

РАЗДЕЛ 5. ГИДРОЛОГИЯ, ОКЕАНОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

УДК 911

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ И АТЛАНТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИДЕКАДНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ

Холопцев А. В.¹, Гуменный М. М.²

¹Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова».

²ФГБОУ «Севастопольский государственный университет».

E-mail: mxl31@mail.ru

Выявлены районы Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо статистически связаны с вариациями индекса Атлантической мультидекадной осцилляции, которые опережают их по времени. Установлено, что корреляция рассматриваемых процессов отрицательна, а суммарная площадь выявленных районов максимальна в Атлантическом и Европейском секторах, при условии, что опережение составляет 29 месяцев.

Ключевые слова: ледовитость, Атлантическая мультидекадная осцилляция, корреляция, Европейский и Атлантический секторы Арктики.

ВВЕДЕНИЕ

Вариации ледовитости арктических акваторий во многом определяют характеристики их взаимодействия с атмосферой, которое обуславливает изменения метеоусловий во многих регионах Северного полушария. Они также значимо влияют на безопасность судоходства. Поэтому совершенствование методик долгосрочного прогнозирования этих вариаций является актуальной проблемой физической географии, метеорологии, а также эксплуатации водного транспорта.

Наибольший интерес в плане решения рассматриваемой проблемы представляет выявление природных факторов изучаемого процесса, с которыми его связи могут являться статистически значимыми при составляющих несколько месяцев временных сдвигах между ними.

Одним из таких процессов является впервые описанная Шлезингером М. Е. в 1994 году Атлантическая мультидекадная осцилляция (далее АМО) [1]. Текущее состояние этого процесса определяется его индексом – значением аномалии средней поверхностной температуры северной части акватории Атлантического океана [2, 3].

Районы Северной Атлантики, где средняя поверхностная температура совпадает со значением индекса АМО, расположены практически в тропиках, а время, за которое вода этих районов по системе ее поверхностных течений достигает Арктики, весьма значительно [4]. Следовательно, время запаздывания по

отношению к вариациям АМО, изменений средней температуры атлантической воды, которая поступает в те или иные сектора Арктики, также может составлять многие месяцы.

Поскольку поступающая в Норвежское море атлантическая вода, в сравнении с водой арктической, обладает повышенными значениями температуры и солёности, представляется вероятным, что вариации АМО способны через некоторое (и весьма немалое) время породить соответствующие изменения ледовитости всех акваторий Арктики, в которые она поступает.

Несмотря на кажущуюся очевидность подобного предположения, его адекватность весьма спорна, поскольку известно, что на изменения ледовитости арктических акваторий способны влиять и другие природные факторы [5, 6, 7, 8]. Вопрос о том, может ли быть в какие-либо месяцы влияние АМО в некоторых районах Арктики на их фоне ощутимым, ныне изучен недостаточно.

Учитывая значимость влияния ледовитости арктических акваторий на работу на них водного транспорта, выявление ответа на данный вопрос представляет не только теоретический, но и существенный практический интерес. Наиболее существенен он для месяцев, которые относятся к периоду наиболее интенсивной навигации. Один из таких месяцев в Арктике – август. Поэтому целями данной работы является проверка адекватности выдвинутого предположения, определение временных сдвигов, при которых межгодовые вариации состояния АМО способны значимо влиять на изменения ледовитости каких-либо районов Арктики в августе, а также выявление расположений этих районов.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Оценка временных сдвигов между вариациями АМО и запаздывающими по отношению к ним межгодовыми изменениями ледовитости различных районов Арктики в августе, при которых статистические связи между этими процессами являются наиболее сильными.

2. Выявление расположений арктических районов, где при установленных временных сдвигах статистические связи между рассматриваемыми процессами являются значимыми.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

АМО представляет собой квазициклическое изменение температуры поверхности всей северной части Атлантического океана, которое характеризуется продолжительностью холодных и теплых фаз, лежащих в интервале от 20 до 50 лет [9].

В спектре АМО присутствуют как низкочастотные, так и многочисленные высокочастотные составляющие [10], которые значимо влияют на метеоусловия во многих регионах Северного полушария нашей планеты. Временные ряды значений индекса АМО, за период с января 1948 г., представлены в [11].

Как фактический материал об изменениях в период с января 1982 по декабрь 2014 г. ледовитости всех акваторий Арктики, которые расположены к северу от

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ И АТЛАНТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИДЕКАДНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ

параллели 67°N , и ограничены квадратами координатной сетки размерами $1^{\circ}\times 1^{\circ}$, использованы временные ряды среднемесячных значений данного показателя, содержащиеся в [12].

Методика исследования предполагала оценку силы статистической связи межгодовых изменений ледовитости акваторий Европейского ($0-60^{\circ}\text{E}$), Сибирского ($60-120^{\circ}\text{E}$), Дальневосточного ($120-170^{\circ}\text{E}$), Тихоокеанского ($170^{\circ}\text{E} - 120^{\circ}\text{W}$), Американского ($120-60^{\circ}\text{W}$) и Атлантического ($60-0^{\circ}\text{W}$) секторов Арктики в августе с опережающими их по времени на Δ межгодовыми вариациями индекса АМО. Основываясь на ее результатах, для каждого сектора определялись временные сдвиги между указанными процессами, при которых их статистическая связь является наиболее сильной.

При решении первой задачи (как характеристика силы связи между изучаемыми процессами) использовано количество районов того или иного сектора Арктики, в которых корреляция межгодовых изменений их ледовитости, а также опережающими их по времени на Δ вариациями индекса АМО является статистически значимой.

С учетом рекомендаций [13] установлено, что изучаемые статистические связи могут быть признаны надежными и пригодными для прогнозирования, если сопоставляемые фрагменты рассматриваемых временных рядов содержат по 33 члена. Поэтому при определении значений Δ , которые соответствуют тому или иному сектору Арктики, статистические связи вариаций индекса АМО с запаздывающими по отношению к ним изменениями ледовитости его акваторий, их сила оценивалась для различных фрагментов временных рядов АМО, которые имеют именно такую длину. Статистические связи между изучаемыми процессами изучались при сдвигах между ними, лежащих в диапазоне от 0 до 132 месяцев.

Для оценки значимости статистической связи между стационарными случайными гауссовыми процессами может быть применен критерий Стьюдента [14]. Если сопоставляемые процессы указанными свойствами не обладают, оценки значимости, которые могут быть получены с использованием данного критерия, являются приближенными.

Одним из существенных проявлений нестационарности изучаемых временных рядов является присутствие в них тех или иных трендов. Анализ фактического материала показал, что на отрезках времени длиной 33 года тренды, присутствующие в любых рассматриваемых фрагментах изучаемых временных рядов, могут рассматриваться как линейные. Поэтому методика, применявшаяся при решении первой задачи, предполагала, что в каждом таком фрагменте изучаемых временных рядов должна быть осуществлена компенсация его линейного тренда. Подобная компенсация предшествовала вычислению значения коэффициента их парной корреляции. Это значение сравнивалось с уровнем 95 % порога достоверной корреляции. Значение этого уровня определено с учетом числа степеней свободы рассматриваемых фрагментов, которое определено по их автокорреляционным функциям [15].

При решении второй задачи границы областей, в которых локализованы выявленные районы того или иного сектора Арктики, отображены на его контурной карте с использованием метода триангуляции Делоне [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

С использованием описанной методики для каждого значения временного сдвига Δ между изучаемыми процессами, лежащего в пределах от 0 до 132 месяцев, определено количество районов M того или иного сектора, в которых межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо положительно или отрицательно коррелированы с вариациями АМО. Установлено, что наибольшие количества районов, для которых рассматриваемые статистические связи являются значимыми, соответствуют Европейскому и Атлантическому секторам Арктики.

В качестве примера на рисунке 1 приведены зависимости $M(\Delta)$, которые соответствуют Европейскому и Атлантическому секторам, а также августу (корреляция сопоставляемых процессов отрицательная).

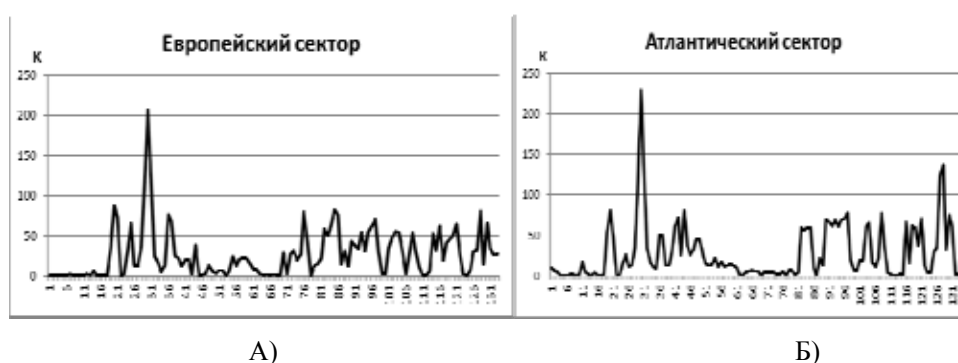


Рис. 1. Зависимости от упреждения Δ количества районов M секторов Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости значимо отрицательно коррелированы с вариациями индекса АМО А) Европейский; Б) Атлантический.

Из рисунка 1 видно, что зависимости от величины упреждения Δ значений M , соответствующих Европейскому и Атлантическому секторам Арктики, которые непосредственно граничат с Северной Атлантикой, в целом подобны. В обоих секторах наибольшие значения M соответствуют $\Delta = 29$ мес.

Это совпадение, по-видимому, объясняется тем, что атлантические воды, которые приносят тепло в указанные сектора, доставляются в них одними и теми же океаническими течениями (Северо-Пассатным, Гольфстримом и Североатлантическим). Подтверждают это и расположения выявленных районов, которые показаны на рисунке 2.

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ И АТЛАНТИЧЕСКАЯ
МУЛЬТИДЕКАДНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ

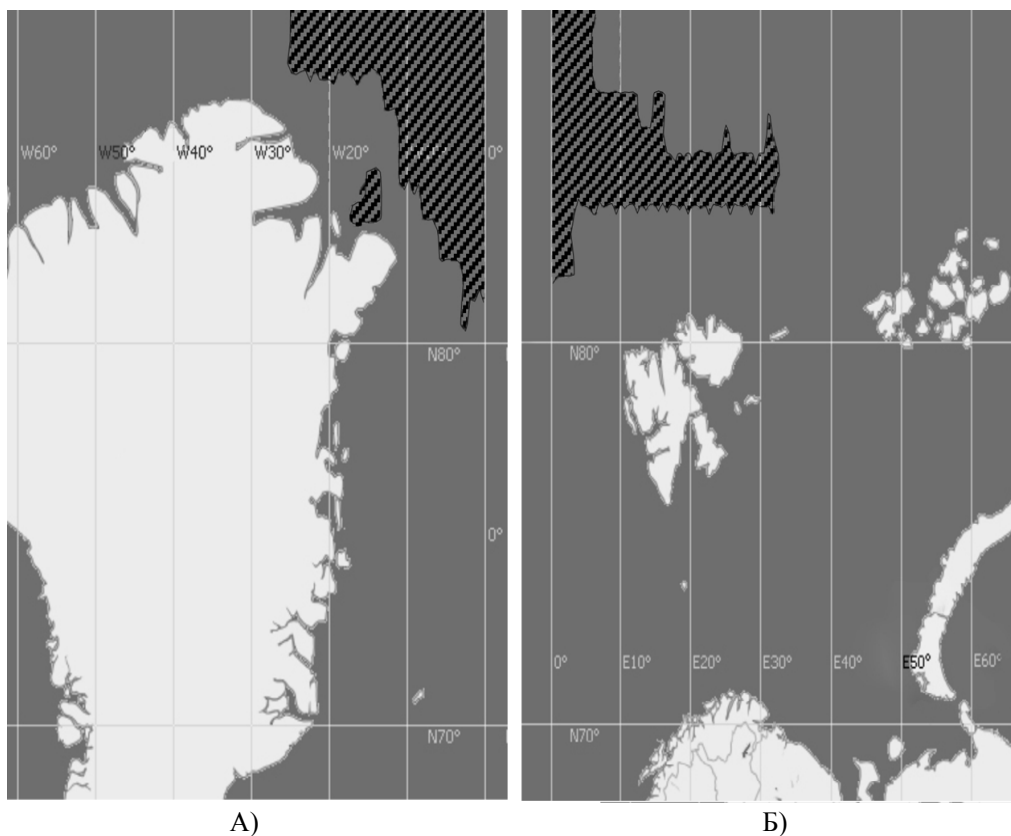


Рис. 2. Районы секторов Арктики, где при сдвиге 29 мес. корреляция межгодовых изменений их ледовитости в августе, с вариациями индекса АМО, значима и отрицательна: А) Атлантический; Б) Европейский.

Из рисунка 2 нетрудно заметить, что почти все выявленные районы Атлантического и Европейского секторов Арктики фактически образуют единую область, простирающуюся от полюса до 80-й параллели и между меридианами 25°W и 32°E. Анализ фактического материала о ледовитости различных районов Арктики [12] показал, что в пределах этой области значения данного показателя в августе лежат в пределах от 50 до 95 %.

Наличие отрицательной корреляции между рассматриваемыми процессами не удивительно, поскольку увеличение значений индекса АМО не может через соответствующее время не приводить к повышению температуры воды, поступающей из Атлантики в Европейский и Атлантический секторы Арктики, что должно вызывать ускорение процессов таяния арктических льдов.

Полученные результаты свидетельствуют также о наличии существенного влияния межгодовых вариаций индекса АМО на изменения ледовитости

арктических акваторий и при сдвигах между ними $\Delta=92$ мес. Соответствующие значения коэффициента корреляции этих процессов значимы и положительны. Это подтверждает рисунок 3, где для тех же секторов Арктики представлены зависимости $M(\Delta)$, соответствующие их районам, где корреляция рассматриваемых процессов положительна.



А)



Б)

Рис. 3. Зависимости M от временного сдвига (Δ) между началами рядов индекса АМО и рядов значений ледовитости, при котором их корреляция значимо положительна: А) Европейский; Б) Атлантический).

Из рисунка 3 следует, что максимальные значения M для Европейского и Атлантического секторов соответствуют $\Delta=92$ мес. Расположения их районов, для которых при таком временном сдвиге корреляция межгодовых изменений их

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ И АТЛАНТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИДЕКАДНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ

ледовитости в августе с вариациями индекса АМО является значимой и положительной, приведены на рисунке 4.

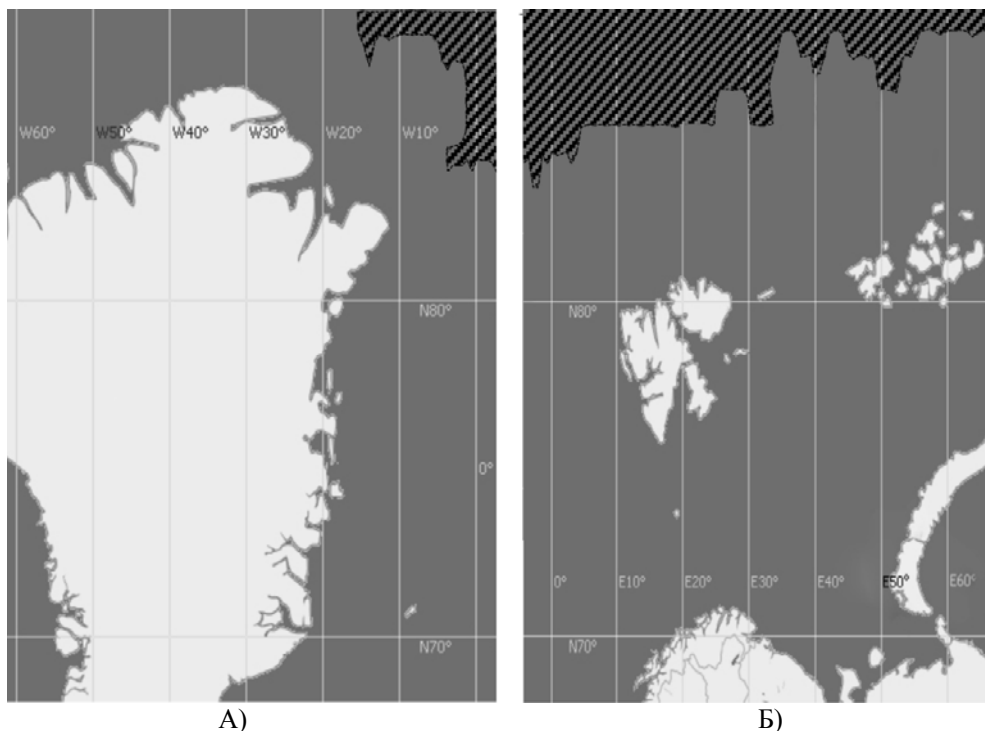


Рис. 4. Районы секторов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в августе, а также вариации индекса АМО, которые опережают их на 92 мес., коррелированы значимо и положительно: А) Атлантический; Б) Европейский).

Из рисунка 4 видно, что районы Атлантического и Европейского секторов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и положительно коррелированы с вариациями индекса АМО, которые опережают их на 92 мес., также образуют единую область, простирающуюся от полюса до параллели 85°N и от меридиана 15°W до меридиана 67°E. Сопоставив рисунки 2 и 4, нетрудно убедиться в том, что показанные на них области в значительной мере перекрываются.

Для выявления причин, обуславливающих подобную особенность, рассчитана автокорреляционная функция временного ряда значений индекса АМО. При этих вычислениях сопоставлялись фрагменты временных рядов его значений, соответствующих тому или иному месяцу, содержащих по 33 члена и сдвинутых между собой по времени на время Δ . Полученный при этом результат отображен на рисунке 5.

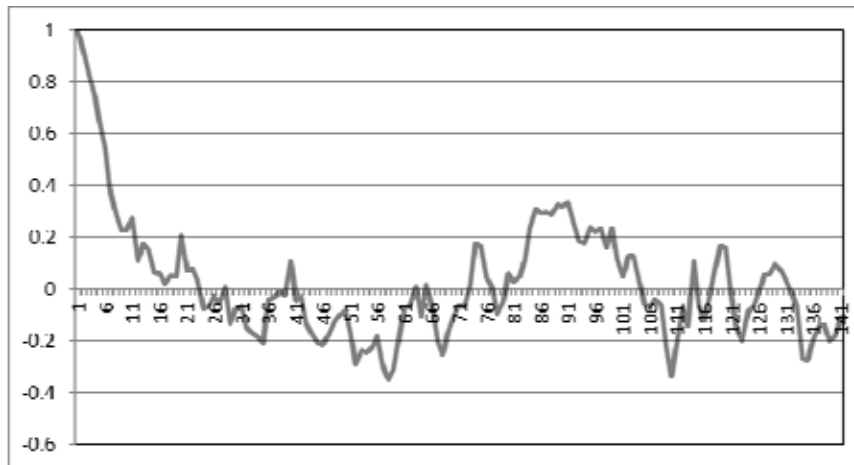


Рис. 5. Автокорреляционная функция изменений индекса АМО.

Из рисунка 5 следует, что автокорреляционная функция изменений индекса АМО носит волнообразный характер. Первый ноль этой функции соответствует $\Delta=23$ мес., а ее значения при $\Delta=29$ мес. близки к нулю.

При сдвигах Δ от 24 до 72 мес. среди значений автокорреляционной функции преобладают отрицательные. Среди них значения, которые превышают по модулю уровень 95% порога достоверной корреляции, имеют место при Δ , лежащих в интервале 55–60 месяцев.

При сдвигах от 73 до 132 мес. значения автокорреляционной функции в основном положительные. Их значения являются максимальными и также превышают этот порог при Δ , принадлежащих интервалу (85–90) мес.

Данный результат указывает на то, что причинами наличия значимой положительной корреляции между рассматриваемыми процессами, при $\Delta=92$ мес., для многих районов Атлантического и Европейского секторов являются выявленные особенности автокорреляционной функции вариаций индекса АМО, а также значимая отрицательная их корреляция при сдвиге 29 мес.

Поскольку изменения индекса АМО на отрезках времени, смещенных между собой на 29 мес., практически не коррелированы, наличие значимой отрицательной их корреляции с межгодовыми вариациями августовских значений ледовитости выявленных районов свидетельствует о том, что эта связь между изучаемыми процессами реально существует.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявленные закономерности соответствуют современным представлениям о влиянии взаимодействия Атлантического и Северного Ледовитого океанов на

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ И АТЛАНТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИДЕКАДНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ

изменения ледовитости акваторий Европейского и Атлантического секторов Арктики [7, 8, 9]. Из них следует, что вариации индекса АМО целесообразно учитывать при долгосрочном прогнозировании изменений ледовитости обширных арктических регионов. Это подтверждает и зависимость от времени значений этого индекса, построенная с использованием данных [11], представлена на рисунке 6.

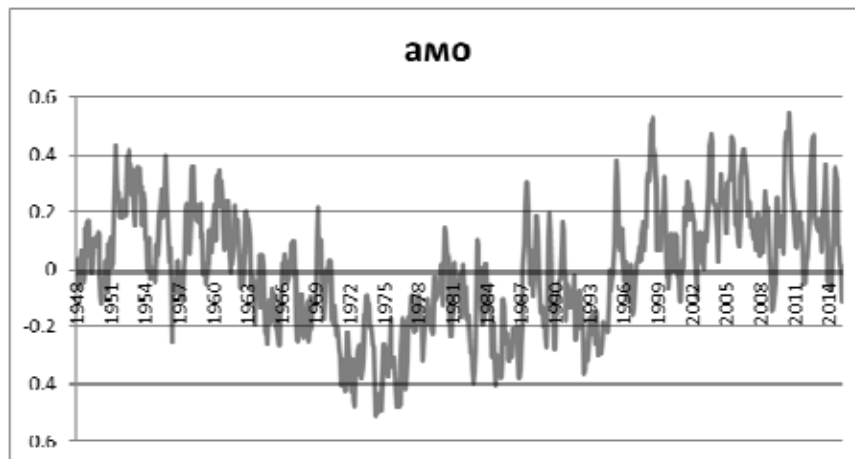


Рис. 6. Зависимость от времени значений индекса АМО.

Как видно из рисунка 6, зависимость от времени индекса АМО представляет собой сложное колебание, в современной фазе которого, начавшейся ориентировочно в 2007 г. преобладает тенденция к уменьшению его значений. Это, а также полученные результаты позволяют предположить, что ледовитость в августе выявленных акваторий Атлантического и Европейского сектора Арктики будет возрастать, а температуры воздуха над ними снижаться как минимум в ближайшие десятилетия.

Данное явление приведет к повышению над подобными акваториями атмосферного давления, а также к увеличению продолжительности в августе арктических блокингов не только в Атлантическом секторе, но и в Европейском. Это будет способствовать похолоданию во многих регионах Европы, а также увеличению продолжительности существования над ними блокирующего антициклона, практически прекращающего выпадение атмосферных осадков на Европейской территории России [7].

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено:

1. Арктические районы, где межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо статистически связаны с вариациями индекса АМО, существуют. Они образуют обширную область, частично расположенную в Европейском, а частично в Атлантическом секторе Северного Ледовитого океана и простирающуюся от полюса и до параллели 80°N.

2. Размеры этой области максимальны при сдвиге Δ между рассматриваемыми процессами, составляющими 29 мес. При этом корреляция межгодовых изменений температуры в выявленной области, а также вариаций индекса АМО, которые опережают их на указанное время, значима и отрицательна; значения ледовитости в ней лежат в пределах 50–98 %.

3. Выявленные значимые статистические связи между изучаемыми процессами, существующие при временном сдвиге между ними 92 мес., обусловлены наличием связей между ними при $\Delta = 29$ мес., а также значимой отрицательной корреляцией между фрагментами временного ряда индекса АМО, которые сдвинуты по времени на 63 месяца.

4. При дальнейшем снижении значений индекса АМО ледовитость выявленных арктических районов будет возрастать, а продолжительность арктических блокингов увеличиваться не только в Атлантическом секторе, но и в Европейском.

Список литературы

1. Schlesinger M. E. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years // *Nature*. 1994. V. 367. pp. 723–726.
2. Ting M., Kushnir Y., Seager R., Li C. Forced and Internal Twentieth-Century SST Trends in the North Atlantic // *Journal of Climate*. 2009. № 22 (6). pp. 1469–1481.
3. Delworth T. L., Mann M. E. Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere // *Clim. Dyn.* 2000. № 16. pp. 661–676.
4. Бурков В. А. Общая циркуляция вод Мирового океана. Л.: Гидрометиздат, 1980. 253 с.
5. Зубов Н. Н. Морские воды и льды. М.: Гидрометиздат, 1938. 454 с.
6. Визе В. Ю. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. М.: Изд-во Главсевморпути, 1944. 273 с.
7. Думанская И. О., Федоренко А. В. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // *Метеорология и гидрология*. 2008. № 12. С. 82–94.
8. Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Ковалев Е. Г., Смоляницкий В. М. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2007. Вып. 75. С. 149–160.
9. Dickson R. R., Meincke J., Rhines P. Arctic-Subarctic Ocean Fluxes: Defining the Role of the Northern Seas in Climate. Dordrecht: Springer, 2008. 736 p.
10. Enfield D. B., Mestas A. M., Trimble P. J. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. // *Geophysical Research Letters*. 2001. Vol. 28. pp. 2077–2080.
11. База данных об изменениях индекса Атлантической мультидекадной осцилляции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cdc.noaa.gov/timeseries/AMO/>.

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ И АТЛАНТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИДЕКАДНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ

12. База данных об изменениях ледовитости различных районов мира [Электронный ресурс]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>.
13. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, ч. III. Служба морских гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 143 с.
14. Закс Ш. Теория статистических выводов. М.: Мир, 1985. 776 с.
15. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
16. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. 128 с.

VARIATION OF THE ICE COVERAGE IN THE ARCTIC REGIONS AND THE ATLANTIC MULTIDECADAL OSCILLATION

Khloptsev A. V.¹, Gumenny M. M.²

** Sevastopol branch of State Oceanographic Institute named after N. N. Zubov*

*** Sevastopol State University, Sevastopol*

E-mail: mx131@mail.ru

The statistical links of August interannual variations of water areas iceness in Arctic regions that are limited by $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ coordinates of grid elements and that depend on the Atlantic multidecadal oscillation conditions variations which are aheaded in time from 0 to 132 month if compared with the above stated, are studied. The conditions under which such links are significant for the maximum quantity of water areas of each sector, are discovered.

The following data are determined:

The Arctic areas where August interannual variations of ice coverage are statistically related to the Atlantic multidecadal oscillation index variations, existand form an extensive area partially located in European as well as Atlantic division of the Arctic Ocean and stretches from the North Pole to the 80°N parallel.

The dimensions of this region are maximum at 29 months Δ shift in the period between the above stated processes. At this, the revealed area interannual variations temperature time correlation as well as the Atlantic multidecadal oscillation index variations correlation that are ahead of them in the stated time, are significant and have their negative meaning. The values of iceness here make from 50% to 98%.

The determined valuable statistical links characterizing the above stated processes that take place at the 92 month time shift are limited by, the condition of $\Delta = 29$ month as well as of the negative correlation between the Atlantic multidecadal oscillation index time-series fragments that are shifted to the time period of 63 month.

With further reduction of the Atlantic multidecadal oscillation index values, the iceness of the defected Atlantic areas will increase, and the Atlantic blocking duration will also increase not only for the Atlantic division, but for the European one as well.

Keywords: iceness, Atlantic multidecadal oscillation, correlation, European and Atlantic areas of Arctic.

References

1. Schlesinger M. E. An oscillation in the global climate system of period 65-70 years // *Nature*, 1994, V. 367, pp. 723–726. (in English).
2. Ting M., Kushnir Y., Seager R., Li C. Forced and Internal Twentieth-Century SST Trends in the North Atlantic // *Journal of Climate*. 2009. № 22 (6). pp. 1469–1481. (in English).
3. Delworth T. L., Mann M. E. Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere // *Clim. Dyn.*, 2000, no 16, pp. 661–676. (in English).
4. Burkov V. A. *Obschchaya tsirkulyatsiya vod Mirovogo okeana (General circulation of World ocean waters)*. Leningrad: Gidrometizdat (Publ.), 1980. 253 p. (in Russian).
5. Zubov N. N. *Morskie vody i l'dy (Sea water and ice)*. Moscow: Gidrometizdat (Publ.), 1938. 454 p. (in Russian).
6. Vize V. YU. *Osnovy dolgosrochnyh ledovyh prognozov dlya arkticheskikh morej (Fundamentals of long-term ice forecasts for the Arctic seas)*. Moscow: Izd-vo Glavsevmorputi (Publ.), 1944. 273 p. (in Russian).
7. Dumanskaya I. O., Fedorenko A. V. Analiz svyazi ledovyh harakteristik morej evropejskoj chasti Rossii s makrotsirkulyatsionnymi atmosferynymi protsessami (Analysis of ice characteristics of the seas of the European part of Russia with the macro-circulation atmospheric processes) // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2008, no 12, pp. 82–94. (in Russian).
8. Frolov I. E., Gudkovich Z. M., Karklin V. P., Kovalev E. G., Smolyanitskij V. M. Klimaticheskie izmeneniya ledovyh uslovij v arkticheskikh moryah Evrazijskogo shel'fa (Climate changes of the ice conditions in the Arctic seas of the Eurasian shelf) // *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2007, V. 75, pp. 149–160. (in Russian).
9. Dickson R. R., Meincke J., Rhines P. *Arctic-Subarctic Ocean Fluxes: Defining the Role of the Northern Seas in Climate*. Dordrecht: Springer (Publ.), 2008. 736 p. (in English).
10. Enfield D. B., Mestas A. M., Timble P. J. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. // *Geophysical Research Letters*, 2001, Vol. 28, pp. 2077–2080. (in English).
11. Baza dannyh ob izmeneniyah indeksa Atlanticheskoy mul'tidekadnoj ostsillyatsii (Database on changes in the index of multidecadal Atlantic oscillation) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.cdc.noaa.gov/timeseries/AMO/>. (in Russian).
12. Baza dannyh ob izmeneniyah ledovitosti razlichnyh rajonov mira (Base data on changes of ice extent in various parts of the world) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>. (in Russian).
13. *Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3, chast' III. Sluzhba morskikh gidrologicheskikh prognozov (The manual on service projections. Section 3, part. III. Service marine hydrological forecasts)*. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1982, 143 p. (in Russian).
14. Zaks SH. *Teoriya statisticheskikh vyvodov (Theory of statistical inference)*. Moscow: Mir (Publ.), 1985, 776 p.
15. Kobzar' A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika (Applied mathematical statistics)*. Moscow: Fizmatlit (Publ.), 2006. 816 p. (in Russian).
16. Skvortsov A. V. *Triangulyatsiya Delone i ee primenenie (Delaunay Triangulation and its application)*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta (Publ.), 2002, 128 p. (in Russian).