 лет, Арктическое колебание в зимний сезон было преимущественно в положительной фазе (рисунок 2) с максимальным значением индекса в зиму 1988 года равным 2,688. Для этих периодов и соответствуют наибольшие и статистически значимые коэффициенты корреляции.



**Рисунок 2.** Временная изменчивость величины индекса АК в зимний сезон,  $S_{\text{инт}}$  (красным) и  $S_{\text{макс}}$  (синим) за период 1979-2016 гг.

В настоящее время можно сказать, что для ряда лет  $S_{\text{инт}}$  в течении октября находится в некой противофазе с индексом АК, средним за последующий зимний сезон (рисунок 2). Так, в годы наименьшей интенсивности прироста площади снега (1987, 1991, 1998), как правило, наблюдаются высокие положительные значения индексов АК. Временная изменчивость  $S_{\text{макс}}$  в октябре имеет схожий вид. Так, в годы с меньшими значениями  $S_{\text{макс}}$  (1988, 1991, 1994, 2007) наблюдаются преимущественно положительные индексы АК. В целом, наблюдается тенденция увеличения как  $S_{\text{макс}}$  в октябре, так и  $S_{\text{инт}}$  в течении осеннего месяца.

Рассмотрим связи между снежным покровом и индексом АК для каждого зимнего месяца. Наиболее ярко связи проявляются в декабре как для  $S_{\text{макс}}$ , так и для  $S_{\text{инт}}$  в октябре. Наибольшие значимые корреляции наблюдаются для периодов с началом в 1988 году и

длительностью 14-18 лет. Однако при  $\alpha=0,1$  значимые корреляции (между  $S_{\text{макс}}$  и АК) прослеживаются и для периодов, длинной 20-25 лет. При  $\alpha=0,05$  также наблюдаются значимые корреляции в периоды, длинной 20-22 года.

Для января значимых корреляций между  $S_{\text{макс}}$  и индексом АК выявлено не было. Однако, значимые корреляции получены между индексом АК и  $S_{\text{инт}}$ , но лишь для небольших периодов, длинной 11-17 лет.

Для февраля наибольшие значимые линейные связи при  $\alpha=0,1$  наблюдаются между  $S_{\text{макс}}$  и индексом АК, где значимые корреляции прослеживаются и для небольших периодов (10-15 лет), и для периодов, длинной до 23 лет. При  $\alpha=0,05$  значимые корреляции выявлены для трех периодов: 1990-2010 (-0,435), 2001-2010 (-0,700), и 2007-2016 (-0,655). Взаимосвязи между индексом АК и  $S_{\text{инт}}$  при  $\alpha=0,1$  выделены лишь для двух периодов, 1990-2007 и 1990-2008, длительностью 18 и 19 лет, соответственно.

## Заключение

В октябре на территории всей Западной Сибири начинает формироваться и устанавливаться снежный покров, наблюдается его постепенный прирост от начала месяца к концу. Для зимнего сезона корреляции при уровне значимости  $\alpha=0,05$  показали, что связь между  $S_{\text{макс}}$ ,  $S_{\text{инт}}$  в октябре и индексом АК наибольшая и она статистически значима для небольших временных рядах, длинной 10-13 лет, начиная с 1988 года. При  $\alpha=0,1$  значимые связи также наблюдаются и для подпериодов с длинной 18-19 лет, начиная с 1990 года. Периоды, длинной 10-13 лет, характеризующиеся наибольшими корреляциями в межгодовом ходе соответствуют положительным значениям индекса АК, которые наблюдались в конце XX века (1988 – 2000 гг.). В течении октября  $S_{\text{инт}}$  и  $S_{\text{макс}}$  для ряда лет находятся в противофазе с индексом АК. В годы с меньшими значениями  $S_{\text{инт}}$  и  $S_{\text{макс}}$  наблюдаются положительные значения индекса АК в зимний сезон.

Наиболее ярко связи между  $S_{\text{макс}}$ ,  $S_{\text{инт}}$  и индексом АК проявляются в декабре. Наибольшие корреляции наблюдаются для периодов, длинной 14-18 лет. Также, при обоих уровнях значимости выявлены значимые связи для периодов, длинной 20-25 лет.

В январе были выявлены связи с индексом АК лишь для  $S_{\text{инт}}$ , и только для периодов, длинной 11-17 лет.

Для февраля выявлены значимые связи между  $S_{\text{макс}}$  и индексом АК при  $\alpha=0,1$  как для небольших временных рядов, так и для периодов до 23 лет. При  $\alpha=0,05$  значимые связи проявляются лишь для трех периодов. Корреляции между  $S_{\text{инт}}$  и индексом АК были выявлены лишь при  $\alpha=0,1$  для двух периодов, длинной 18 и 19 лет.

Работа подготовлена при поддержке программы президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования»

## Литература

1. 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.
2. Cohen J. Eurasian snow cover variability and links with stratosphere-troposphere coupling and their potential use in seasonal to decadal climate predictions. Climate Test Bed Joint Seminar Series. NCEP, Camp Springs, Maryland, 2011 [Electronic resource]. – URL: [http://www.nws.noaa.gov/ost/climate/STIP/FY11CTBSeminars/jcohen\\_062211.pdf](http://www.nws.noaa.gov/ost/climate/STIP/FY11CTBSeminars/jcohen_062211.pdf)
3. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией. Лёд и Снег. 2014; 54 (3): с. 39-49.
4. Gong G., Entekhabi D., Cohen J. 2003. Modeled Northern Hemisphere winter climate response to realistic Siberian snow anomalies. J. Climate. v. 16. pp. 3917-3931;
5. Дымников В.П., Володин Е.М., Галин В.Я., Глазунов А.В., Грицун А.С., Дианский Н. А., Лыкосов В.Н. 2003. Климат и его изменения: математическая теория и численное моделирование. Сибирский журнал вычислительной математики. т. 6, с. 347-379.